AQUA !
PATRIMOINES DE L'EAU
WATER HERITAGE

De la crue à la gestion de l'inondation
d'hier à aujourd'hui
- réflexions autour des ouvrages hydrauliques -

Rédaction Caroline Bartout avec l'aimable participation de Pascal Bartout, avril 2025



Crue sur l'Armançon, 2024

Table des matières

Introduction générale 4
I. Mieux comprendre l'hydrologie pour appréhender le risque inondation 6
1. Le bilan hydrologique : base élémentaire du cycle de l'eau 6
2. Le régime des cours d'eau métropolitains : temporalité de l'écoulement 7
3. Les crues en France : la notion d'aléa en hydrologie 8
a) Définitions de la crue 9
b) Les origines des crues : du ruissellement aux aires contributives saturées 9
c) Les différents types de crues 10
II. Histoire des inondations : de la gestion de l'eau aux rôles des ouvrages hydrauliques 12
1. Des chroniques mentionnant les récurrences des inondations 12
2. Une maîtrise de l'eau à l'échelle locale : la création d'une multitude d'ouvrages hydrauliques 13
3. Une mainmise nationale sur la gestion de l'eau 14
a) La maîtrise de l'environnement physique : les ouvrages hydrauliques, outils de conquête de la nature 15
b) L'appropriation de la ressource en eau et l'abandon de l'hydraulique douce 16
c) L'émergence des questions environnementales : vers une suppression des ouvrages hydrauliques ? 16
III. L'aggravation de la vulnérabilité aux inondations des biens et des personnes : du constat à la prospective 19
1. L'identification des principales causes d'aggravation des inondations au sein des bassins versants 19
a) Les constructions en zone inondable : une hausse notable de la vulnérabilité 20
b) L'augmentation du ruissellement : le rôle majeur des activités anthropiques 20
c) La destruction des petits ouvrages hydrauliques : une cause méconnue 21
2. La vulnérabilité et la culture du risque 24
3. Prospectives : le réchauffement climatique impose-t-il un contexte sensible à la gestion des inondations ? 26
a) Les tendances constatées au XXème siècle : températures, pluviométrie et débits 26
b) Les projections des modifications hydrologiques liées au réchauffement climatique 27
IV. La prévention des inondations : réflexions autour des solutions multiples de lutte contre les inondations dans un contexte sensible 29
1. La prévention par la spatialisation de l'inondation : réduire la vulnérabilité 29

a) La règlementation de la spatialisation de l'inondation : la géomorphologie du lit du cours d'eau au cœur de la planification 30
b) La spatialisation de l'inondation : le bassin-versant comme logique ? 31
c) La modélisation : outil de prévision et de spatialisation de l'inondation 32
2. Les solutions « grises » : favoriser le ralentissement dynamique 34
a) Le concept de ralentissement dynamique 34
b) Pistes de réflexion autour du rôle méconnu des petits ouvrages hydrauliques 35
c) Promouvoir une équité territoriale face au risque inondation 36
3. Les solutions « vertes » : une politique ancienne d'actualité 37
a) Des politiques RTM aux zones d'expansion de crues : l'amont au service de la protection aval 37
b) Les Solutions fondées sur la Nature (SfN) : un concept aux contours flous 38
c) Les solutions « vertes » pensées en complément des solutions « grises » 40
Conclusion générale 42
Bibliographie 44
Webographie 47

Introduction générale

La directive Inondation (2007) a permis d'établir un cadre pour l'évaluation et la gestion des risques d'inondation à l'échelle européenne. Pour ce faire, elle propose une définition de l'inondation que l'on retrouve inscrit de la manière suivante dans le Code de l'Environnement français (Art L. 566-1) depuis la loi Grenelle 2 (2010) : *« l'inondation est la submersion temporaire par l'eau de terres émergées, quelle qu'en soit l'origine, à l'exclusion des inondations dues aux réseaux de collecte des eaux usées, y compris les réseaux unitaires ».*

L'inondation est un risque majeur en France et occasionne chaque année des dégâts qui touchent plusieurs millions de citoyens : *« le risque d'inondation est le premier risque naturel en France en termes d'impacts et d'étendue. Il concerne un français sur quatre, soit plus de 17 millions de personnes »* (Jupin *et al*., 2022). Les médias relaient les évènements les uns après les autres en pointant du doigt des responsabilités : l'imperméabilisation des sols, le fait d'habiter en zone inondable, la fréquence *a priori* augmentée de faits météorologiques intenses dû au changement climatique, le manque d'entretien des ouvrages de protection etc… Le coût des assurances devient ainsi, avec le nombre de catastrophes, un enjeu majeur de société.

Des questions se posent alors sur la notion de risque, de vulnérabilité au risque, sur les connaissances du fonctionnement hydrologique des cours d'eau, sur les effets des éléments de protection ou d'atténuation déjà existants et plus largement sur la gestion de l'eau par les politiques publiques.

L'adaptation aux contextes naturels fait partie de l'existence humaine. Pendant longtemps, les Hommes ont considéré les cours d'eau comme indomptables, limitant leur installation à proximité immédiate de ceux-ci. Mais, grâce aux aménagements, notamment hydrauliques, ils ont pu en apprivoiser pour partie leurs excès. Cependant, la crainte d'une recrudescence d'extrêmes hydrologiques (crues hydrologiques ou étiages sévères) pousse la société à faire preuve, à nouveau, d'adaptations, cette fois-ci en matière d'outils règlementaires et de gestion.

La création de la compétence de GEstion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations (GEMAPI) en 2017 ainsi que la généralisation à l'ensemble du territoire métropolitain des Programmes d'Action de Prévention des Inondations (PAPI) depuis 2003 font échos à cette évolution. Toutefois, la gestion du risque inondation s'inscrit dans un cadre règlementaire hydrologique plus vaste qui laisse une place très importante à la nature, via notamment la doctrine de la continuité écologique.

En termes d'enjeux, la société française doit se positionner entre, d'un côté, la préservation d'une ressource très convoitée et, de l'autre, la protection d'une population de plus en plus vulnérable. Parmi les arbitrages possibles, rendre compatible une vision écologique des milieux aquatiques (GEMA) et la protection des biens et des personnes contre les extrêmes hydrologiques (PI) apparaît comme un choix crédible, durable.

En effet, aujourd'hui, des pistes émergent pour réduire cette vulnérabilité au risque inondation en respectant davantage la nature mais en préservant également les activités et usages anthropiques. Les Solutions fondées sur la Nature (SfN) sont alors fréquemment évoquées comme solutions alternatives en matière d'inondation.
Mais qu'en est-il vraiment ? Est-ce que les ouvrages hydrauliques déjà présents sur les linéaires de rivières françaises, pourraient constituer également une solution à mobiliser pour atténuer ce risque en augmentant la capacité de rétention et d'étalement de l'eau dans les parties amont des bassins versants?

Ce dossier propose donc d'explorer la part méconnue, ou du moins peu mise en avant, de l'utilisation de l'ensemble des ouvrages hydrauliques dans la gestion des risques inondations. Seront entendus ici par « ouvrages hydrauliques » les barrages et canaux classés ouvrages hydrauliques par la rubrique 3.2.5.0 du code de l'environnement, mais aussi les systèmes de protection contre les inondations et les aménagements hydrauliques classés eux dans la rubrique 3.2.6.0 du code de l'environnement. Nous ferons également la distinction entre la grande hydraulique, plutôt bien documentée, et la petite hydraulique, dont le rôle est très peu exploré.

Ainsi, dans un esprit systémique cher à la politique de l'eau depuis l'invention du concept d'hydrosystème par Roux en 1982, ce dossier vise à synthétiser les connaissances conceptuelles, techniques et pratiques sur les inondations, tout en cherchant à convaincre que la conciliation entre solutions fondées sur l'hydraulique et solutions fondées sur la nature serait l'enjeu majeur des politiques de lutte contre les excès hydrologiques de notre société contemporaine.

Pour mieux appréhender ces questionnements, ce document abordera :

- dans un premier temps, un paramètre souvent négligé dans les études hydrologiques alors qu'il est central pour la compréhension du risque d'inondation, à savoir le vocabulaire hydrologique ;
- dans un second temps, grâce au recul temporel, la compréhension des trajectoires de sensibilité aux inondations des sociétés vivant à proximité des cours d'eau et le rôle ancien des ouvrages hydrauliques ;
- ensuite, nous nous questionnerons sur les raisons qui ont conduit et qui conduisent encore à une hausse de la vulnérabilité des biens et des personnes ;
- enfin, nous tenterons de cerner les principaux moyens de préventions contre les effets des inondations, en abordant les solutions « douces », « vertes » et « grises » (Miqueu, *in* Landot *et al*., 2019) mais aussi leur combinaison.

I. Mieux comprendre l'hydrologie pour appréhender le risque inondation

Le risque hydrologique est l'un des risques les plus prégnants de notre territoire. Il peut se définir comme *« un phénomène préjudiciable ou dommageable à la société, doté d'une certaine probabilité et intensité, lié à la conjonction d'un aléa hydrologique plus ou moins influencé par les activités humaines […] et de la vulnérabilité de la société »* (Laganier et Scarwell, 2003) ou encore comme *« la combinaison de la probabilité d'une inondation et des conséquences négatives potentielles pour la santé humaine, l'environnement, le patrimoine culturel et l'activité économique associées à une inondation »* (Directive Inondation, 2007).
Pour autant, si *« l'inondation est le risque issu d'une crue »* (Giret, 2004), ce n'est pas un terme d'hydrologie. Pour Giret (2013), *« quand l'eau atteint des établissements humains, on parle d'inondation, qui est un terme d'assurance, d'aménagement […] »*. Il nous semble alors fortement opportun de revenir sur les vocabulaires scientifiques et administratifs, ainsi que sur les éléments clés hydrologiques permettant de nous éclairer sur la compréhension des origines naturelles de ce risque.

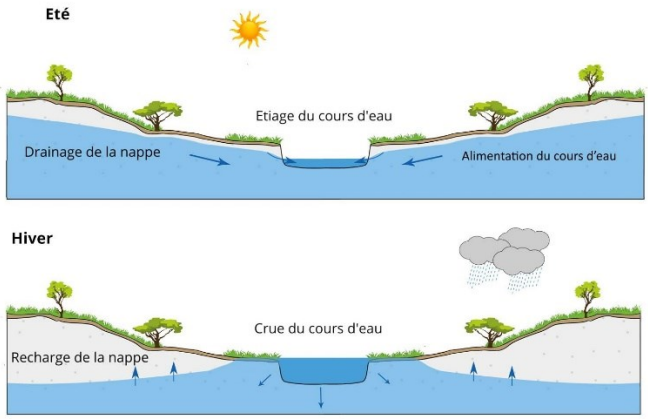
1. Le bilan hydrologique : base élémentaire du cycle de l'eau

Le bilan hydrologique se caractérise par la capacité à estimer *« la partition de l'eau qui tombe entre l'évaporation et l'écoulement »* (Cosandey et Robinson, 2000). Les calculs de bilans se situent dans le cadre spatial du bassin versant défini comme étant une unité de drainage c'est-à-dire *« l'ensemble de la surface recevant les eaux qui circulent naturellement vers un cours d'eau ou vers une même nappe d'eau souterraine »* (OFB[1]). D'après Cosandey et Robinson (2000), il s'agit d'une unité fonctionnelle : *« ce n'est qu'à l'échelle du bassin versant, en prenant en compte toutes ses composantes, qu'il est possible d'aborder l'étude des fonctionnements hydrologiques […] »*.

