



Le projet LIFE Eau&Climat (LIFE19 GIC/FR/001259)  
a reçu un financement du programme LIFE de l'Union européenne.



**LIFE Eau&Climat**

**Supporting long-term local decision-making for climate-adapted Water Management**

# Mener une étude rétrospective et prospective sur la ressource en eau

## Le livre blanc dont Vous êtes le héros

**Jean-Philippe Vidal<sup>1</sup>, Louis Héraut<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>INRAE, UR RiverLy, Villeurbanne



*Avec le soutien  
financier de :*

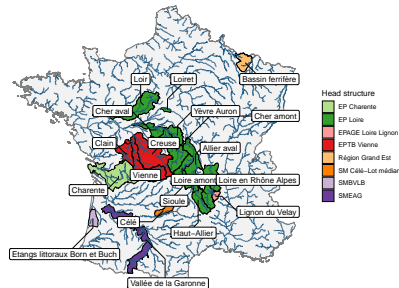


# Renforcer les échanges entre gestionnaires et chercheurs



Comment utiliser au mieux l'information produite par la communauté scientifique dans les stratégies d'adaptation au changement climatique ?

- ▶ Modèles et données hydroclimatiques
- ▶ Études sur les évolutions passées et sur les projections futures
- ▶ Dans les territoires



21 SAGEs



### Capitalisant sur

- ▶ Expertise des chercheurs
- ▶ Expériences en conditions réelles des partenaires territoriaux pour définir et lancer des études d'impact du changement climatique

### Adapté aux

- ▶ Gestionnaires de l'eau pour définir et évaluer les études
- ▶ Bureaux d'études pour les mener à bien

### Se concentrant sur la "ressource" en eau

- ▶ Dont l'évolution est uniquement liée au climat
- ▶ Qui est un préalable à la construction de stratégies d'adaptation incluant les usages et la gestion de l'eau dans les territoires

### Visant à

- ▶ Guider les gestionnaires à travers les concepts, les jeux de données, et les méthodes
- ▶ Être lu, et donc ne pas être rédhibitoirement ennuyeux

# Mener une étude rétrospective et prospective sur la ressource en eau



## Carte technique

- Livre-web basé sur la technologie **R bookdown** : <https://www.bookdown.org>
- Références croisées et externes par hyperliens





# Mener une étude rétrospective et prospective sur la ressource en eau

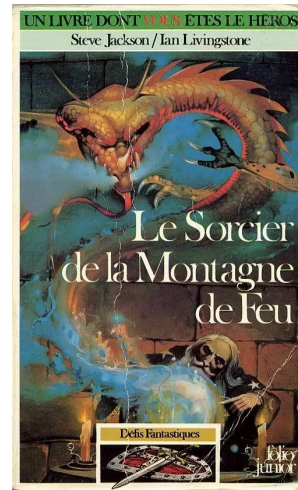


## Carte technique

- ▶ Livre-web basé sur la technologie **R bookdown** : <https://www.bookdown.org>
- ▶ Références croisées et externes par hyperliens

## Le livre blanc dont Vous êtes le héros

- ▶ Inspiré de la collection **Défis fantastiques**
- ▶ Écrit à la seconde personne



Jackson and Livingstone (1983, première édition française)

# Mener une étude rétrospective et prospective sur la ressource en eau



## Carte technique

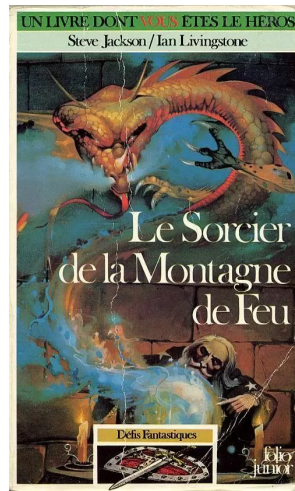
- ▶ Livre-web basé sur la technologie **R bookdown** : <https://www.bookdown.org>
- ▶ Références croisées et externes par hyperliens

## Le livre blanc dont Vous êtes le héros

- ▶ Inspiré de la collection **Défis fantastiques**
- ▶ Écrit à la seconde personne

## Chapitrage

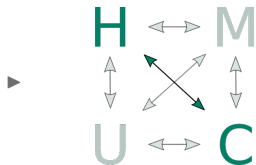
- ▶ Avertissements
- ▶ Définir l'objet de la quête
- ▶ Préparer son équipement
- ▶ Lire le grimoire Explore2
- ▶ Mission première : Retrouver l'évolution passée de la ressource en eau
- ▶ Mission seconde : Composer le futur des ressources en eau
- ▶ Fin(s) de votre quête



