



La modélisation hydrologique : comprendre et analyser le fonctionnement des hydrosystèmes face au changement climatique

N. Dorfigher, E. Martin

► To cite this version:

N. Dorfigher, E. Martin. La modélisation hydrologique : comprendre et analyser le fonctionnement des hydrosystèmes face au changement climatique. Mieux connaître pour mieux gérer. Eau, climat et développement, Partenariat français pour l'eau, pp.4, 2016. hal-02605801

HAL Id: hal-02605801

<https://hal.inrae.fr/hal-02605801>

Submitted on 16 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

N°

1



COLLECTION
EXPERTISE

Mieux connaître pour mieux gérer

EAU, CLIMAT ET DÉVELOPPEMENT



french
water
partnership

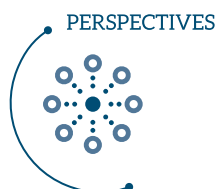
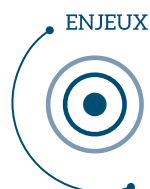


partenariat
français
pour l'eau

Sommaire

L'édito	p.4
Avant-Propos	p.5
PARTIE 1 - Les réseaux de connaissance : métrologie, collecte et bancarisation de l'information hydrologique	p.6
ENJEUX : L'ACQUISITION DE DONNEES HYDROLOGIQUES : UNE NÉCESSITÉ ABSOLUE	p.6
SAVOIR-FAIRE : EN FRANCE, UNE LARGE GAMME D'OUTILS RECONNUS POUR LA MESURE, LA COLLECTE, LA TRANSMISSION ET LA BANCARISATION DES DONNÉES	p.8
PERSPECTIVES : LES RESEAUX DE CONNAISSANCES, UN TERRAIN PROPICE AUX INNOVATIONS	p.10
PARTIE 2 - Les Systèmes d'Information sur l'Eau : produire l'information nécessaire aux prises de décisions	p.11
ENJEUX : DE L'IMPORTANCE D'ORGANISER L'ACCES AUX DONNEES, LEUR TRAITEMENT ET LEUR VALORISATION	p.11
SAVOIR-FAIRE : LA FRANCE A LA POINTE DES SYSTEMES D'INFORMATION SUR L'EAU	p.13
PERSPECTIVES : RENFORCER LA COHÉRENCE ET AMPLIFIER LA PORTEE DES SYSTEMES D'INFORMATION SUR L'EAU	p.17
PARTIE 3 - La modélisation hydrologique : comprendre et analyser le fonctionnement des hydrosystèmes face au changement climatique	p.18
ENJEUX : MODÉLISER LES INCIDENCES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE POUR ANTICIPER LA PRISE DE DÉCISION	p.18
SAVOIR-FAIRE : LA RECHERCHE FRANÇAISE AU SERVICE DES ACTEURS DU TERRITOIRE	p.19
PERSPECTIVES : FAVORISER L'ÉMERGENCE DE MODÈLES PLUS COMPLETS POUR AMÉLIORER LA PRISE DE DÉCISION	p.22
Annexe et glossaire	p.23

PICTOGRAMMES DE LA COLLECTION EXPERTISE



PICTOGRAMMES THEMATIQUES



La modélisation hydrologique : comprendre et analyser le fonctionnement des hydrosystèmes face au changement climatique

LA DEFINITION DE L'EXPERT



Qu'est-ce qu'un modèle hydro-climatique ?

Les modèles hydro-climatiques sont construits à partir de modèles conceptuels du fonctionnement des hydrosystèmes et de la caractérisation des impacts des changements climatiques, afin de simuler le fonctionnement des hydrosystèmes. Ils doivent être suffisamment détaillés pour être capable de restituer non seulement le fonctionnement normal, mais également leur réponse à des perturbations climatiques ou liées à la société.