L'équation du bilan hydrologique (**P = Etr + Q +/- ΔR)** se décompose traditionnellement entre les précipitations arrivant au sol **P**, l'évapotranspiration **Etr** et l'écoulement de l'eau **Q**.
La notion de réserves **ΔR** intervient également (variations des réserves en eau par le biais des nappes, des lacs, du stock de neige et de glace), permettant de traduire dans l'équation le pas de temps de réapparition de l'eau dans le cycle de l'eau qui n'est jamais instantanée.
P dépend principalement des conditions atmosphériques, de l'altitude et de la couverture végétale (interception potentielle). De la même manière, **Etr** dépend étroitement de la température et de l'occupation des sols. Les réserves en eau **R** (nappes, glaciers, neiges, zones humides et lacs, réserves anthropiques…) ont un fonctionnement variable avec une recharge et une vidange dans le temps (court comme long). Les échanges entre nappes et cours d'eau se font régulièrement : *« lorsqu'une nappe est en contact direct avec les eaux de surface - qu'il s'agisse d'un cours d'eau ou d'un lac, d'un étang ou d'une mare… -, des échanges se produisent en permanence »* (Cosandey et Robinson, 2000). Ces échanges se font majoritairement dans le sens nappe-rivière mais d'après ces mêmes auteurs le sens rivière-nappe n'est pas à négliger.

[1] Office Français de la Biodiversité

Schéma n° 1 : Les échanges nappes-rivières (d'après SMBAA[2])



L'écoulement **Q** connaît, quant à lui, des fluctuations qui caractérisent les phénomènes de hautes-eaux et de basses eaux au cours d'une année hydrologique. Les hautes-eaux sont relatives à des périodes où le quotient entre le module brut mensuel et le module brut annuel est supérieur à 1.

De façon régulière (sur le plan interannuel), le niveau d'eau est, sur ce pas de temps, le plus élevé, et le cours d'eau y occupe alors ponctuellement son lit majeur périodique (si ce dernier n'a pas subi de modification). A l'inverse, lors des basses-eaux, le quotient est inférieur à 1 et le cours d'eau se limite à son seul chenal d'écoulement présent au sein du lit mineur.

2. Le régime des cours d'eau métropolitains : temporalité de l'écoulement

Le régime hydrologique d'un cours d'eau est son comportement annuel relatif à *« la succession des évènements moyens de l'écoulement dans le cycle des saisons, et les extrêmes que sont les crues et les étiages »* (Touchart, 2003). Pour Giret (2016), *« le régime n'est qu'une moyenne des situations individuelles variables dans le temps »*. Il illustre également l'aspect cyclique des variations en décrivant des *« pseudo-cycles courts d'une période moyenne de 10 ans et des pseudo-cycles plus longs d'une périodicité cinquantennale marqués en France, par les maxima de 1929 et 1980, et les minima de 1947 et 2005 ».*

A cette échelle temporelle, il faut ajouter une facette spatiale. En effet, plus le bassin sera étendu, plus le cours d'eau aura de chances (ou de risques) de connaître une variabilité de ses sources d'écoulement. Ainsi, si les cours d'eau de tête de bassin présentent majoritairement des régimes simples (une seule période de hautes eaux et de basses eaux), ceux plus conséquents en aval sont dits mixtes ou complexes et présentent possiblement plusieurs périodes de basses et hautes eaux.

Le régime naturel du cours d'eau dépend donc du bilan hydrologique de son bassin d'alimentation, équilibré entre apports (pluie, fonte des neiges ou des glaciers, eaux souterraines…) et pertes via l'évapotranspiration. Plus les réserves sont présentes au sein du bassin d'alimentation et plus le régime sera régulier d'une année sur l'autre (évolutions interannuelles faibles).

[2] Syndicat Mixte du Bassin de l'Authion et de ses affluents

A l'échelle annuelle, il nous faut distinguer les différents types de réserves car les nappes, zones humides ou encore les lacs ont un effet de régulation (pondération) sur le régime d'un cours d'eau, ce qui n'est pas le cas des glaciers et de la neige qui, avec des fontes plus ou moins brutales, apportent une immodération très forte au régime du cours d'eau concerné et une décorrélation entre précipitations et débits.
Cette immodération (ou pondération) permet de caractériser l'influence des origines de l'eau dans les cours d'eau qui traduisent la fréquence de l'occurrence du ruissellement selon Giret (2013). Cette valeur s'obtient par le quotient entre le module brut moyen mensuel maximum et le module brut moyen mensuel minimum au sein d'une année hydrologique.

Globalement, les cours d'eau de petits bassins sans réserve seront très réactifs aux pluies et donc fortement immodérés, alors que ceux de bassins étendus au régime complexe seront relativement pondérés au regard des cours d'eau du même milieu. A l'échelle métropolitaine, la majorité des cours d'eau sont de régime pluvio-évaporal[3], donc sous l'influence majeure de l'évaporation provoquée par les températures estivales, et connaissent de fait des hautes eaux en hiver et des basses eaux en été. Ce type de régime, particulièrement lorsqu'il est sous influence océanique, est donc le plus fréquent en France actuellement. Cependant, plusieurs cours d'eau pourraient connaître dans les décennies à venir une modification de leur régime en raison de l'évolution de certains paramètres climatiques, notamment la pluviométrie.

Pour autant, malgré cette prégnance statistique, les études de cas (scientifiques et administratives) hydrologiques s'intéressent avant tout aux cours d'eau montagnards ou sous influence méditerranéenne, aux rythmes distincts, lieux des plus grandes catastrophes humaines en lien avec les inondations de ces dernières décennies (Le Grand Bornand, 1987 ; Nîmes, 1988 ; Vaison-la-Romaine, 1992 ; Aude, 2018 ; Alpes-Maritimes, 2020 …).

3. Les crues en France : la notion d'aléa en hydrologie

Un aléa est un évènement exceptionnel qui sort de la norme, norme fondée statistiquement sur la récurrence d'évènements sur une période minimale de 30 ans de mesures. Cet évènement provient d'un processus naturel émanant du hasard : *« l'aléa doit être saisi comme un évènement indépendant de la volonté humaine »* (Giret, 2004).

[3] Giret propose en 2016 une classification du régime hydrologique de 91 cours d'eau métropolitains témoins représentant chaque département français. Il décrit les nuances suivantes :
- régime pluvio-évaporal océanique pour 60 d'entre eux (exemple : la Vire, 14)
- régime pluvio-évaporal méditerranéen pour 6 (exemple : l'Agly, 66)
- régime pluvial océanique influencé par la fonte des neiges pour 14 (exemple : la Couze d'Issoire, 63)
- régime méditerranéen à influence nivale pour 6 (exemple : le Loup, 06)
- régime montagnard où la pluie n'a que peu d'influence pour 3 (exemple : la Sénouire 43)
- régime qui bénéficie de la fonte des glaciers et des neiges pour 2 (exemple : la Durance, 05)
Cette analyse démontre qu'il existe une hétérogénéité dans le régime des cours d'eau métropolitains mais que la très grande majorité correspond à un régime pluvio-évaporal océanique, l'influence méditerranéenne étant très minoritaire. Cette classification permet, également, d'appréhender un fait majeur : les cours d'eau métropolitains sont très souvent immodérés car soumis majoritairement aux fluctuations des pluies.

La crue est un aléa hydrologique qui est référencé comme un extrême hydrologique au même titre que l'étiage[4]. Mais qu'est-ce qu'une crue, comment se caractérise-t-elle ?

a) Définitions de la crue

Les extrêmes hydrologiques (crues et étiages) sont des phénomènes qui affectent les cours d'eau et qui, selon Giret (2013), peuvent se définir comme des *« évènements statistiques »* remarquables. Les crues sont donc des eaux anormalement hautes sur le plan statistique.
Selon Jupin *et al*. (2022), *« le phénomène de crue correspond à l'augmentation du débit du cours d'eau dépassant plusieurs fois son débit moyen »* et il se décompose temporellement. Dans l'hydrogramme, selon Touchart (2003), cela se caractérise *« par une montée rapide des eaux (la courbe de concentration), un pic de crue, une descente plus lente (la courbe de décrue) et enfin une transition, la courbe de tarissement, avec l'écoulement de base* ». On obtient alors un hydrogramme plus ou moins pointu.

Les crues interviennent de manière récurrente, leur fréquence de retour dans l'analyse de données statistiques permettant de définir la probabilité qu'elles se produisent. C'est ce que l'on appelle crue décennale, crue cinquantennale ou encore centennale, termes qui n'ont pas de réelle valeur pour prévoir un phénomène, mais qui donnent une idée du débit nécessaire pour caractériser un risque potentiel sur un pas de temps donné.

Cependant, de plus en plus, l'approche statistique hydraulicienne des cours d'eau fait perdre au terme « crue » son sens originel d'aléa. Elle caractérise alors les « *saisons où le cours d'eau connaît son écoulement le plus élevé* » (Giret, 2013) et on en vient à parler de « crue annuelle » : pour Bravard et Petit (2000), *« la crue annuelle, c'est-à-dire le plus fort débit moyen journalier de chacune des années de la série d'observation »,* constitue la crue de référence.

b) Les origines des crues : du ruissellement aux aires contributives saturées

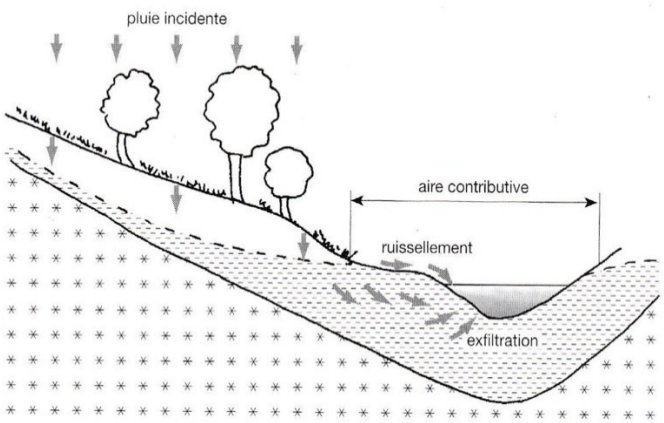
Selon Cosandey et Robinson (2000), *« l'écoulement rapide de crue se définit au niveau du cours d'eau comme un gonflement rapide des débits. C'est lui qui provoque des crues, des plus banales aux plus graves ». S*elon Giret (2016), il se compose du ruissellement hypodermique (eau circulant dans la couche supérieure du sol) et du ruissellement direct qui se produit *« lorsque l'intensité des pluies dépasse l'infiltration des sols »* (Cosandey et Robinson, 2000).

Sur sols non saturés, l'imperméabilisation du sol peut être liée à la lithologie, l'organisation pelliculaire de surface (OPS), la présence d'un sol gelé ou aux divers aménagements. Cependant, l'écoulement rapide de crue peut être alimenté également par un autre phénomène.

[4] Selon l'OFB, l'étiage est un « *débit exceptionnellement faible d'un cours d'eau, ou l'exacerbation de ses basses eaux (parfois assimilé aux basses eaux saisonnières). L'étiage est ainsi considéré comme une période limitée dans l'année où les débits passent en dessous d'une valeur seuil, propre à chaque cours d'eau et calculée statistiquement* ».

En effet, parfois, l'eau ne ruisselle pas sur les versants (qualifiés de surfaces actives) ou suffisamment peu longtemps pour n'avoir aucun rôle hydrologique (rôle érosif uniquement).
Elle s'infiltre directement, faisant gonfler la nappe qui affleure à proximité du cours d'eau dans le talweg. Ces affleurements de nappe constituent les aires contributives saturées. Un ruissellement direct peut alors se constituer sur la surface de ces affleurements, alimentant directement l'écoulement rapide de crue (schéma n°2).

Schéma n°2 : Ecoulement de crue à partir des aires contributives saturées (in Cosandey et Robinson, 2000)



Tous ces phénomènes sont bien à l'origine des crues mais ces dernières se présentent sous plusieurs formes. Quels sont alors les paramètres qui sont en jeu dans leurs différentes caractéristiques ?

c) Les différents types de crues

Selon un facteur temporel, deux grands types de crues existent : les crues à cinétique rapide (la crue éclair, la crue torrentielle) et les crues lentes (crue de plaine).

Les pluies orageuses, très violentes et localisées, caractérisent principalement une crue brutale aussi qualifiée d'éclair. La réponse du cours d'eau peut, parfois, être inférieure à deux heures. Le phénomène se développe sur des bassins de taille modérée : plus le bassin est petit, plus la réponse hydrologique du cours d'eau sera forte (exemple : Vaison-la-Romaine, 1992).