Jackson and Livingstone (1983, première édition française)

## Les traditionnels avertissements à l'aventurier · ère

1. Ce livre traite d'hydrologie uniquement naturelle



- Complémentaire d'autres guides existants comme le *Diagnostic des vulnérabilités au changement climatique pour la gestion locale de l'eau* (délivrable LIFE Eau&Climat)
2. Ce livre n'est pas un guide pour prévoir des débits futurs anthropisés
  3. Ce livre et les recommandations qu'il contient sont en constante adaptation  
→ En cours avec les mises à jour Explore2

### *Troisième avertissement : D'où vient ce livre et la confiance que vous pouvez lui accorder*

*Ce livre tente de compiler les expériences des nombreux quêteurs passés qui se sont essayé à arpenter ce territoire jusqu'à mal connu de l'évolution de l'hydrologie dans un contexte climatique changeant. Il repose ainsi sur ces récits de voyage lacunaires, riches de rencontres, de quêtes inachevées, de messages codés, qui nous sont parvenus par-delà les âges. [...] Enfin, ce livre est écrit à un instant donné, et reflète l'expertise et la connaissance acquise et partagée à cet instant-là. Heureusement, et c'est ce qu'il y a de magique, le contenu de ce livre est en constante évolution pour suivre au plus près les rebondissements de l'histoire de cette contrée que vous vous préparez à explorer.*

*Vous avez lu attentivement ces trois avertissements, vous pouvez à présent définir l'objet de votre quête.*

## Une introduction à la contrée à explorer

- ▶ Contexte institutionnel
  - ▶ Liste et liens vers les principaux textes réglementaires à différentes échelles spatiales
- ▶ Contexte de l'étude
  - ▶ Exemples d'études mises en oeuvre dans le cadre du projet LIFE Eau&Climat

### **Contexte institutionnel**

*Votre quête peut s'inscrire dans une multitude de contextes différents, selon le bassin hydrographique que vous allez arpenter (voir la liste des bassins), ou selon le type d'étude envisagé. Les sections ci-dessous dressent très succinctement une liste des types de récits qui peuvent être identifiés, ce qui est une question essentielle pour une partie des lecteurs de ce livre, à savoir les maîtres d'ouvrage.*

*[...]*

### **Contexte de l'étude**

*[...]*

*Si vous avez les idées claires sur le type d'étude dans lequel votre quête s'inscrit, alors vous pouvez commencer à interroger les aventuriers vous ayant précédé et faire grâce à eux un point sur l'état des connaissances avant de vous lancer dans votre quête. Pour cela, rendez-vous à la section suivante.*

# Préparer son équipement

## Recenser les connaissances existantes

### Définir le territoire

- Externalités potentielles sur la ressource et/ou les usages

### Lister les portails de connaissance sur le territoire



Carte des Groupements Régionaux d'Experts sur le Climat (GREC)

### Lister les études déjà réalisées sur le territoire (et au-delà)

- Recueil raisonné de synthèses de projets de recherche (Bornançin Plantier et al., 2021)



Le projet LIFE Eau&Climat (LIFE19 GIC/FR/001259)  
a reçu un financement du programme LIFE de l'Union européenne.



## Recueil de projets sur la thématique « eau et changement climatique »

*Compendium of projects on  
water and climate change*

Décembre 2021

Réalisé avec le soutien financier de  
l'Agence de la transition écologique (ADEME)



### Auteurs

Audrey BORNANÇIN PLANTIER et Lucile PARENT (OIEau)




# Préparer son équipement

## Collecter les données



Climat : <https://meteo.data.gouv.fr/>

- ▶ Données climatologiques de base
  - ▶ Séries observées à la station
- ▶ Données climatologiques de référence pour le changement climatique
  - ▶ Longues Séries Homogénéisées
  - ▶ Séries Quotidiennes de Référence
  - ▶ Réanalyse en grille Safran

*Un aventurier rencontré dans une taverne vous annonce que tous ces jeux de données ont été mis à disposition gratuitement par Météo-France depuis le premier janvier 2024. Et il vous tend l'édit publié récemment . Vous décidez de rentrer votre bourse et garder précieusement son contenu qui pourra vous être utile dans la suite de votre quête, notamment pour rétribuer les personnes qui vont pouvoir vous aider dans vos deux missions.*

Hydrologie : <https://www.hydro.eaufrance.fr/>

- ▶ Réseau de Référence pour la Surveillance des Étiages (RRSE) : stations faiblement influencées, avec un long historique et des mesures de bonne qualité
- ▶ Séries naturalisées



## Identifier les modélisations hydrologiques disponibles

### Limites générales des modèles hydrologiques

- ▶ Uniquement processus naturels simulés
- ▶ Bassins versants invariants dans le temps

### Diversité des modèles

- ▶ Hydrologie de surface
- ▶ Hydrogéologie

### Disponibilité des simulations

- ▶ Régions / bassins versants
- ▶ Périodes de temps
  - ▶ Simulation rétrospective (1970s–2020s)
  - ▶ Projections hydroclimatiques : historique 1976-2005 + scénarios 2006-2100)

[...]