ENJEUX

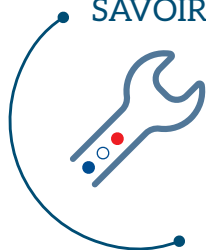


MODÉLISER LES INCIDENCES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE POUR ANTICIPER LA PRISE DE DÉCISION

Les ressources en eau sont étroitement liées aux variations du climat qui influencent directement les conditions d'écoulement et de recharge. Les modifications de régime et de répartitions des précipitations, ainsi que de la température et de l'évapotranspiration gouvernent la disponibilité de l'eau dans les sols utilisés pour l'agriculture, la recharge des systèmes aquifères et le débit des rivières. L'impact du changement climatique sur les ressources en eau concerne en premier lieu les acteurs locaux, que ce soit au niveau des agences de bassin, des organisations agricoles, des aménageurs du territoire et nécessite une mise à disposition de résultats, d'outils pour un travail collaboratif entre scientifiques, décideurs et citoyens. Des scénarios de mobilisation de la ressource, d'extension de l'irrigation et d'évolution des systèmes agricoles (transition agro-écologique), de réduction des surfaces imperméables, en passant par des modalités de gestion et de gouvernance ne peuvent être élaborés que si des modèles hydro-climatiques fournissent des résultats sur les incidences du changement climatique sur les ressources en eau à différentes échelles (suprarégionales, régionales, locales) et pour différents usages. De plus, les enjeux globaux associés à la croissance démographique et au développement des sociétés sont également à prendre en considération dans les modèles hydro-climatiques. Ces enjeux peuvent parfois primer sur les enjeux climatiques pour la gestion des ressources en eau.

Progressivement, les modèles se perfectionnent pour intégrer toutes les composantes des hydrosystèmes : évolution de l'eau dans le sol superficiel, rivières, eau souterraine et échanges avec la surface, occupation du sol, conséquences hydrologiques des choix de développement. Ils doivent être alimentés par des données climatiques (passées ou scénarios futurs) et des données d'usages (cartographie, utilisation des terres, pratiques, données économiques).

SAVOIR-FAIRE



LA RECHERCHE FRANÇAISE AU SERVICE DES ACTEURS DU TERRITOIRE

La communauté scientifique française, rassemblée au sein de l'Alliance nationale de recherche pour l'environnement – AllEnvi, qui fédère, programme et coordonne la recherche environnementale française pour relever les grands défis sociétaux de l'alimentation, de l'eau, du climat et des territoires, comprend des organismes scientifiques qui possèdent des compétences reconnues au niveau national et international en matière de modélisation hydro-climatique des ressources en eau (BRGM, CNES, CNRS, INRA, IRD, Météo France etc.). La place des scientifiques français au sein des travaux du GIEC en atteste. La recherche menée par ces organismes est conduite sur des bassins versants ou groupes de bassins versants en France et à l'étranger (Afrique, Asie notamment).

Le changement climatique et les ressources en eau sont au cœur des préoccupations des acteurs français, que ce soit au niveau de l'Etat, des établissements publics (Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, Agences de l'eau au niveau des 6 grands bassins hydrographiques et Offices de l'eau dans les territoires d'outre-mer, ONEMA) ou des collectivités territoriales. Ils développent des programmes spécifiques nécessitant la mise en œuvre de modélisation hydrologique des ressources en eau pour différents scénarios de changement climatique et d'adaptation à différentes échelles.

Les entreprises françaises, notamment des bureaux d'ingénierie, des grands groupes et des PME, développent un savoir-faire en utilisant les résultats des modèles climatiques et hydrologiques pour élaborer des diagnostics et schémas d'adaptation au changement climatique, en lien avec les différentes composantes du cycle de l'eau et à différentes échelles.