La crue torrentielle (en région de montagne) caractérise, quant à elle, des crues brutales, suite à une pluviométrie intense, une fonte de neiges ou de glaces très rapide (effet de foehn) ou la rupture d'un barrage sous-glaciaire, qui emportent avec elles des matériaux solides. La saturation des sols et la pente présentes dans le bassin jouent alors un rôle majeur (exemple : La Bérarde, 2024).

Les crues lentes font suite à des pluies abondantes et durables notamment l'hiver lors de périodes de hautes-eaux. Ce sont des crues moins violentes et surtout plus prévisibles car la montée des eaux s'effectue sur un pas de temps assez long. La plaine alluviale peut alors être inondée sur une période pouvant aller de quelques jours à parfois quelques semaines (exemple : La Vilaine, 2025).

La crue par remontée de nappe intervient dans des bassins où les contextes lithologique et topographique sont particuliers. L'exemple de la Somme illustre ce phénomène. Ce bassin, et notamment sa partie aval, est caractérisé par la présence d'une nappe phréatique profonde liée à la lithologie crayeuse du bassin. Cette nappe est naturellement alimentée par l'eau d'infiltration. Selon Giret (2013), en période classique, *« cette nappe affleure dans le lit mineur et assure la pérennité et la pondération de l'écoulement ».* La topographie du bassin, quant à elle, n'accuse que de très faibles pentes. Lors d'un phénomène pluvieux intense et durable, il peut se produire une remontée de nappe majeure qui peut alors provoquer une crue du cours d'eau et des inondations exceptionnellement longues (2 mois en 2001).

Enfin, dans le cas de bassins étendus, tout comme pour la caractérisation du régime, la crue simple peut devenir complexe (ou composite). Comme le mentionne Touchart (2003), *« dans le cas de bassins étendus au coefficient de compacité de Gravelius élevé, l'eau provenant des différents affluents peut arriver de manière décalée dans le temps dans le tronc principal. »* C'est ce qui caractérise par exemple les crues de la Seine à Paris.

Au final, les caractéristiques du bassin sont fondamentales : *« l'importance de la crue dépend de nombreux facteurs, dont la lithologie, la forme, la pente et la taille du bassin »* (Touchart, 2003). La morphologie du lit fluvial (encaissé ou évasé), l'occupation du sol au sein du bassin, l'ensemble des aménagements chenalisant le cours d'eau ou encore les obstacles, sont autant d'éléments qui induisent des crues plus ou moins violentes. Cosandey et Robinson (2000) rappellent *« la complexité des processus ou plutôt des combinaisons de processus responsables des écoulements de crue à l'échelle du bassin versant ».*

II. Histoire des inondations : de la gestion de l'eau aux rôles des ouvrages hydrauliques

Le risque inondation est présent depuis l'aube de l'Humanité d'où la méfiance des Hommes à s'installer à proximité d'un cours d'eau ou dans une zone régulièrement inondée (Lévêque, 2021). Ce risque n'est cependant pas le même quel que soit le lieu. Il suffit pour cela d'observer les sites de localisation des vieux centres urbains pour s'en convaincre : certains jouxtent le cours d'eau, d'autres sont situés sur un promontoire. Et puis, petit à petit, l'Homme a apprivoisé pour partie ce risque grâce notamment au génie hydraulique, ou, du moins, il a vu plus d'intérêts économique et politique à côtoyer la rivière qu'à s'en éloigner. D'où l'importance de se questionner sur notre passé pour mieux appréhender notre présent et notre futur.

1. Des chroniques mentionnant les récurrences des inondations

La maîtrise de l'eau constitue une documentation surabondante de nos archives textuelles et orales car cette eau est à la base de tout : commerce, protection, développement, destruction… Il faut donc se pencher sur les grandes lignes des faits hydrologiques et des aménagements hydrauliques ayant contribué à façonner les sociétés locales en France métropolitaine pour en comprendre l'évolution.

Les chroniques chiffrées de débit des cours d'eau métropolitains sont peu nombreuses et surtout elles comportent deux biais importants : (i) une amplitude historique trop courte pour permettre de bien quantifier et comprendre ce qui renvoie à l'aléa, (ii) une couverture nationale ne renvoyant jamais aux amonts hydrologiques sur lesquels se situent potentiellement les milliers d'ouvrages de petite (et grande) hydraulique, les dégâts économiques étant plus forts à l'aval des cours d'eau (cf. inondation, terme d'assurance).

Même si de nombreux efforts ont été entrepris au cours des dernières décennies pour mieux identifier les pulsions hydrologiques de nos rivières (création du SCHAPI[5] en 2003 par exemple), les principales sources documentées renvoient à des documents mentionnant les dégâts générés par les inondations, présentées sous le terme de « crue ». Deux chroniques permettant de réellement comprendre les récurrences et les impacts des crues sont disponibles en France métropolitaine : la Seine à Paris et le Rhône à Arles.

La Seine est la mieux documentée avec 60 crues depuis celle de février 584. Les plus frappantes sont celles de 1650, 1658 (la plus importante), 1740, 1810, 1850, 1876 et 1910, référence historique pour le risque inondation en Ile-de-France.
Pour ce qui est de l'analyse hydrologique du Rhône à Arles, nous pouvons nous appuyer sur les travaux de Pichard et Roucaute (2014). 445 « crues » y sont identifiées entre 1301 et 2000 avec deux phases d'activités hydrologiques intenses (les hyperphases) au cours du petit Age Glaciaire :

[5] Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations

- La première entre 1450 et 1590 avec un changement de lit majeur en 1587.
- La seconde entre 1647 et 1856 avec 3 sous-phases :
    - Une nouvelle grosse fréquence des crues entre 1701 et 1711 avec un nouveau changement de lit du Rhône ;
    - Des inondations majeures en 1755 puis une très grande activité de la Durance jusqu'à la fin du XVIII^{ème} siècle ;
    - Enfin, des crues extrêmes en 1801, 1840 et 1856.

Dans les cas de la Seine et du Rhône, il n'y a, par la suite, pas de nouvelles grandes crues : le lit s'enfonce, les crues hydrauliques sont nombreuses mais moins brutales et extrêmes. Sont identifiées comme causes probables la modification des paramètres climatiques et les effets des premières règlementations comme le reboisement du bassin et les premiers aménagements.

Nous allons de fait nous pencher sur l'historique de cette maîtrise de l'eau qui s'est réalisée en deux temps : jusqu'au XVII^{ème} siècle, exclusivement à l'échelle locale, puis progressivement ensuite à une échelle nationale, avant d'être stabilisée depuis quelques décennies à trois échelles : européenne, nationale et de bassin-versant.

2. Une maîtrise de l'eau à l'échelle locale : la création d'une multitude d'ouvrages hydrauliques

Historiquement, l'Homme a une relation à la rivière basée sur les usages.
Ainsi, par exemple, si l'on se fie à l'Encyclopédie de Diderot et d'Alembert (1751-1772), la gradation actuelle entre les différents niveaux hiérarchiques de nos rivières s'expliquait ainsi :

- un « ruisseau » (du latin *rivus*) est une eau courante qui n'est pas assez forte pour porter de petits bateaux ;
- la « rivière » (du latin *amnis*) renvoie pour sa part à une eau courante pouvant porter bateau ;
- et enfin le « fleuve » (du latin *flumen*) peut porter de grands bateaux.

La batellerie a ainsi tenu pendant des siècles un rôle central dans l'organisation et l'aménagement des rivières mais ce n'était pas le seul usage tiré de nos cours d'eau : plus l'Homme exploitait ceux-ci, plus il avait tendance à s'en rapprocher, à les modifier pour répondre à ses besoins et donc à s'exposer à des risques grandissants, tant pour les biens que les personnes.

Pendant longtemps, ces usages ont été vus par un prisme avant tout local, que ce soit au niveau urbain ou rural. Ainsi, le premier endiguement mentionné et parvenu jusqu'à nous a eu lieu à Vaison-la-Romaine sur l'Ouvèze pour assurer la protection des riches quartiers de la rive droite au début de notre ère.
En zone rurale, des moulins et étangs ont été construits dès l'Antiquité, puis ont connu un âge d'or du milieu du Moyen-âge au XIX^{ème} siècle.
Tous ces aménagements hydrauliques ont une raison d'être économique (créations de ports, ponts, valorisations agricoles de terroirs, digues qui modifient l'efficacité érosive et le niveau du cours d'eau,

comme les Turcies de la Loire largement documentées du Nivernais à l'Anjou), sanitaire (assèchement des marécages dans le lit majeur dès le IX^{ème} siècle selon Guillerme, 1993) ou militaire (création de réserves hydrauliques visant à empêcher l'ennemi de pénétrer une vallée ou une citadelle comme l'étang de Lindre sur la Seille pour protéger la vallée de la Moselle et la ville de Metz, ou encore les Wateringues flamandes).

Comme nous venons de le voir, l'hydraulique a fortement marqué les paysages fluviaux à travers les usages et la technicité qui lui sont liés. Cette maîtrise de l'eau à visée locale permettait d'améliorer le cadre de vie au quotidien mais n'était pas en mesure de contrer les effets des aléas les plus forts et les Hommes s'y préparaient. Toutefois, à partir du début du XVI^{ème} siècle, cette maîtrise de l'eau va connaître une révolution dans ses objectifs et sa spatialité : de subie, elle va devenir progressivement volontariste en transformant radicalement la nature et, de locale, elle va devenir « nationale », du moins pour une partie du linéaire.

3. Une mainmise nationale sur la gestion de l'eau

En effet, avec l'affirmation de la royauté, des règles vont permettre de séparer ce qui relève directement du roi de ce qui est délégué aux seigneurs, vassaux du roi. Ainsi, l'édit de 1520 fait la distinction entre les grandes rivières, qui appartiennent au roi et dont les rives relèvent des possessions seigneuriales, et les petites rivières (ruisseaux) de moins de 30 pieds de large (2 m), qui sont la possession des seigneurs. Les moyens financiers de la couronne vont alors permettre de transformer parfois radicalement les paysages fluviaux de certaines rivières domaniales.

Globalement, à partir de 1669 et la publication de « l'Ordonnance sur le Fait des Eaux et Forêts » de Colbert, la domanialité des rivières navigables est consacrée et ne sera plus remise en cause, y compris à la Révolution française.

Cette mainmise « nationale » sur les rivières va faire dire à Ghiotti (2006) qu'il existe trois grandes périodes de gestion et maîtrise de l'eau en France depuis le milieu du XVIII^{ème} siècle :

- la maîtrise de l'environnement physique du XVIII^{ème} siècle à 1870 ;
- l'appropriation de la ressource de 1870 à 1960 ;
- et enfin la réappropriation sociale progressive de l'eau et l'émergence du milieu et du bassin versant depuis 1960.

a) La maîtrise de l'environnement physique : les ouvrages hydrauliques, outils de conquête de la nature

La maîtrise de l'environnement physique se traduit par une agressivité de l'aménagement au niveau de certains secteurs de cours d'eau, principalement les parties aval (comme l'estuaire de la Seine totalement modifié sur tout son tronçon en aval de Rouen) et les zones montagneuses (à l'image des vallées alpines du Grésivaudan ou de la Romanche), avant tout pour des raisons techniques (endiguements par exemple). Que ce soit par l'hygiénisme au XVII^{ème} siècle ou le saint-simonisme à partir de la révolution de 1830, il faut voir les choses en grand pour permettre le progrès (sanitaire comme économique) : on assigne ainsi à l'ingénieur la « mission romantique » de conquérir la nature.