À présent que vous avez préparé votre équipement, que vous avez compulsé tous les ouvrages décrivant votre territoire et ses futurs possibles, que vous avez rédigé la liste des objets à mettre dans votre sac à dos, que vous connaissez l'étendue des augures disponibles, vous pouvez à présent vous mettre en route et vous lancer dans votre Mission première : rerouver l'évolution passée de la ressource en eau et donc commencer par analyser et calculer des tendances. Mais prenez bien avec vous le grimoire Explore2, il peut vous sauver la vie, ou tout du moins celle de votre stratégie d'adaptation au changement climatique.

## Les formules magiques vers des portails

- Site web :  
<https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>
- Répertoire de données/metadonnées :  
<https://entrepot.recherche.data.gouv.fr/dataverse/explore2>

## Les messages pratiques

- Les 4 narratifs Explore2 fournissent une porte d'entrée vers la pluralité des futurs possibles
- Il y a toujours un point de simulation hydrologique Explore2 près de chez vous

*Dans la salle principale d'un château en ruine, assis sur ce qui paraît être un trône, un aventurier sans âge dont seul le regard trahit les longues années de quêtes inachevées vous tend un grimoire à la reliure séculaire : "Aventurière, vous ne pourrez mener à bien votre quête qu'après avoir longuement étudié ce grimoire. Il est le fruit de dizaines d'années d'expériences de la communauté de recherche française en climat et en hydrologie sur la question ô combien essentielle de l'évolution de la ressource en eau. Ce grimoire, ainsi que les portails vers d'autres mondes qu'il contient, sont le résultat de deux années intenses de réflexions de cette communauté à laquelle je me permets de rendre ici hommage. Aventurière ! Je vous confie ce grimoire, faites-en bon usage. Je ne peux vous en dire plus à présent, allez en paix."*

*Vous remerciez l'homme à l'étrange tatouage Nazca, vous sortez de la salle et vous vous asseyez sur un banc au fond de la chapelle attenante pour consulter tranquillement ce grimoire.*

*Il paraît avoir traversé les siècles et pourtant, l'encre vous semble être encore fraîche, comme s'il venait d'être écrit ou réécrit. [...]*



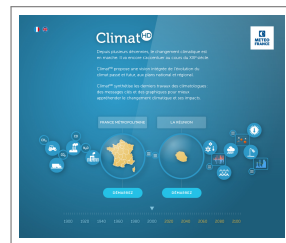
# Mission première : Retrouver l'évolution passée de la ressource en eau



## Analyser et calculer des tendances

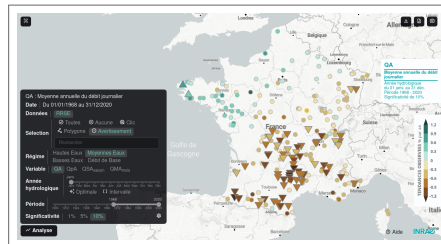
### Prise en compte des connaissances existantes

- ▶ ClimathD : <http://www.meteo.fr/meteonet/temps/clim/ClimathD/accueil.html>
  - ▶ Séries homogénéisées
- ▶ MAKHO : <https://makaho.sk8.inrae.fr/>
  - ▶ Stations du Réseau de Référence pour la Surveillance des Étiages (RRSE)



### Calculer des tendances passées

- ▶ Quelle variable pour quel message ?
- ▶ Quel jeu de données ?
- ▶ Quelle période pour quel usage ?
- ▶ Éléments méthodologiques



# Mission première : Retrouver l'évolution passée de la ressource en eau



## Réaliser ou utiliser une modélisation hydrologique

### Quand et pourquoi ?

- ▶ Se projeter dans le futur
- ▶ revenir dans le passé
- ▶ Extrapoler dans l'espace

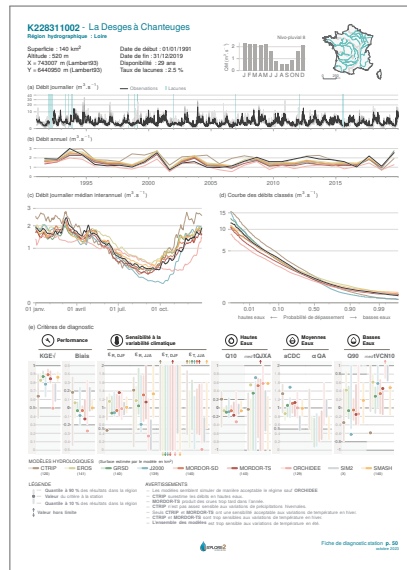
### Par qui, pour qui, et comment ?