Modéliser à l'échelle du territoire français

EXPLORE 2070

Le projet Explore 2070 a conduit une analyse approfondie des données et modélisations à l'échelle de la France à un horizon d'une cinquantaine d'années. Il s'agissait de connaître les impacts du changement climatique sur les milieux aquatiques et la ressource en eau pour élaborer les stratégies d'adaptation les plus appropriées dans le domaine de l'eau. Le projet a été porté par la Direction de l'Eau et de la Biodiversité du Ministère de l'Eau, de l'Environnement et de la Mer (MEEM) avec la participation de l'ONEMA, du Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales (CETMEF), des Agences de l'eau, des DREAL et de différentes Directions du MEEM. Il a rassemblé une centaine d'experts venant d'établissements de recherche et de bureaux d'études spécialisés. Au niveau des rivières les résultats ont été obtenus à partir d'une combinaison de sept scénarios climatiques et deux modèles hydrologiques, ce qui a permis, pour la première fois à cette échelle, de quantifier l'incertitude des résultats (Figure 3). Pour une majorité de stations, la baisse du débit moyen annuel en 2050 serait de 10 à 40 % par rapport à la période 1961-1990. Le bassin de la Garonne est particulièrement touché, (avec une baisse allant jusqu'à 50 %), ainsi que le bassin de la Seine, en raison d'une augmentation de l'évapotranspiration combinée à une baisse relative des précipitations. Le sud-est de la France ne subit pas de fortes baisses en pourcentage, ce qui ne veut pas dire que l'impact réel soit faible, compte tenu de la rareté de la ressource en eau dans cette région. Avec une baisse de 20 à 30% de la recharge (jusqu'à 50% dans le sud-ouest de la France), la dynamique des aquifères serait fortement touchée. Le niveau moyen des nappes baisserait de manière limitée près des cours d'eau, mais la baisse pourrait atteindre une dizaine de mètres sur les plateaux ou contreforts des bassins sédimentaires.

D'autres projets régionaux peuvent également être mentionnés : dans le bassin de la Garonne, les projets Imagine 2030, Garonne 2050 et REGARD ; dans le bassin Rhône-Méditerranée les projets ANR VULCAIN et R2D² etc.

POUR PLUS D'INFORMATION :
<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Evaluation-des-strategies-d.html>