Or, les ingénieurs chargés de la gestion des cours d'eau se sont longtemps intéressés aux aménagements susceptibles d'évacuer au plus vite les eaux de crues afin d'éviter les inondations, particulièrement dans les zones urbaines vitales sur le plan économique. L'hydraulique locale apparaît alors bien dérisoire au regard des objectifs alloués au territoire concerné. Les moyens passifs visant à résorber ou limiter localement les effets d'une inondation sont remplacés par des moyens actifs : les endiguements ponctuels sont progressivement renforcés, linéarisés, évacuant les risques d'inondation de l'amont vers l'aval des zones urbaines ; les divagations de type tresses ou d'îles parsemant le chenal d'écoulement sont court-circuitées ou effacées de manière à fixer la rivière et les constructions qui y sont liées (ponts, jetées, quais).

Cette anthropisation forcée de certaines parties de nos cours d'eau conduit à l'incision du lit mineur, voire à sa chenalisation - chenalisation du cours d'eau qui, quand elle est générée pour favoriser la navigation fluviale, s'accompagne de sa fragmentation et de la création de biefs séparés par des écluses : ceci provoque entre autres un accroissement de la profondeur du lit, une atténuation de la pente et de la vitesse du courant ou encore la perte de connectivité avec les annexes hydrauliques.
Mais cette transformation ne touche pas tous les cours d'eau : ce sont principalement les fleuves et les vallées reliant des centres économiques névralgiques qui sont concernés. Les autres rivières conservent encore pendant plusieurs siècles leurs réseaux d'hydraulique douce (moulins, fossés…), réseaux qui ont l'avantage d'être disséminés un peu partout sur le territoire mais dont l'objectif premier n'était pas la lutte contre les inondations.

Les usines à eau, dont les moulins, sont alors très nombreuses sur ces linéaires : pour Meyneng[6], ce sont 100 000 moulins à eau qui étaient présents sur le territoire au XVIII^{ème} siècle ; pour Poupée (1980) et Rivals (1984), s'appuyant sur *le tableau par départements du nombre de moulins existant en France … en 1809*[7], ce sont pas moins de 81 379 moulins à blé qui étaient présents sur le territoire métropolitain (sans compter les forges, scieries, moulins à papier, à tan ou à foulon) au début du XIX^{ème} siècle ; pour Dupin (1827), ce chiffre monte à 66 000 moulins à eau (auxquels il faut ajouter environ 20 000 forges et autres fabriques) ; enfin, pour Nadault de Buffon (1841), ce patrimoine économique était constitué de 108 030 usines à eau, dont 81 660 moulins à eau.

[6] Pierre Meyneng, président de la Fédération Française des Associations de Sauvegarde des Moulins : interview du 26 octobre 2024.
[7] Archives Nationales F^{20} 560.

b) L'appropriation de la ressource en eau et l'abandon de l'hydraulique douce

Les effets directs et indirects du développement urbain et les révolutions industrielles et agricoles vont progressivement gagner l'ensemble du territoire métropolitain, entraînant avec eux la perte d'usages. Ainsi, l'appropriation de la ressource par les organes étatiques, visant à la régularisation de l'approvisionnement en eau, particulièrement visible de 1870 à 1960 pour les cours d'eau, a généré une marchandisation de l'eau, des prélèvements accrus de matériaux au sein des lits mineurs et majeurs, des transformations agricoles profondes et l'abandon de l'hydraulique douce, non concurrentielle sur le plan économique.

L'incision du chenal d'écoulement est alors devenue une généralité, entraînant une baisse de la ligne d'eau et donc une moins grande capacité de stockage de la nappe d'accompagnement, point renforcé encore plus en cas d'abandon de gestion des seuils hydrauliques.

La protection des agglomérations, quant à elle, se poursuit mais l'ingénierie est déplacée massivement vers l'amont des bassins avec des programmes de grands barrages. La Loire et ses affluents voient ainsi s'ériger des dizaines de barrages à même les rivières sous l'égide de l'EPALA ; les Coteaux de Gascogne voient la transformation du Canal de la Neste (érigé entre 1848 et 1862) en Système Neste avec l'ajout de 4 lacs artificiels dans les Pyrénées et d'autres sur le piémont ; le bassin de la Seine, quant à lui, voit se dresser 5 réservoirs (et bientôt un sixième avec les travaux en cours du casier-pilote Seine Bassée):

- Lac de Pannecière (sur l'Yonne) en 1949
- Lac de la Forêt d'Orient (sur la Seine) en 1966
- Lac du Der-Chantecoq (sur la Marne) en 1974
- Lac Amance et lac du Temple (sur l'Aube) en 1989-1990

c) L'émergence des questions environnementales : vers une suppression des ouvrages hydrauliques ?

Les modifications des modes de fonctionnement des systèmes fluviaux sont alors tels qu'ils mettent *« en péril la pérennité des usages »* (Ghiotti, 2006). Aussi, à partir des années 1960, les eaux continentales vont voir émerger de nouvelles logiques et pratiques visant à faire coexister les impératifs économiques et environnementaux (écologiques), ainsi que les notions de patrimoines naturels et culturels.

- ***De nouveaux usages et des voltefaces sur les priorités hydrologiques des bassins hydrologiques***

Le cas précité de la Seine en est un très bon exemple. Visant initialement à réguler les débits de la Seine pour Paris, ces barrages-réservoirs vont progressivement gagner en pluralité d'usages, récréatifs, mais surtout environnementaux. Ces lacs artificiels bénéficient aujourd'hui de statuts écologiques majeurs en raison notamment de l'afflux d'oiseaux migrateurs. Nous pouvons citer l'exemple du barrage réservoir du Lac d'Orient : *« cette richesse faunistique et floristique lui vaut une reconnaissance nationale (ZNIEFF, réserve naturelle) et internationale (zone RAMSAR, Natura 2000) »* (EPTB Seine Grands Lacs).

Cette montée en puissance de l'écologie s'accompagne d'une décentralisation progressive de la gestion de l'eau à l'échelle du bassin versant mais elle se heurte aussi à des arbitrages conflictuels entre la préservation des biens économiques et de l'eau ressource d'un côté et la gestion des milieux aquatiques de l'autre, en particulier via la préservation des poissons de type salmonidé.
Cette conflictualité entre acteurs n'est pas récente mais elle prend une nouvelle tournure en raison de l'absence (ou presque) d'usages économiques directs des aménagements hydrauliques : ce sont les espaces hydrologiques abandonnés pour partie aux XIX^{ème} et XX^{ème} siècles qui vont être au cœur de cette conflictualité.

Grâce à (ou à cause de) la politique agricole menée post seconde guerre mondiale et à la montée des loisirs dans la société, les campagnes vont connaître une mutation en profondeur de leurs patrimoines hydrologique et hydraulique. En effet, dans la logique de l'ingénierie hydraulicienne, elles connaissent des aménagements visant à évacuer le plus vite possible les eaux d'un lieu (comme les drains agricoles). En parallèle, la mode des étangs voit certains secteurs se couvrir de réservoirs d'eau à finalité le plus souvent d'agrément. Enfin, en réaction à ces excès et tombant aussi parfois elles-mêmes dans des excès inverses, les politiques de renaturation cherchent à défragmenter le plus possible le linéaire de cours d'eau, afin, hypothétiquement, de faciliter la vie et la reproduction de poissons potamodromes.

- ***Les obstacles à l'écoulement : un héritage de siècles d'aménagement***

Cette volonté de défragmenter les cours d'eau afin de permettre la libre circulation des poissons et des sédiments a connu un saut quantitatif au début du XXI^{ème} siècle. Parmi les inventaires mis en place, nous pouvons nous appuyer sur le ROE[8] (Référentiel national des Obstacles à l'Ecoulement), coordonné par l'OFB. Est alors appelé obstacle à l'écoulement *« un ouvrage construit dans le lit d'un cours d'eau et à l'origine d'une modification de l'écoulement des eaux de surfaces »* (ROE, 2020).
Parmi les plus de 100 000 obstacles identifiés (103 219 au 26 novembre 2020 pour la seule métropole), environ 40 000 seraient le fait de barrages et seuils en rivières (ROE, 2018) (tableau n°1).

Tableau n° 1 : Nombre de seuils et barrages inventoriés pour le ROE en 2018 (d'après Eau France)

Usages / types d'obstacle	**Seuils en rivières**	**Barrages**
Loisirs et sports aquatiques	2705	2288
Activités aquacoles	728	555
Agriculture (irrigation, abreuvage)	3109	2332
Alimentation en eau potable	468	203
Energie, hydroélectricité	3677	978
Aucune activité	13193	683
Industrie	412	64
Sécurité des biens et des personnes	723	189
Stabilisation du profil en long du lit et lutte contre l'érosion	5571	196
Suivi technique et scientifique (débit, température)	262	5
Transport et soutien de navigation	2074	173
Total	**32922**	**7666**

[8] https://www.eaufrance.fr/les-obstacles-lecoulement-des-eaux-de-surface

Mais le ROE est imparfaitement complété puisque, par exemple, l'INPE (Inventaire National des Plans d'Eau) de 2024, réalisé pour l'Inspection Générale de l'Environnement et du Développement Durable (IGEDD), cartographie plus de 800 000 plans d'eau (en France et en Outre-Mer), dont une partie notable se situe sur le linéaire de cours d'eau.

Cependant, les travaux d'effacement en masse ont été entrepris sans que l'on sache réellement où se situaient ces éléments entravant l'aspect longitudinal du cours d'eau, ni combien ils étaient réellement. L'effet d'opportunité apparaît comme majeur et la focale mise sur la traduction de ce patrimoine hydraulique en un « obstacle » obère toute possibilité d'envisager celui-ci comme un héritage avec des effets négatifs comme positifs. Ce manque de connaissances n'est pas spécifique à la France puisque Brunner (2021) note le même problème outre-Atlantique, à savoir comprendre les effets des ouvrages sur les inondations et les sécheresses, mais aussi être en mesure de différencier les effets selon les types.

Or, ce genre de questionnement mériterait d'être débattu au regard de l'augmentation de la vulnérabilité à l'inondation que connaît toute une partie du territoire français.

III. L'aggravation de la vulnérabilité aux inondations des biens et des personnes : du constat à la prospective

La vulnérabilité se définit, selon Laganier et Scarwell (2003), comme *« la mesure des dommages matériels ou immatériels rapportés à l'intensité de l'aléa »*. D'autres auteurs vont plus loin et décrivent la vulnérabilité comme *« une composante essentielle du risque et de sa définition au même titre que les autres notions d'aléa, d'enjeux (exposition) et de capacité de résilience. C'est la coexistence de ces quatre notions sur un espace et un temps donné qui génère du risque »* (Defossez *et al*., 2018).

Cette définition fait apparaître la notion d'échelles spatio-temporelles déjà évoquée lors de l'étude des régimes des cours d'eau. Les évolutions de la société dans le temps sont alors prises en compte comme éléments participant à la modification de la vulnérabilité : *« les vulnérabilités individuelle, structurelle, territoriale ne sont pas statiques »* (Defossez *et al*., 2018).

Selon Magnan *et al*. (2012), *« la vulnérabilité des territoires […] aux aléas est avant tout le fruit d'une évolution, tant de la société que du contexte naturel ».* Cœur, cité par Godfroid (2004), confirme cette idée : *« la fréquence et l'intensité des aléas de crues ne paraissent pas modifiées à l'échelle historique. En revanche, l'impact des crues, c'est-à-dire les dommages, prennent d'autres proportions en affectant de nouveaux pans de l'activité humaine »*.

Il faut donc questionner la dimension historique de la vulnérabilité comme celle des aléas et des aménagements au sein d'un territoire, ce que Magnan *et al*. (2012) nomment les « *trajectoires de vulnérabilités »*, en y incorporant les prospectives tenant compte des effets du changement climatique.

1. L'identification des principales causes d'aggravation des inondations au sein des bassins versants

L'Homme n'est pas toujours responsable de tous ses maux. Cosandey et Robinson (2000) citent les travaux de Ghio (1995) sur des crues plus fréquentes dans la région Centre : *« la recrudescence de crues, avérée de 1977 à 1984 n'avait d'autre origine décelable qu'une période de fortes pluies »*.