- ▶ Exemples du projet LIFE Eau&Climat

### Sélectionner une modélisation hydrologique

- ▶ Identifier les types de variables ciblées
- ▶ Identifier les modèles sur votre territoire
- ▶ Sélectionner les modèles pouvant répondre aux questions posées

- ▶ Fiches diagnostic sur 611 stations de référence Explore2
- ▶ Disponibles sur <https://www.drias-eau.fr>



# Mission seconde : Composer le futur des ressources en eau



## Appréhender le climat futur sur la France

### Visualiser les futurs du climat

- Espace *Découverte*  
<https://www.drias-climat.fr/>
- Attention : l'ensemble Explore2-Climat n'est pas encore visualisable

The screenshot shows the homepage of the DRIAS website, titled "DRIAS les futurs du climat". The header includes the logo of the "MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE" and navigation links: ACCUEIL, ACCOMPAGNEMENT, DÉCOUVERTE, and DONNÉES ET PRODUITS. A large banner features a colorful autumn forest image with the text "Bienvenue sur le nouveau portail DRIAS" and "Venez découvrir les nouvelles projections climatiques de référence et les nouveaux outils pour évaluer les risques et les impacts climatiques". Below the banner, a map of France is shown with a color-coded legend indicating temperature changes, titled "Drias les futurs du climat, projections climatiques pour l'adaptation de nos sociétés". Text on the page explains that DRIAS provides regional climate projections from French laboratories (IPSL, CERFACS, CNRM) and offers a three-step approach for adaptation: 1) Espace Découverte (guides and maps), 2) Espace Accompagnement (tools and data), and 3) Espace Données et Produits (downloadable data). On the right, there are links for "Actualités" (with a newsletter sign-up), "Rapport DRIAS 2020", and "DRIAS-Eau". The footer lists partners like Météo France, Institut Pierre Simon Laplace, and CERFACS, along with a "À propos" section containing contact and legal information.

# Mission seconde : Composer le futur des ressources en eau



## Appréhender le climat futur sur la France

### Visualiser les futurs du climat

- ▶ Espace *Découverte*  
<https://www.drias-climat.fr/>
- ▶ **Attention : l'ensemble Explore2-Climat n'est pas encore visualisable**

### Exploiter les projections climatiques Explore2

- ▶ Espace *Données et produits*  
<https://www.drias-climat.fr/>
- ▶ **Attention : l'ensemble Explore2-Climat est seulement téléchargeable au format netcdf (Accès simplifié)**
- ▶ Nécessité d'accroître dans les territoires les compétences en science de la donnée

[...]

Pour accéder aux jeux de données, vous avez le choix entre deux portes. Il va donc falloir faire plusieurs choix selon les points d'habileté qu'il vous reste à ce moment-là de votre quête. Les sections suivantes vont espérons-le vous permettre d'explorer les pièces de ce labyrinthe en toute connaissance de cause. Si vous décidez d'ouvrir la porte **Sélection personnalisée**, rendez-vous juste à la section juste au-dessous. Si vous choisissez d'ouvrir la porte **Accès simplifié (domaine complet)**, rendez-vous à la section correspondante. Attention, le vocable "Accès simplifié" a déjà induit en erreur plusieurs aventuriers.

[...]

[...]

Si vous avez trouvé précédemment dans votre quête les incantations requises pour ouvrir des fichiers au format netcdf, rendez-vous au paragraphe suivant. Dans le cas contraire, vous ne parvenez pas à exploiter les projections climatiques produites par le projet Explore2, et votre stratégie d'adaptation ne peut tenir compte des fortes variations climatiques naturelles qui se superposent au changement climatique. Votre quête s'arrête ici.



# Mission seconde : Composer le futur des ressources en eau



## Appréhender l'hydrologie future sur votre territoire

### Faire l'inventaire des connaissances sur le territoire

- d'Explore2070 à Explore2

[...]