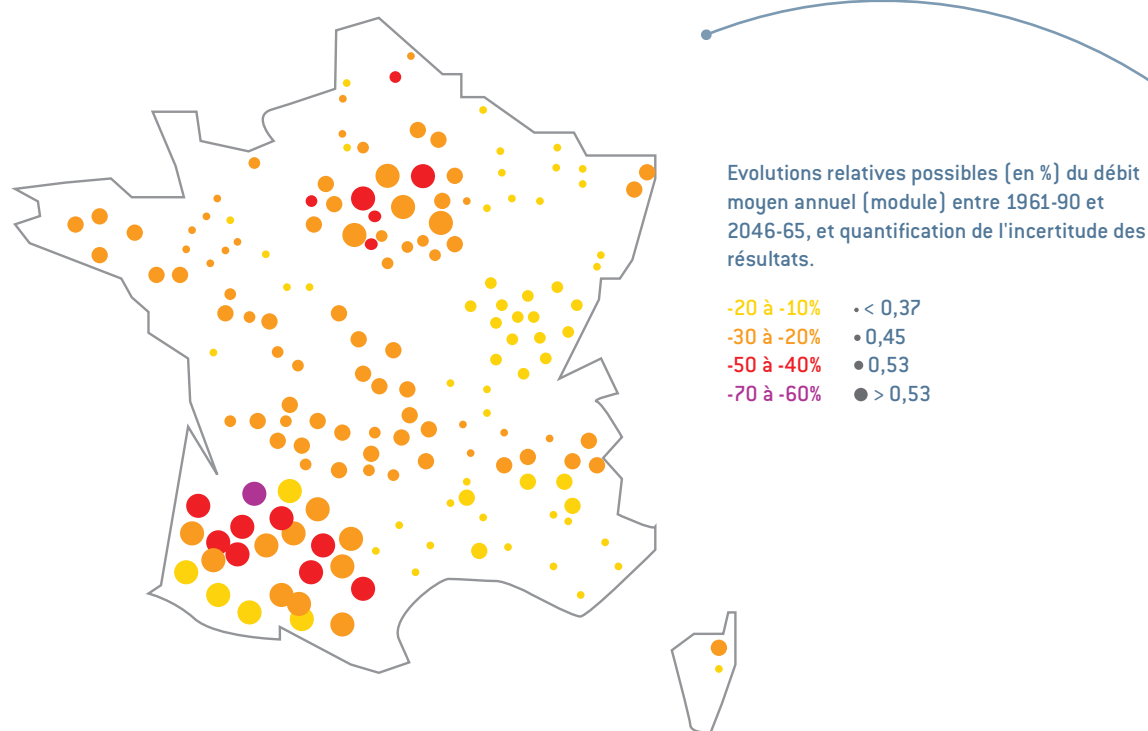


Figure 3 - Un des résultats obtenus dans le cadre du programme Explore 2070



Analyser la réponse du cycle de l'eau aux fluctuations climatiques et aux changements environnementaux en Afrique

PROGRAMME INTERNATIONAL AMMA CATCH

La sécheresse généralisée qui a affecté l'Afrique occidentale au cours des décennies 1970 et 1980 constitue un des événements climatiques à l'échelle régionale les plus significatifs du 20^{ème} siècle. Les conséquences de cette sécheresse touchant une zone densément peuplée ont été importantes en raison de son étendue et de sa durée. Au cours des dernières décennies (depuis 1990) un retour à des conditions plus humides a été observé dans la majorité de l'Afrique occidentale, sauf dans la région du Sahel où celui-ci a été plus tardif. Le possible rôle du changement des conditions de surface (occupation des sols, réduction des surfaces boisées par exemple) dans le régime des précipitations a été abordé dans de nombreuses études, dont le programme international AMMA CATCH⁶ [African Monsoon Multidisciplinary Analyses, composante CATCH Couplage de l'Atmosphère Tropicale et du Cycle Hydrologique], soutenu par de nombreuses agences de recherche européennes, américaines et africaines. Plusieurs sites répartis sur la zone sahélienne ont fait l'objet d'études de la réponse du cycle de l'eau aux fluctuations climatiques et aux changements environnementaux. La teneur en eau dans les sols a été mesurée, les bilans hydrologiques établis et modélisés en prenant en considération dans certains cas les eaux souterraines. Il a été prouvé que les modifications de l'occupation des sols conduisent à des modifications de la recharge : des dizaines de milliers de m³ d'eau s'infiltrent sur des bassins versants < 1 km². Le ruissellement diminue jusqu'à 50% dans les zones sableuses. Les niveaux piézométriques augmentent modifiant les composantes des eaux de surface et des eaux souterraines du cycle de l'eau, et conduisant à de nouvelles modalités de gestion de la ressource.

POUR PLUS D'INFORMATION :
<http://www.amma-catch.org/>

⁶ Lebel, T., Cappelaere, B., Galle, S., Hanan, N., Kergoat, L., Levis, S., Vieux, B., Descroix, L., Mougin, E., Peugeot, C., Séguis, L., 2009. AMMA-CATCH studies in the Sahelian region of West-Africa: an overview. Journal of Hydrology 375 (1-2), 3-13. AMMA-CATCH Special Issue.



Développer une approche interdisciplinaire en Méditerranée

PROJET ANR AMETHYST

Le projet AMETHYST⁷ (2013-2017 - Assessment of changes in MEdiTerranean HYdro-resources in the South: river basin Trajectories) est un projet interdisciplinaire centré sur deux bassins versants largement anthropisés : Tensift (Maroc) et Merguellil (Tunisie). Sur ces deux bassins, la mobilisation des ressources en eau approche, voire dépasse 100%. La demande sociale pour l'étude de scénarios d'évolutions futures est forte. Le projet met en perspective les évolutions en cours en analysant les décennies passées et futures. Pour le futur, les bassins seront soumis à une augmentation de température de 1 à 1.3°C à l'horizon 2030 (par rapport à la période 1986-2005) et de 1.5 à 2.3°C à l'horizon 2050. Même si l'évolution des précipitations est incertaine, l'impact sur le développement des cultures est très important. Concernant le suivi récent des cultures, le projet se base sur le couplage entre données satellitaires, qui permettent de suivre les états de surface avec des modèles de suivi des cultures ou de gestion opérationnelle. Le projet analyse les facteurs environnementaux et socio-économiques en lien avec la dynamique spatio-temporelle des ressources en eau, afin d'évaluer leur évolution conjointe. Ainsi des enquêtes de terrains sont conduites pour recueillir des informations sur la situation des périmètres publics d'irrigation, leur gouvernance et les difficultés éventuelles de gestion. Ces travaux de terrain sont essentiels pour identifier les scénarios futurs et les leviers d'action possibles pour améliorer la gestion durable de l'eau dans le futur.