Il est évident que la complexité des phénomènes entrant en jeu dans les crues et leurs possibles inondations ne peuvent se résumer à une responsabilité bien précise. Cependant, des phénomènes identifiés peuvent aggraver de manière bien réelle les impacts des crues et en faire des catastrophes suffisamment ressenties par les populations pour générer en elles une peur, une attente de décision.

a) Les constructions en zone inondable : une hausse notable de la vulnérabilité

Avec la hausse démographique liée aux révolutions industrielles et agricoles et la tendance à la concentration des habitants au sein d'espaces urbains fréquemment parcourus par des cours d'eau, la vulnérabilité au risque hydrologique s'en ressent. Ainsi, pour Godfroid (2004), *« l'augmentation de la vulnérabilité est forte au cours des derniers siècles et s'est généralisée et accentuée au cours des dernières décennies »*.
L'une des raisons clairement identifiées est à chercher dans la multiplication des constructions en zone inondable : pour Cœur (cité par Godfroid, 2004), l'habitat est davantage touché qu'avant les années 50 (en Languedoc-Roussillon) en raison d'une hausse sensible de la surface urbanisée inondable : en 2004, elle avait augmenté de 15 % en 10 ans. Giret (2013) évoque pour sa part le phénomène de *« l'urbanisation inconsciente des plaines d'inondations »*.
Ceci fait écho aux inondations de la vallée de la Somme en 2001 dans un contexte de crues par remontée de nappe où, selon Giret (2004), la catastrophe *« reposa sur la délivrance abusive de permis de construire en zone inondable »*. Laganier et Scarwell (2003) évoquent également ce fait : « *malgré les nombreux exemples de catastrophes dont les médias se font parfois échos (inondations touchant de très nombreuses communes des départements du Nord et Pas de Calais en décembre 1993, vallée de la Somme au printemps 2001), l'urbanisation ou l'industrialisation se poursuivent en zone inondable »*.
Mais si cette conquête des zones inondables augmente la vulnérabilité au risque inondation, ce n'est pas elle, du moins directement, qui peut expliquer l'augmentation des flux hydriques. Pour en trouver les causes, il faut se tourner vers les activités augmentant la part du ruissellement au détriment de l'infiltration.

b) L'augmentation du ruissellement : le rôle majeur des activités anthropiques

L'imperméabilisation des sols est le principal facteur favorisant l'augmentation des écoulements à précipitations égales. Deux grandes causes d'imperméabilisation peuvent alors être mises en avant : l'urbanisation avec son corollaire de béton et goudron, et les pratiques agricoles intensives et mécanisées.

- ***L'artificialisation des sols via l'urbanisation, un facteur majeur dans l'imperméabilisation des sols***

L'artificialisation des sols est un changement d'état effectif d'une surface agricole, forestière ou naturelle vers des surfaces artificialisées, c'est à dire support de la plus grande partie des activités humaines comme les tissus urbains, les zones industrielles ou commerciales par exemple (INRA, 2017). Cette artificialisation est particulièrement concentrée dans les villes, banlieues et zones périurbaines avec l'étalement urbain qui s'est accru à vitesse effrénée jusqu'en 2010, puis s'est légèrement ralenti depuis (Agreste, 2025). Cet infléchissement s'est notamment amorcé avec des politiques de densification urbaine qui ont limité les nouvelles constructions. En 2022, ce sont 9,5 % du territoire métropolitain, contre 5,7 % en 1982, qui sont considérés comme artificialisés, soit une augmentation de 66 % en 40 ans (Agreste, 2025).

En fonction du degré d'imperméabilisation (notamment zones goudronnées, « minéralisées »), l'artificialisation, majoritairement liée à l'urbanisation, devient un facteur prépondérant dans l'augmentation du ruissellement de l'eau en zones urbaines : *« les conséquences de l'urbanisation se manifestent essentiellement par la réduction de l'infiltration des eaux de pluies, l'accroissement et l'accélération du ruissellement, qui conduisent à l'aggravation du pic de crue et à l'augmentation du débit global des cours d'eau de zones urbaines »* (Cosandey et Robinson, 2000).
Selon Bravard et Petit (2000), *« les impacts les plus sensibles de l'urbanisation et de l'imperméabilisation des sols sont un raccourcissement du temps de réponse entre la précipitation et l'écoulement dans le cours d'eau »*. Lorsque, en plus, le réseau urbain enterré est mal calibré et/ou mal entretenu, on bascule alors dans des crues-éclairs dont les dégâts peuvent être désastreux pour l'homme.

- ***Les pratiques agricoles et leurs rôles dans l'augmentation du ruissellement***

Selon Cosandey et Robinson (2000), les pratiques agricoles, dans leur intensification, peuvent, à leur tour, engendrer des impacts sur le régime des cours d'eau en générant des crues. En effet, l'agrandissement de la taille des parcelles, la suppression des haies ou même le passage répété des engins peuvent faciliter le ruissellement direct. Il est possible d'illustrer ces propos avec l'exemple du cours d'eau de la Vilaine, où, selon Giret (2013), des aménagements ont été conçus pour lutter contre les crues *« dont la hauteur et la fréquence augmentaient du fait de la destruction du bocage et de l'accroissement du ruissellement »*.

Il faut également évoquer les conséquences de la généralisation des semelles de labour. Sous le poids des engins agricoles de plus en plus perfectionnés mais surtout lourds, un compactage du sol s'effectue avec un effet d'imperméabilisation sur 30 à 40 cm de profondeur. Le ruissellement direct peut alors se mettre en place et alimenter l'écoulement rapide de crue.
Mais un autre paramètre, largement oublié dans la littérature, pourrait expliquer cette recrudescence de la part du ruissellement direct aux dépends de l'infiltration : la destruction des petits ouvrages hydrauliques.

c) La destruction des petits ouvrages hydrauliques : une cause méconnue

La perte d'usages économiques et le déficit démographique des territoires ruraux dans lesquels ces objets étaient construits ont conduit à l'abandon progressif de gestion de milliers d'ouvrages hydrauliques. Ce phénomène est observable dès le milieu du XIX^{ème} siècle, mais plus sûrement durant le XX^{ème} siècle (en particulier lors des 30 Glorieuses) où, par négligence ou oubli de leurs fonctions ancestrales, les biefs et les fossés n'ont plus été curés, les vannes des moulins se sont retrouvées non fonctionnelles… Mais, depuis le début du XXI^{ème} siècle, cet abandon passif a été supplanté par une destruction active en lien avec les nouvelles politiques environnementales.

Plusieurs scientifiques ont pourtant déjà alerté sur cette thématique moins connue qu'est la destruction de petits ouvrages hydrauliques sur les cours d'eau : *« ces 10 à 15 dernières années, plusieurs milliers de retenues d'eau ont été détruites en France dans le cadre de la politique de « restauration de la continuité écologique » »* (Avis de scientifiques français, 2023).

De manière justifiée ou non, des ouvrages de petite taille, petits seuils de moulin, chaussées d'étangs, parfois pluriséculaires, ont été supprimés par des organismes de gestion de l'eau ou de l'environnement. Cela concerne 12 000 petits ouvrages dont 10 000 seuils de moulin (sur les 60 000 existant en 2010 selon l'OFB) en raison de leurs conséquences supposées néfastes sur la ressource en eau comme sur les milieux aquatiques.
Malgré la parution de la loi *« climat et résilience face au effets du dérèglement climatique »* du 22 août 2021 qui a profondément compliqué la possibilité de suppression de petits ouvrages sur les cours d'eau français, des pratiques de destruction peuvent encore être à l'œuvre dans les politiques locales, sous couvert d'aides financières supérieures à leur arasement plutôt qu'à leur remise en état. Sans réelle étude d'impact sur le milieu, sans retour d'expériences sur les suppressions déjà réalisées, sans concertation avec les citoyens concernés, les conséquences ne sont pas ou partiellement évaluées et se révèlent potentiellement gravissimes pour l'Homme et le milieu.

- ***Pourquoi détruire ces ouvrages ?***

L'origine de ce problème vient de la présence d'une chaussée en travers du cours d'eau. Vu comme un obstacle pour les migrations de poissons potamodromes ou la fonctionnalité sédimentaire du cours d'eau, cette même chaussée peut aussi permettre la constitution d'une réserve d'eau, non seulement en surface *via* la retenue générée par le bâti humain, mais aussi et surtout par le rehaussement de la ligne d'eau qui permet alors à l'eau de déborder de son seul chenal et de remplir la nappe alluviale en amont de la chaussée dans des zones non bâties.
En effet, ces petites retenues ont *« la fonction de stocker d'importants volumes d'eau dans les rivières mais plus encore dans la nappe alluviale »* (Avis de scientifiques français, 2023). Pour Potherat (2024), *« la priorité donnée à la destruction des ouvrages anciens au nom de la « restauration écologique » semble avoir été menée sans considération pour les diverses fonctions qu'ils assurent telles que l'alimentation des nappes, l'amortissement des phénomènes de crue par submersion des plaines alluviales [...] »*. En effet, en cas d'arasement ou de destruction de ces types d'ouvrages, sans débordement amont et avec une recharge de nappe diminuée (l'avis des cinq scientifiques de 2023 évaluant la baisse du niveau de la nappe à 1 à 2 m), le débit du cours d'eau est beaucoup plus réactif aux évènements pluviométriques et sa vitesse gagne en intensité en raison de la suppression de cette zone de replat qui dispersait l'énergie du flux d'eau et qui, *de facto*, atténuait l'effet de la crue. Il peut s'en suivre, potentiellement, l'apparition, dans des contextes particuliers, de crues-éclairs.

- ***De nombreuses crues-éclairs documentées***

Meyneng étaye ce propos en précisant que les crues-éclairs de juin 2024 recensées (comme celle du Grand-Morin en Seine-et-Marne) concordent avec des cours d'eau où les deux tiers voire les trois quarts des seuils de moulins ont été détruits (interview du 26 octobre 2024). Néanmoins, les études scientifiques manquent pour permettre de passer de l'hypothèse à la preuve, mais la récurrence des cas interroge, comme celui de la Canche (Pas-de-Calais) où des inondations catastrophiques ont eu lieu fin 2023, notamment à Montreuil. Potherat (2024) explique que, en amont de Montreuil, la Canche reçoit les eaux de cinq affluents sur sa rive droite (la Course, le Bras de Bronne, l'Ambrienne-Créquoise, la Planquette et la Ternoise).

Si la Canche en elle-même n'a pas connu de travaux de restauration, ses différents affluents *« ont fait l'objet d'arasements massifs de tous les anciens seuils agricoles qui avaient vocation à faire « flotter les prés » pour leur apporter un amendement pendant la période hivernale »* (Martin[9] cité par Potherat, 2024) ».

- ***L'exemple du bassin de la Vilaine en Bretagne***

Documenté à la fois par des écrits scientifiques et des retours citoyens, l'exemple du bassin de la Vilaine nous semble particulièrement éclairant. Selon Giret (2013), la Vilaine est *« un exemple parfait de cours d'eau océanique de massif ancien »* aux réserves limitées et *« donc sous la contrainte des précipitations d'hiver et de la chaleur des étés »*.
De fait, ce fleuve connaît une immodération naturellement forte, 19,3 (selon Giret, 2013), même avec la présence d'ouvrages hydrauliques pluriséculaires. Aussi, faire le choix d'en supprimer un certain nombre, parcourant le lit de la Vilaine ou de ses affluents directs, c'est prendre le risque d'accentuer cette immodération, à précipitations constantes, donc d'augmenter les pics de hautes eaux mais aussi les étiages, en réduisant les capacités de mise en réserve du territoire.
Les inondations majeures qu'ont connu les riverains de la Vilaine en ce mois de janvier 2025 ont marqué évidemment les populations locales mais elles ont eu également un retentissement national comme le montre la photo extraite du journal *« Le Monde »* datée du 29 janvier 2025.