*Au détour de conservations dans des tavernes plus ou moins bien famées et d'exploration de cassettes renfermant des liasses d'écrits, vous réalisez que ces connaissances sont très éparses, partielles et fragmentaires. Elles peuvent ainsi concerner votre bassin versant ou bien l'ensemble de la contrée qui vous intéresse, c'est-à-dire la France. De plus, chaque étude, chaque parchemin sur lequel vous arrivez à mettre la main, vous raconte une histoire plus ou moins différente des autres, en fonction de l'ère pendant laquelle elle a été écrite, et les connaissances scientifiques disponibles à cette époque. [...]. Vous parvenez toutefois à sortir de cet enchevêtrement de manuscrits deux récits reliés en velin qui vous semblent refléter une vision partagée par la communauté, et cela à deux époques différentes, la deuxième étant celle dans laquelle vous avez à accomplir votre quête.[...]*

# Mission seconde : Composer le futur des ressources en eau



## Appréhender l'hydrologie future sur votre territoire

### Faire l'inventaire des connaissances sur le territoire

- d'Explore2070 à Explore2

### Visualiser les futurs de l'eau sur le territoire

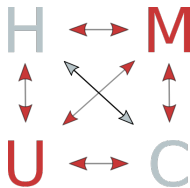
- Portail MEANDRE  
<https://meandre.explore2.inrae.fr/>

### Exploiter les projections hydrologiques Explore2

- Espace *Données et produits*  
<https://www.drias-eau.fr/>
- Attention : les chroniques journalières de l'ensemble Explore2 sont seulement téléchargeables au format **netcdf** (*Accès simplifié*)

## À retenir

- ▶ **Assimiler les concepts** relatifs aux études d'impact du changement climatique
- ▶ **Utiliser au maximum les connaissances existantes** produites par la communauté de recherche hydroclimatique française (MAKAHO, Explore2)
- ▶ **Se concentrer sur ce qui n'est pas dans ce livre :**

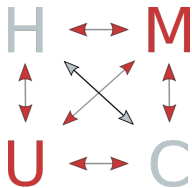


- ▶ Milieux aquatiques et usages/gestion de l'eau, et interactions avec le climat et l'hydrologie  
→ **propres à chaque territoire**

# Fin(s) de votre quête

## À retenir

- ▶ **Assimiler les concepts** relatifs aux études d'impact du changement climatique
- ▶ **Utiliser au maximum les connaissances existantes** produites par la communauté de recherche hydroclimatique française (MAKAHO, Explore2)
- ▶ **Se concentrer sur ce qui n'est pas dans ce livre :**



- ▶ Milieux aquatiques et usages/gestion de l'eau, et interactions avec le climat et l'hydrologie  
→ **propres à chaque territoire**

## Les mots de la fin... à éviter

*Vous n'avez pas réussi à intégrer la diminution drastique des ressources en eau dans votre stratégie d'adaptation au changement climatique. Votre territoire a souffert d'une sécheresse qui a duré 5 ans et qui a réduit vos récoltes à zéro, et vous êtes mort de faim. Votre quête s'arrête ici.*

*Vous n'avez pas réussi à intégrer l'augmentation possible du risque de crue dans votre stratégie d'adaptation au changement climatique. Une inondation d'une intensité inédite a ravagé tout votre territoire, y compris votre maison, et vous vous êtes noyé dans votre sous-sol. Votre quête s'arrête ici.*



# Mener une étude rétrospective et prospective sur la ressource en eau

Le livre blanc dont Vous êtes le héros



Une version encore inachevée du manuscrit est disponible sur

<https://livreec.inrae.fr>

Merci de votre attention

Jean-Philippe Vidal

INRAE, RiverLy

# Références



*bookdown: Authoring Books and Technical Documents with R Markdown* (2024). R package. Version 0.38.2.



Bornançin Plantier, A. et al. (2021). *Recueil de projets sur la thématique « eau et changement climatique »*. Technical report. Version 2021. OiEau. 71 pages.



Heraut, L. and M. Lang (Oct. 2022). *Note explicative : MAKACHO*. Technical report. INRAE.



Jackson, S. and I. Livingstone (1982). *The Warlock of Firetop Mountain*. Harmondsworth: Puffin. 170 pages. ISBN: 978-978-0-14-031538-7.



– (1983). *Le Sorcier de la Montagne de Feu*. Translated by C. Fabien. Collection « Défis fantastiques ». Paris: Gallimard. 209 pages. ISBN: 978-978-2-07-033252-6.



Kirk, T. and M. Sangster, editors (2023). *Realms of Imagination. Essays from the Wide Worlds of Fantasy*. London: British Library Publishing. 271 pages. ISBN: 978-978-0-7123-5449-3.



Xie, Y. (2016). *bookdown: Authoring Books and Technical Documents with R Markdown*. Boca Raton, Florida: Chapman and Hall/CRC. 113 pages. ISBN: 978-978-1-138-70010-9.