POUR PLUS D'INFORMATION :
<http://anr-amethyst.net/>

⁷ AMETHYST ANR : Boukhari K., Fakir Y., Stigter T., Hajhouji Y., Boulet G. 2015. Origin of recharge and salinity and their role on management issues for a large alluvial aquifer system in the semi-arid Haouz plain, Morocco. *Environmental Earth Sciences*. 73 (10): 6195-6212.

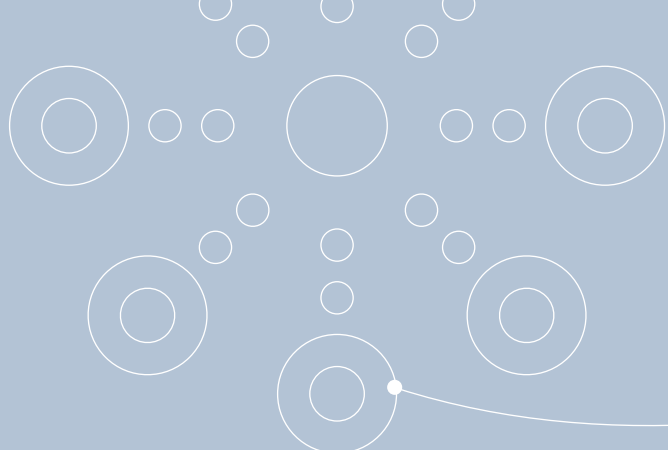


Etudier la vulnérabilité des irrigants en Inde du Sud

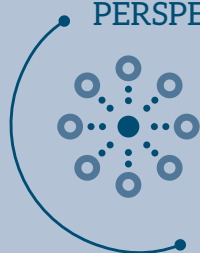
PROJET ANR SHIVA

L'impact du changement global sur la ressource en eau et ses usages est aujourd'hui particulièrement marqué dans le sud rural de l'Inde. L'agriculture vivrière (riz et légumes) en Inde du Sud repose principalement sur les ressources en eau souterraine pour l'irrigation. Depuis la révolution verte et en particulier les années 1990, les surfaces irriguées ont fortement augmenté occasionnant une chute importante des niveaux piézométriques dans les aquifères. Les aquifères sont rechargés au cours des moussons ; leur amplitude influence la recharge et la disponibilité de l'eau. Les gouvernements successifs ont favorisé des mesures de création de ressources (réservoirs, transfert d'eau, recharge artificielle) pour satisfaire la demande. Une succession d'années sèches contraint les agriculteurs à réduire de façon importante leurs surfaces irriguées. Dans ce cadre, le projet ANR SHIVA s'est donc attaché à caractériser la vulnérabilité économique des utilisateurs de la ressource en eau souterraine du sud de l'Inde, en contexte de changement global, sur la base de scénarios climatiques (2040-2060) et socio-économiques (2020-2040) appliqués à des modèles hydrologiques, pour simuler la disponibilité en eau souterraine pour l'irrigation. Les résultats ont été croisés avec des enquêtes de terrain auprès des fermiers pour en déduire leur vulnérabilité et leur capacité d'adaptation. Des méthodes de changement d'échelle ont ensuite été explorées pour traduire cette vulnérabilité à l'échelle du sud de l'Inde. Les projections du GIEC prédisent pour cette région une augmentation moyenne des précipitations ainsi qu'une augmentation de la variabilité climatique qui se traduit par une augmentation de l'occurrence des conditions hydrologiques extrêmes (moussons fortes ou faibles). Les résultats des modélisations indiquent que l'augmentation moyenne des précipitations entraînera une augmentation de la ressource en eau. Néanmoins, du fait de l'augmentation des conditions hydrologiques extrêmes, cette augmentation de la ressource en eau sera spatialement hétérogène : certaines zones du bassin testé, avec une densité de pompage important, une faible densité de réservoirs ou une plus faible capacité de stockage souterrain, connaîtront une augmentation de la durée des périodes de pénuries en eau.