Photo n° 1 : Un centre commercial inondé à Saint-Nicolas-de-Redon (Loire atlantique).
(Source : extrait du journal « LE MONDE », Louise Quignon/Divergence pour « Le MONDE », 29/01/2025)



« Les habitants de Saint-Nicolas-de-Redon (Loire-Atlantique) n'ont pas eu de doute lorsqu'ils ont vu les cours d'eau qui serpentent sur le territoire sortir, un à un, de leur lit. La question n'était pas de savoir si l'hypermarché E.Leclerc et la zone commerciale allaient être inondés, mais quand ? Lundi 27 janvier, en fin d'après-midi, l'eau a commencé à recouvrir le parking, avant de noyer la station-service, puis les rayons de ce commerce installé, depuis plus de quarante ans, entre la Vilaine, le canal et le marais local. Les deux cents employés se préparent à des mois de fermeture. Les murs de protection érigés aux alentours et rehaussés à la suite d'une crue, en 2014, n'ont pas suffi à repousser l'eau. »

L'ampleur des précipitations lors de cet épisode d'inondation est bien évidemment un élément explicatif majeur mais il se pourrait que la destruction ou l'arasement de petits ouvrages hydrauliques ait été un facteur particulièrement aggravant à l'instar de ce que nous avons évoqué précédemment sur la Canche. En effet, selon Meyneng[10], *« sur le seul bassin de la Vilaine, on dénombre 100 ouvrages détruits à ce jour »*, soit autant de mises en réserves locales en moins.

Ainsi, les modifications d'occupation du sol et le choix discutable de supprimer une grande partie du patrimoine de petite hydraulique présent sur les cours d'eau contribuent à la plus grande réactivité de l'écoulement des rivières aux précipitations.

[9] Christian Martin, président de l'Association de Sauvegarde et de Valorisation des Moulins à Eau d'Artois-Picardie.
[10] Dans son communiqué de presse du 6 février 2025.

Et les quelques exemples développés ici ne sont pas malheureusement des contre-exemples : comme l'écrit Giret (2013) à propos de la Vilaine, ces processus se retrouvent également *« sur les affluents armoricains et vendéens de la Loire »*, c'est-à-dire *« une aggravation de la fréquence des crues les plus dangereuses, aux dépens des crues moyennes »*.

Est-ce que ces évènements de janvier 2025 préfigurent une forme de normalité dans un futur proche ? Pour tenter de le savoir, il faudra se pencher sur les effets potentiels du réchauffement climatique. Mais avant cela, un point nous semble particulièrement éludé dans les politiques publiques, à savoir la culture du risque.

2. La vulnérabilité et la culture du risque

Selon Bier (2019), *« le développement d'une culture du risque permet de réduire la vulnérabilité des territoires au risque d'inondation […] »*. Lorsque cette culture est partielle ou absente, ce contexte peut aggraver la vulnérabilité des personnes car sans être initiées elles n'ont pas à l'esprit l'anticipation nécessaire comme les bons réflexes en cas de phénomènes dangereux.

Le plan Rhône[11] fait le constat en 2022 d'une baisse de la connaissance des crues historiques du Rhône et de la Saône ainsi que d'un manque de connaissances sur son risque personnel (ignorer le fait d'habiter en zone inondable). Bier *et al.* (2016) font le même constat après des enquêtes réalisées sur le bassin versant de la Meuse française, les résultats montrant une très faible conscience du risque.

La mobilité actuelle des populations en France participe à cette méconnaissance du risque inondation (mais aussi des autres risques en général) car ces populations ne s'approprient pas les éléments du territoire sur lequel elles vivent, restant sur des acquis du territoire sur lequel elles vivaient, si tant est qu'une culture du risque ait pu leur être transmise avant : *« l'augmentation de la mobilité des personnes génère une perte des liens avec le territoire et sa dynamique géohistorique, notamment en matière de risques. Passer d'une vallée à l'autre, aller habiter dans un territoire où l'on n'a pas grandi, sans pouvoir bénéficier de la transmission intergénérationnelle des mémoires et savoirs conduit à une forme de déculturation, de méconnaissance voire de négation du risque »* (Martin *et al*., 2017).

L'exemple du Rhône illustre ce phénomène car le développement économique qui a suivi l'aménagement du fleuve a permis aux villes riveraines de croître, non seulement en zones inondables, mais aussi avec une population qui n'a pas connaissance de son environnement. En ce sens, on peut lire dans le Plan Rhône (2010), *« l'accroissement de la densité de population de la vallée du Rhône qui a conduit à un fort taux de renouvellement des populations riveraines, conjugués à l'absence de crues majeures pendant cette phase de forte expansion ont oblitéré la mémoire collective des colères du fleuve »*.

[11] https://www.plan-rhone.fr/ressources/toutes-les-publications-131/resultats-complets-du-sondage-2022-sur-la-perception-du-risque-inondation-des-riverains-du-rhone-et-de-la-saone-2791.html?cHash=e9c913f3ebac21148e8b836ea3873ccf

En effet, le manque de culture du risque n'est pas que l'apanage de populations nouvellement installées. Le facteur d'une récurrence trop faible d'évènements graves génère l'oubli de la catastrophe pour les populations riveraines ancrées dans les territoires concernés par le risque inondation.

L'exemple de l'Ouvèze et de la catastrophe de Vaison-la-Romaine, illustre cette problématique *« car après quatre décennies d'accalmie hydrologique (1951-1992), la mémoire locale s'était peu à peu évaporée et, par la même, notre capacité à s'adapter, à vivre et à se comporter en situation de crue »* (Syndicat mixte de l'Ouvèze provençale). Ce contexte se retrouve sur le Rhône où, d'après le Plan Rhône (2010), le *« développement économique a suivi l'aménagement du fleuve et a coïncidé avec une période dépourvue de crue majeure, conduisant à l'oubli que ces terrains mieux protégés que par le passé restaient inondables pour les fortes crues. Les crues de 1993 et 1994 ont réveillé la mémoire du risque sur le Rhône et ses affluents ».*

Bier (2019) explique également que les populations oublient vite ou ne se rappellent pas suffisamment et sont alors en capacité de négliger le risque lors de réalisation de projets d'aménagement : *« des négociations territoriales ont été observées lors de nos investigations, amenant certains élus et habitants à douter de la réalité du risque sur des espaces pourtant connus comme dangereux. Il s'agit de secteurs où la fréquence des inondations est suffisamment faible pour favoriser l'oubli [...] »*.

Lorsque la population n'a pas vécu ce type de crue, elle peut malgré tout *« constituer ou reconstituer une connaissance du risque »* (Vinet et Defossez, 2006, *in* Rode et Servain, 2018). La conscience du risque dans la population a pourtant déjà été au cœur des politiques de gestion des inondations avec la loi Bachelot de 2003 qui oblige le recensement et la restauration des repères de crues. Il est alors donné une valeur patrimoniale à ces marques dans un but de développement d'une culture d'un risque inondation potentiellement inconnu des riverains.

Les politiques s'affairent en ce sens et l'on voit des dispositifs de communication apparaître pour sensibiliser la population comme les élus ou gestionnaires locaux. A titre d'exemple, Rode et Servain (2018) évoquent une éventuelle patrimonialisation (bien qu'incertaine) de l'inondation via les ouvrages de protection de l'agglomération de Blois où, dans le cadre d'un réaménagement urbain, le choix a été fait de mettre en avant ce type d'ouvrages en dégageant des vues sur le système d'endiguement du quartier Blois-Vienne.
Dans un autre projet urbain, il a été question de *« mettre en scène la présence de l'eau dans le déversoir afin de rappeler à tous de manière visible la fonction hydraulique du déversoir et la possibilité de l'inondation* » (Morisseau, 2012, *in* Rode et Servain, 2018).

Cette culture du risque est donc très complexe à mettre en place mais elle revêt un caractère essentiel compte tenu des prospectives climatiques guère optimistes quant à la réduction de la vulnérabilité de nos sociétés au risque inondation.

3. Prospectives : le réchauffement climatique impose-t-il un contexte sensible à la gestion des inondations ?

Les enjeux relatifs aux fluctuations climatiques offrent matière à beaucoup de discussions notamment lorsqu'entre en jeu la ressource en eau. Le contexte actuel de réchauffement climatique, où la part de l'Homme est sans cesse mise en avant, pousse à s'intéresser à ses conséquences hydrologiques potentielles et, par là-même, à tenter de distinguer ce qui relève du changement climatique ou de paramètres évoluant naturellement[12] (précipitations, températures etc…) dans la complexité hydrosystémique.
Dans un premier temps, nous allons nous intéresser aux évolutions constatées dans les recherches scientifiques au cours du XX^{ème} siècle concernant la température et les débits des cours d'eau avant de nous attacher aux évolutions du climat futur projetées par le programme Explore2.

a) Les tendances constatées au XXème siècle : températures, pluviométrie et débits

Au cours du XX^{ème} siècle, d'après Moisselin *et al.* (2002), des évolutions ont été perçues : *« l'accroissement sur un siècle des températures moyennes en France est important (de 0,7 °C à plus de 1 °C) »*. Le XX^{ème} siècle a donc connu une hausse significative des températures notamment celles des minimales à l'ouest et des maximales au sud. Ces auteurs notent une répartition inégale de cette hausse qui n'est donc pas homogène sur l'ensemble du territoire métropolitain. Sur ce même pas de temps, apparaissent également dans les séries de données climatologiques, *« une pluviométrie plutôt en hausse sur le XX^{ème} siècle et un changement de sa répartition saisonnière : moins de précipitions en été et davantage en hiver* ». Le constat d'une répartition hétérogène est également à noter : *« des contrastes nord-sud apparaissent : on trouve quelques cumuls annuels de précipitations en baisse sur le sud du territoire français »* (Moisselin *et al*., 2002).

Les travaux de Giuntoli *et al*. (2012) ont quant à eux exploré, à l'aide de batteries de données disponibles, l'évolution des débits de rivières étudiées entre 1968 et 2007. Contrairement aux constats thermiques, ils ne notent aucune tendance significative concernant la moyenne annuelle de débits sur la partie nord de la France, mais identifient de nombreuses tendances significatives dans certaines parties sud du pays (les Pyrénées, les Cévennes, le Massif central). Le même constat est fait concernant le maximum annuel de débit (hautes-eaux) : *« dans la partie nord, les tendances, bien que souvent non significatives, sont généralement positives »*. Il est constaté l'inverse dans la partie sud de la France où les tendances sont plutôt à la baisse.

Les constatations de Moisselin *et al*. (2002) ainsi que de Giuntoli *et al*. (2012) mettent donc en exergue une hétérogénéité dans les tendances au sein du territoire métropolitain avec une répartition nord/sud prégnante. Mais ces auteurs ne peuvent discerner les évolutions naturelles de celles potentiellement perturbées par la main de l'Homme.

[12] *« Le climat fluctue naturellement suivant certains modes de variabilités, qui peuvent persister sur des durées de plusieurs années à plusieurs décennies »* (Giuntoli *et al*., 2012).

Ainsi, pour Giuntoli *et al*. (2012), des *« oscillations naturelles peuvent potentiellement expliquer une partie des évolutions observées sur une quarantaine d'années »*.
Ils ajoutent que *« l'existence de tendances ne constitue pas en soi une preuve de l'impact du réchauffement climatique (distinction entre détection d'une tendance et attribution à une cause particulière) »*. Sur le plan scientifique, il est donc délicat, actuellement, d'imputer au seul *réchauffement climatique* les évolutions environnementales constatées impactant les cours d'eau.
Malgré ces propos nuancés, en raison des prévisions alarmistes du GIEC, des travaux prospectifs ont été entrepris (Explore 2070 puis Explore2).

b) Les projections des modifications hydrologiques liées au réchauffement climatique

Si l'on se projette un peu plus loin, le rapport Explore2 (2024) a émis des projections des climats futurs selon deux horizons (2041-2070 et 2071-2100), en fonction de modèles climatiques et hydrologiques qui tiennent compte des émissions de gaz à effet de serre. Les projections sont estimées par rapport à la période de référence 1976-2005, sans que le rapport ne précise explicitement le choix de cette référence.
D'après Explore2, qui se base sur les projections du GIEC, les températures en France métropolitaine pourraient augmenter en moyenne de 3 à 5,5°C à l'horizon 2100 en fonction des émissions de gaz à effet de serre. La pluviométrie, elle, augmenterait en hiver (+ 20 %) avec une hausse plus importante dans le nord et très incertaine dans le sud tout en connaissant une variabilité interannuelle forte. Le rapport note également une hausse prévue de l'évapotranspiration de 25 % en fin de siècle.
Cependant, dès que le rapport s'attaque aux cours d'eau, les conséquences hydrologiques potentielles sont difficiles à appréhender avec sans doute une hausse des débits en hiver (+ 15 % en fin de siècle) et une baisse dans le sud-ouest (- 10 %), même si la projection de *« l'évolution possible des débits de crue est incertaine »*.
Le niveau de fiabilité de la projection est cependant plus élevé sur le changement de régime hydrologique de certains cours d'eau qui pourrait être notable, avec des contrastes plus importants entre hautes-eaux et basses-eaux pour les régimes pluviaux ou encore les régimes à tendance nivale qui pourraient basculer sur un régime pluvio-évaporal simple. Il faut également noter une fréquence accrue de hauts niveaux de nappe en hiver qui pourrait accentuer les crues par remontée de nappes.