POUR PLUS D'INFORMATION :
www.agence-nationale-recherche.fr/fileadmin/documents/2015/posters/poster_SHIVA.pdf



PERSPECTIVES



FAVORISER L'ÉMERGENCE DE MODÈLES PLUS COMPLETS POUR AMÉLIORER LA PRISE DE DÉCISION

Au-delà du développement d'applications nouvelles reprenant les acquis des projets passés, trois axes prioritaires se dégagent pour rendre ces modèles plus utiles pour la décision : la prise en compte de manière détaillée du comportement des usagers et de leur influence sur la ressource, l'apport des données satellitaires pour le suivi de la ressource et l'amélioration de l'interaction surface/souterrain dans les modèles.



La concertation opérationnelle multi-niveau (du citoyen au décideur) est une composante indispensable à la gestion des ressources en eau. L'ingénierie de la concertation permet d'une part de fournir des scénarios pour les modèles hydro-climatiques, d'autre part d'exploiter et de traduire les résultats des modèles hydro-climatiques afin de pouvoir évaluer les actions à mettre en place. Ce type d'interaction peut être modélisé de manière plus ou moins détaillée. Par exemple, la plateforme multi-agents MAELIA⁸ permet de représenter de manière très fine les interactions entre les activités agricoles, les prélèvements d'eau pour les différents usages, y compris pour des tests de scénarios.



Pour les bassins versants peu instrumentés ou pour une gestion des ressources en eau sur de très grandes surfaces (à l'échelle continentale), l'utilisation de données satellitaires pour le suivi de la surface en général, de l'humidité de surface (SMOS – Soil Moisture and Ocean Salinity), du contenu en eau total (GRACE – Gravity Recovery and Climate Experiment), et bientôt du niveau des cours d'eau et lacs à fine résolution (SWOT – Surface Water Ocean Topography) sont indispensables. Les méthodes permettant de les intégrer à différents niveaux dans les modèles doivent être développées à toutes les échelles. Finalement, l'amélioration des couplages eaux de surface/eaux souterraines dans les modèles hydro-climatiques est nécessaire pour de nombreuses applications.

⁸ <http://maelia-platform.inra.fr/>

Annexe

Liste des organismes français proposant une offre d'expertise dans les domaines cités identifiés par le Partenariat Français pour l'Eau

THÈMES D'INTERVENTIONS SUR LE DÉVELOPPEMENT ET L'ADMINISTRATION DE SYSTÈMES D'INFORMATION	ORGANISMES (LISTE NON EXHAUSTIVE)
Météorologique	MFI
Hydrologique	IRD, IRSTEA, CNR, BRLi, Geo-hyd, Tenevia, CACG, SCP
Qualité de l'eau	Asconit, CNR, CACG, Geo-hyd, OIEau
Eaux souterraines	BRGM, Geo-hyd, imaGeau
Eaux marines	IFREMER
Usages/prélèvements	CNR, BRL, Geo-hyd
Irrigation	SCP, CACG, IRSTEA, BRGM
Services Urbains AEP	SEM, SIAAP, Veolia, Degremont, Saur, OIEau, Suez
Gestion intégrée ressource en eau	OIEau, CACG, BRL, Geo-hyd, Steria, BRGM, IRSTEA
Lutte contre les risques inondation	IRSTEA, Geo-hyd, BRGM, Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations (SCHAPI –e.g. Vigicrue), ISL Ingénierie, Predict service
SIG	BRL, SCP, G2C, Geo-hyd, BRGM
Standardisation méthodologiques (mesure, prélèvement, analyse, fiabilisation et comparabilité des données)	OIEau et Aquaref (BRGM, IFREMER, INERIS, Irstea, LNE)

Une base de données accessible sur le site internet du Partenariat Français pour l'Eau répertorie des exemples de projets complémentaires qui n'ont pas pu être présentés dans cette plaquette.