Mais pour tous les autres types de crues, Explore2 est sans ambiguïté sur les incertitudes majeures :

> ***« Avertissement :*** *les modèles climatiques utilisés ne donnent qu'une estimation très imparfaite des changements possibles pour les pluies fortes. Par conséquent, ils donnent une estimation très imparfaite des changements possibles pour les crues. En particulier, ils ne permettent pas d'estimer les changements aux échelles locales (et donc pour les petits bassins versants). Indépendamment de cette limitation, à l'échelle de la France, les tendances projetées pour les débits journaliers maximum sont incertaines. Pour les deux scénarios et les deux horizons, il n'y a souvent pas ou peu d'accords sur le signe des changements entre les modèles et la dispersion entre projections est très forte ».*

A ces incertitudes se rajoute un problème majeur, à savoir que toutes ces projections ont été faites à partir d'un écoulement le plus naturel possible qui, dans le cadre métropolitain français, peut être sujet à caution scientifique quand on sait le degré d'anthropisation de la plupart des cours d'eau de plaines (Germaine et Barraud, 2013) :

> *« Les projections d'Explore2 ont été produites pour projeter l'évolution des ressources en eau et des écoulements « naturels » uniquement (qui seraient « observées pour des bassins restés dans leur état*

naturel »). Les projections d'Explore2 ne prennent pas en compte les spécificités particulières des bassins versants s'il en est, ni les effets des aménagements hydrauliques ou des activités humaines sur l'hydrologie. Par ailleurs, les seuls facteurs d'évolution hydrologique pris en compte sont les facteurs climatiques. N'ont pas été prises en compte les évolutions possibles des prélèvements en eau, de l'occupation des terres, de la gestion de la ressource en eau via les retenues hydrauliques, etc. ».

Malgré ces limites majeures, il est possible d'envisager des projections (qui ne sont pas des prévisions selon le rapport lui-même) mais, avec une telle quantité d'incertitudes cumulées et une non-prise en compte d'une grande partie des paramètres influents sur le fonctionnement hydrologique, il devient délicat d'en tirer quelconque conclusion en termes de gestion de l'eau et du risque inondation.
Or, ces projections sont pourtant considérées par moult acteurs comme étant une réalité qui se produira, ce qui va à l'encontre de ce qui est annoncé dans Explore2. On peut lire dans un rapport de l'INRAE que les résultats d'Explore2 *« auront permis d'évaluer l'impact du changement climatique sur la ressource en eau sur l'ensemble du XXI^{ème} siècle […] »* (Jupin, 2024).
A moins de disposer de données non présentées dans le rapport Explore2, ce genre d'affirmation est sujette à mettre un doute scientifique et citoyen.
Mais se rajoute à cela la dimension spatiale de la projection puisqu'il y a confusion entre un discours d'échelle régionale et des réalités locales. Dans Explore2, la question des échelles d'analyse prospective est présentée ainsi :

« Les projections Explore2 ont été produites et fournies à une certaine échelle spatiale (par exemple, 64 Km^2 pour le climat) et il est fortement déconseillé d'en déduire des comportements à des échelles plus fines (par exemple, un climat à une résolution plus fine) ».

Malgré cet avertissement des scientifiques eux-mêmes, dans les discours médiatiques ou autres, le réchauffement climatique est incriminé comme étant le responsable principal des catastrophes contemporaines relatives aux inondations. De même, un certain nombre de gestionnaires de terrain produisent des documents affirmant tel ou tel effet du changement climatique à une échelle locale… sans être en capacité de le prouver, confondant un constat, qui peut être imputé à une multitude de paramètres ou combinaisons de paramètres, et une explication scientifiquement étayée.
Or, de tels raccourcis peuvent être la source de travaux coûteux pour la société dont on ne peut mesurer l'efficacité, puisque l'origine de la détérioration observée n'a pu être formellement identifiée, voire produire la détérioration de l'existant, à défaut de véritables études scientifiques *in situ*.

Si l'on ajoute à ces incertitudes sur les rôles respectifs des éléments du système le fait que les modèles s'appuient sur des variations climatiques qui ne tiennent pas compte du rôle de l'homme au sein des bassins versants, il existe alors un décalage conséquent entre l'objectif des modèles (pour des politiques publiques, nationales, régionales ou locales) et la connaissance de l'hydrologie (modifiée par des siècles d'aménagement pour se prémunir des excès du cours d'eau ou pour bénéficier de ses bienfaits) du territoire étudié. Cependant, bien que le lien entre le réchauffement climatique et les diverses tendances d'évolutions hydrologiques observées par Giuntoli *et al.* (2012) ne soit pas établi, il existe, d'après ces mêmes auteurs, une situation de tension sur la ressource en eau à l'échelle de certains territoires qui justifie les préoccupations de l'ensemble des politiques de gestion de l'eau et des risques d'inondation.

IV. La prévention des inondations : réflexions autour des solutions multiples de lutte contre les inondations dans un contexte sensible

Observer des variations, constater des risques accrus, est distinct d'en chercher les causes. Malgré les trop nombreuses incertitudes pesant sur les causalités supposées, il n'en demeure pas moins qu'il faille pragmatiquement trouver des solutions aux observations et autres constats, notamment en ce qui concerne l'augmentation du ruissellement.

Pour ce faire, selon Miqueu (*in* Landot *et al*., 2019), *« 3 types de mesures sont proposées par les plans de gestion :*

- *Des mesures « douces », immatérielles comme la gouvernance, les documents de planification, d'urbanisme ou d'amélioration de la connaissance ;*
- *Des mesures « vertes », fondées sur la nature ou nécessitant de l'ingénierie écologique (restauration de zones humides, végétalisation des villes …) ;*
- *Des mesures « grises » nécessitant des investissements matériels ou des équipements technologiques (création de réserves en eau, création de logiciels de gestion des eaux souterraines, des stations d'épuration plus performantes) ».*

Nous allons donc envisager le caractère multiforme de la prévention des inondations en abordant tout d'abord les mesures « douces » au travers de la spatialisation de l'inondation.

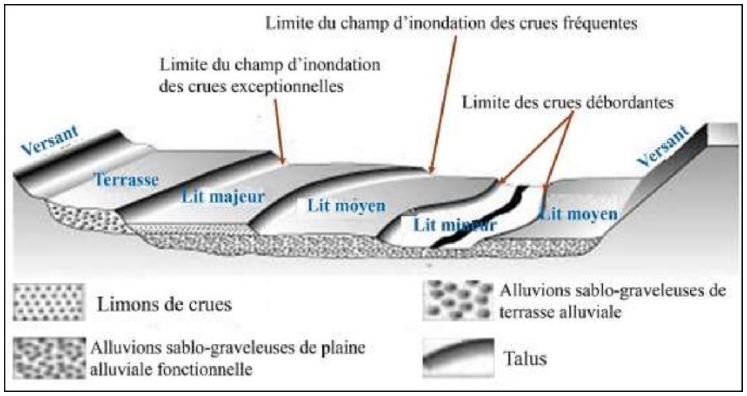
1. La prévention par la spatialisation de l'inondation : réduire la vulnérabilité

L'évaluation de la vulnérabilité territoriale a pour but de prioriser les politiques de gestion pour limiter les dommages liés aux inondations. Evidemment, *« la sauvegarde des vies humaines s'affiche comme une priorité, mais dans les faits, les efforts sont portés plus encore sur la réduction du coût des dommages »* (Defossez *et al*.,2018).
Cette approche, pragmatique ou cynique selon la perception de tout un chacun, nécessite de se questionner sur la dimension spatiale de l'inondation. En effet, si *« les plus fortes crues couvrent tout le lit majeur, ou plaine d'inondation, les crues plus fréquentes n'en inondent qu'une partie, par exemple les crues décennales »* (Touchart, 2003).
L'eau ne sort pas alors systématiquement de son lit, notamment lorsque l'épisode a lieu en période de basses eaux, et il faut donc s'interroger sur le zonage mis en place visant à identifier, limiter et prévenir la sensibilité d'une société, localement, à l'ennoiement.

a) La règlementation de la spatialisation de l'inondation : la géomorphologie du lit du cours d'eau au cœur de la planification

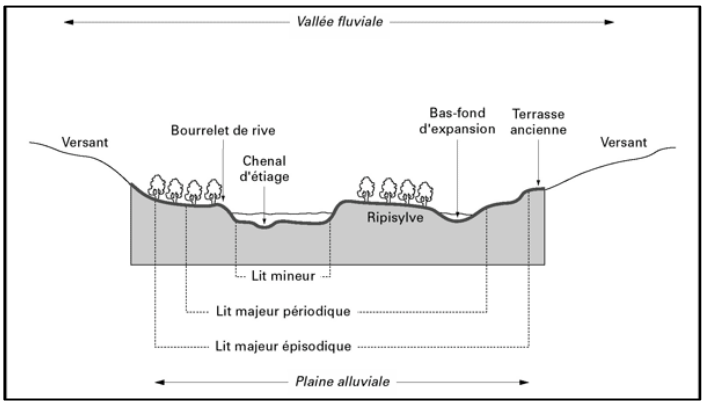
La forme du fond de vallée, espace le plus sensible à l'inondation en général, est l'élément qui, sur le plan scientifique, a mobilisé le plus de cohortes de chercheurs au cours des dernières décennies. Cette approche à finalité hydrologique est pourtant fondée sur des travaux géomorphologiques.
En effet, les multiples avancées hydrogéomorphologiques ont permis de mieux appréhender l'organisation spatiale transversale d'un cours d'eau : *« la méthode hydrogéomorphologique permet d'identifier des unités spatiales homogènes, que sont les différents lits fluviaux, modelés par les différents types de crue »* (Ballais *et al*., 2007), dénombrant jusqu'à quatre lits (schéma n°3).

Schéma n° 3 : Relations topographiques entre les composantes d'une plaine alluviale fonctionnelle (Ballais *et al*. 2007, adaptation de Ballais *et al*., 2005)



Ainsi, selon Ballais *et al*. (2007), *« le lit majeur géomorphologique est une unité topographique bien délimitée et caractérisée par sa microtopographie et sa granulométrie »*. Retranscrit hydrologiquement, il revient à parler de lit majeur hydrologique : *« le lit majeur hydrologique n'est que la surface recouverte par la crue centennale »* (Ballais *et al*., 2007), autrement appelé « lit majeur épisodique » (schéma n°4).

Schéma n° 4 : Profil transversal d'une plaine alluviale (d'après Pottier N., 1998[13])



[13] https://ressources.fondation-uved.fr/modules/moduleRisques/__les-risques-naturels-aquatiques_2.1.2(23-04-07)/html/2.html#:~:text=Les%20enjeux%20sont%20li%C3%A9s%20aux,des%20hydrosyst%C3%A8mes%20et%20la%20biodiversit%C3%A9.