Glossaire

ABN : Autorité du Bassin du Niger
ABV : Autorité du Bassin des Volta
AFD : Agence Française de Développement
ASECNA : Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et Madagascar
BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BRL : Groupe BRL ex Compagnie d'aménagement du Bas-Rhône-Languedoc
CACG : Compagnie d'Aménagement des Coteaux de Gascogne
CNES : Centre National d'Etudes Spatiales
CNR : Compagnie Nationale du Rhône
CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique
CSA : Canadian Space Agency
DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
FAE : Facilité Africaine pour l'Eau
FFEM : Fonds Français pour l'Environnement Mondial
GIEC : Groupe d'Experts Environnemental sur l'Evolution du Climat
GRACE : Gravity Recovery and Climate Experiment
HSM : Laboratoire Hydrosociétés Montpellier
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
IRD : Institut de Recherche pour le Développement
IRSTEA : Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture
ISL : ISL Ingénierie
MAEDI : Ministère des Affaires Etrangères et du Développement International
MEEM : Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer
MFI : Météo France International
ODD : Objectifs de Développement Durable
OIEau : Office International de l'Eau
OMM : Organisation Météorologique Mondiale
ONEMA : Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques
RIOB : Réseau International des Organismes de Bassin
RNDE : Réseau National de Données sur l'Eau
SCHAPI : Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations
SCP : Société du Canal de Provence
SHAPI : Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondation
SHN : Services Hydrologiques Nationaux
SIAAP : Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne
SIEREM : Système d'Informations Environnementales sur les Ressources en Eau et leur Modélisation
SIG : Système d'Information Géographique
SMN : Services Météorologiques Nationaux
SMOS : Soil Moisture and Ocean Salinity
SOMEI : filiale informatique du groupe des Eaux de Marseille
SWOT : Surface Water and Ocean Topography
WHYCOS : World Hydrological Cycle Observing System

Trop souvent mal connues, mal gérées et peu protégées, les ressources en eau subissent des pressions de plus en plus fortes sous l'effet de facteurs nombreux et variés : changement climatique, croissance démographique, impératifs de sécurité alimentaire, urbanisation, pressions économiques, etc. Dans ce contexte, la connaissance et la compréhension de l'ensemble des enjeux liés aux ressources en eau et aux pressions sont essentielles pour gérer l'eau efficacement.

Les acteurs français publics et privés du domaine de l'eau ont une longue expérience reconnue internationalement dans ce domaine, qu'il s'agisse de l'acquisition de données hydrologiques et météorologiques, de la mise en place de Systèmes d'Information sur l'Eau fonctionnels ou du développement de modèles hydro-climatiques qui nous aideront à mieux faire face aux enjeux à venir.

Ce premier numéro de la collection « expertise du PFE » permet de mettre en lumière les enjeux liés à la connaissance, les expertises développées pour répondre à ces enjeux en France et à l'international et rappelle l'urgente nécessité d'agir.

Le Partenariat Français pour l'Eau est la plateforme française d'échanges et de réflexion qui fait la promotion au plan international d'une approche multi-acteurs des questions liées à l'eau, valorise de façon collective les savoir-faire français et contribue à mettre l'eau à l'ordre du jour de l'agenda politique mondial.

Il regroupe une centaine de membres publics et privés issus de 6 collèges représentatifs du paysage de l'eau français (Etat et établissements publics ; ONG, associations et fondations ; collectivités territoriales et parlementaires ; acteurs économiques ; institutions de recherche et de formation ; personnes physiques françaises et étrangères)



En collaboration avec :



Ils soutiennent le PFE :



51 rue Salvador Allende
92027 Nanterre / France

+33 (0) 1 41 20 19 49
+33 (0) 1 41 20 16 09

www.french-water-partnership.fr
www.partenariat-francais-eau.fr

COMMITTED TO WATER FOR THE WORLD

ENGAGÉS POUR L'EAU DU MONDE