Mais la gestion du risque impose de se poser la question de la surface d'exclusion d'activités (ou d'inclusion sous réserves) au sein de ce lit majeur hydrologique en fonction du risque encouru par la fréquence des débordements : il revient alors aux sociétés de décider quels périmètres doivent être soumis au risque acceptable ou inacceptable.

Le décret-Loi du 30 octobre 1935 sur le libre écoulement des eaux est, selon Landot *et al*. (2019), celui qui introduit pour la première fois la planification dans la lutte contre les inondations en mettant en place les PSS (Plans des Surfaces Submersibles). Ces PSS, bien qu'imparfaitement mis en pratique ensuite, constituent ainsi la première servitude pour faire face au risque d'inondation en envisageant pour la première fois la prise en compte des *« champs d'inondation »*, autrement dit le lit majeur hydrologique du cours d'eau.

Si la loi « Catastrophes Naturelles » du 13 juillet 1982 a permis l'indemnisation des victimes d'inondations, les nouvelles catastrophes observées à la fin de la décennie 80 et dans les premières années de la décennie suivante (Le Grand-Bornand, Nîmes, Vaison-la-Romaine pour ne parler que des plus conséquentes) vont conduire le gouvernement français à agir de nouveau mais cette fois-ci en envisageant la possibilité que les personnes et les biens puissent être retirés des champs d'inondation.

C'est en se fondant sur la cartographie hydrogéomorphologique produite que la loi de renforcement de la protection de l'environnement (dite loi Barnier) voit ainsi le jour le 2 février 1995 : elle crée notamment le fonds « Barnier » chargé de financer les opérations d'expropriation et les dépenses liées à la limitation ou à la démolition de biens exposés. Cette loi est aussi connue pour créer les PPRN (Plans de Prévention des Risques Naturels), dont les PPRI, qui incorporent alors les PSS. Comme le notent Ballais *et al*. (2007), cette cartographie hydrogéomorphologique a fait ses preuves rapidement, notamment lors des inondations de l'Aude en novembre 1999 ou de celle du Gard en septembre 2002, puisque, déterminée au préalable, elle s'est bien superposée aux limites réelles atteintes par les eaux.

b) La spatialisation de l'inondation : le bassin-versant comme logique ?

Si *« l'importance de la connaissance de la limite externe de la plaine alluviale fonctionnelle[14] »* (Ballais *et al*., 2007) s'avère centrale pour le zonage du risque inondation, sa gestion a connu également de profondes modifications spatiales par décentralisation des compétences.

Si, dès 1807 et la loi dite de « dessèchement des marais », la responsabilité de l'entretien des digues est donnée à leur propriétaire, il faudra attendre le début du XXI^{ème} siècle pour qu'une véritable architecture hiérarchique puisse voir le jour, en jouant sur deux échelles : l'échelle communale et intercommunale d'un côté et l'échelle du bassin ou sous-bassin versant de l'autre.
Avec la loi Risques Naturels et Technologiques du 30 juillet 2003, la logique de bassin, édictée dès la loi sur l'Eau de 1964, est consacrée par la création des EPTB. Cette loi structure les actions de prévention au moyen de Programmes d'Action de Prévention des Inondations (PAPI).

[14] Zone délimitée par les terrasses alluviales.

Le début des années 2000 voit également la règlementation sur les inondations changer de dimension à travers les directives européennes « INSPIRE » du 14 mars 2007 et « Inondation » du 23 octobre 2007 (sans oublier la « DCE » du 23 octobre 2000 moins directement liée aux inondations) : la question du bassin-versant doit sortir des seules limites nationales pour envisager la coopération transfrontalière seule à même de limiter les effets des débordements hydrologiques qui ont touchés l'Est de l'Europe quelques années plus tôt.

Concernant les collectivités, la loi sur l'eau du 3 janvier 1992 donne à celles-ci la possibilité d'entreprendre des études et travaux présentant un caractère d'intérêt général comme la défense contre les inondations.

Dès 2004, le législateur tente de rendre compatible les deux échelles (hydrologiques et administratives) en obligeant les documents d'urbanisme (SCoT, PLU et cartes communales) à être conciliables avec les orientations des SDAGE et SAGE (loi de transposition de la DCE du 21 avril 2004). Enfin, suite aux lois MAPTAM (27 janvier 2014) et NOTRe (7 août 2015), la loi GEMAPI voit le jour le 30 décembre 2017, structurant les objectifs et assignant les compétences aux différentes structures territoriales, tout en renforçant la logique de l'écoulement au travers du bassin-versant.

c) La modélisation : outil de prévision et de spatialisation de l'inondation

Les connaissances sur l'emprise des inondations au sein d'un territoire sont un enjeu majeur pour cartographier des zones exposées aux risques d'inondation que l'on retrouve dans les PPRI. Les inondations historiques connues et les outils de modélisation servent d'appui aux politiques publiques, notamment en termes de prédictions des fluctuations des débits des rivières.

L'utilisation de la modélisation des inondations, qui correspond à *« leur reproduction via un algorithme numérique fondé sur des lois physiques, des méthodes conceptuelles ou un mélange des deux »* (Rebolho, 2018), est un outil qui permet de mener les actions de surveillance des crues *« sous la coordination du SCHAPI qui assure en parallèle la production de la carte nationale de vigilance crues disponible sur l'application VIGICRUES »* (Jupin *et al*., 2022).
Cette modélisation a recours aux modèles hydrauliques qui essaient de transcrire la pluviométrie qui tombe sur un bassin versant en débit dans les cours d'eau. Il est alors possible de prévoir une inondation potentielle à partir de la prévision de ces débits.

Parmi les multiples modèles basés sur la pluviométrie, nous en présentons succinctement quelques-uns.

- ***Le modèle GRP (Génie Rural Prévision)***

Le modèle de prévision GRP est un modèle hydrologique conçu pour la prévision des débits à court terme au pas de temps horaire. Existant depuis plus de deux décennies, il est sans cesse amélioré pour prévoir les débits futurs en un point jaugé d'un cours d'eau à partir des mesures et des prévisions de pluies précipitées sur le bassin versant correspondant.

Il est conçu avec trois paramètres : pluies, Etr et température. Cette modélisation ne peut se faire uniquement que sur des bassins jaugés puisque la batterie de données nécessaires n'est pas disponible sur l'ensemble du territoire hexagonal. Il est développé actuellement pour l'aide à l'alerte aux crues et utilisé dans la plupart des services de prévisions des crues (SPC) en France (INRAE, 2022).

- ***La méthode/modèle AIGA (Adaptation d'Informations Géographiques pour l'Alerte crues)***

Selon Jupin *et al.* (2022), cette méthode, développée par l'INRAE pour les cours d'eau non équipés de station de mesure, est utilisée depuis les années 2000 pour prévoir les pluies et les débits dans les petits bassins versants méditerranéens touchés notamment par les crues-éclair, en collaboration avec Météo-France et le SCHAPI. Son objectif diverge de celui du GRP, puisqu'il s'agit ici d'anticiper les crues rapides en comparant des données recueillies en temps réel par radar avec des valeurs seuils précédemment modélisées.

Mais beaucoup d'autres modèles ne sont pas fondés sur la pluviométrie. Parmi ceux-ci, nous allons présenter brièvement le modèle MHYST, le HEC-RAS et le principe du jumeau numérique.

- ***Le modèle MHYST (Modélisation Hydraulique simplifiée en écoulement Stationnaire)***

Ce modèle MHYST « *s'appuie sur des concepts de géométrie hydraulique pour les chenaux et sur des données MNT pour les plaines inondables* » (Rebolho *et al*., 2018). Tout comme AIGA, il a été créé pour modéliser *« de manière simplifiée les inondations sur des territoires disposant de peu de données »* (Rebolho, 2018) et ce modèle « *calcule une relation topographiquement cohérente entre la hauteur au-dessus du drainage le plus proche et le débit* » (Rebolho *et al*., 2018). Mais ce modèle diffère un peu dans sa genèse des autres, puisqu'il a été financé, non par l'Etat, mais par des assureurs qui s'inquiètent du coût grandissant des dommages aux biens.

- ***Le modèle HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System)***

La méthode proposée par le modèle HEC-RAS essaie de déterminer deux débits hydrogéomorphologiques, l'un « minimum » pour recouvrir la plaine alluviale fonctionnelle, l'autre « maximum » générant le débordement sur la terrasse alluviale (Rebolho, 2018). Mise au point à l'origine en milieu méditerranéen, puis étendue ensuite à d'autres milieux tempérés comme pour la région de Stenay sur la Meuse, elle combine la géomorphologie, l'hydrologie et l'hydraulique : elle est alors dite « *méthode intégrée* » (Chave, 2003, *in* Rebolho, 2018).

- ***Le jumeau numérique « Weather-induced Extrêmes »***

Enfin, très récemment (depuis 2022), et toujours dans l'idée d'anticiper au maximum (de l'ordre de quelques jours) des phénomènes dangereux, l'accent a été mis sur des simulations numériques à très hautes résolutions. Il s'agit du projet de jumeau numérique « Weather-induced Extremes » qui a pour objectif ambitieux de *« construire une réplique numérique – ou un jumeau – du système Terre en soutien aux politiques environnementales »* (INRAE, 2024).

Aujourd'hui, il semble donc que la réduction de la vulnérabilité au risque inondation passe techniquement par le recours accru à la modélisation. Les structures en charge de la gestion des risques cherchent donc à maîtriser des paramètres multiples (météorologique, hydrologique, morphologique etc…) à inclure dans des modèles pour se protéger.
Mais, ce recours systématique à des outils de plus en plus perfectionnés cherche avant tout à prévoir un risque, non à le traiter, donc à l'accepter de fait. On peut donc s'interroger, au regard des crues et inondations catastrophiques les plus récentes, sur l'adaptation et l'efficience réelles de ces outils, pris seuls, à la complexité des interactions de l'ensemble desdits paramètres. Comprendre les origines du ruissellement en un lieu est indispensable, mais en limiter l'intensité et la récurrence semble aussi, voire plus, important.

2. Les solutions « grises » : favoriser le ralentissement dynamique

Le recours systématique à l'ingénierie hydraulique pendant des décennies pour tenter de juguler les inondations et la persistance de celles-ci ont généré, selon Moulin *et al*. (2017) « *une défiance croissante à l'égard des ouvrages de protection* » qui peuvent souvent être jugés dans certains discours comme insuffisants pour régler les problèmes de vulnérabilité, voire problématiques : « *l'approche « ouvrage de protection » est très souvent insuffisante (pérennité d'entretien pas toujours assurée, présence de risques technologiques […])* » (Godfroid, 2004).
Cependant, d'après Moulin *et al*. (2017), « *le coût important de ces ouvrages n'est pas étranger à ce changement de posture* ».
Il semble cohérent de faire de l'abaissement de la vulnérabilité d'un territoire un réel objectif en ne laissant pas *« l'ouvrage de protection »* régler tous les problèmes à lui seul, sans, qui plus est, l'entretenir comme il se doit.
Les inondations récentes dans le Nord-Pas-de-Calais (en novembre 2023) démontrent également, selon Potherat (2024), « *un défaut d'entretien des canaux et des fossés* ». Cependant, en règle générale et malgré les changements dans les discours et objectifs de gestion, « *la très grande majorité des financements publics nationaux continue d'être orientée sur les ouvrages de protection* » (Moulin *et al*., 2017). Mais ces solutions « grises » ne sont plus les mêmes que par le passé et visent de plus en plus au ralentissement dynamique du cours d'eau.

a) Le concept de ralentissement dynamique

Dans un contexte climatique où les précipitations sont en augmentation dans certains territoires et face à la croissance de la vulnérabilité de la population aux risques d'inondation (mais aussi de sécheresse), il apparaît qu'une des solutions qui est clairement affichée par l'ensemble de la sphère scientifique est le stockage de l'eau. Ce dernier apparaît comme un outil fondamental dans la lutte contre l'inondation. C'est, en effet, un paramètre majeur dans la pondération des cours d'eau que ce soit pour le soutien d'étiage ou pour ce qui nous intéresse, la gestion de l'aléa crue. Comme nous l'avons déjà évoqué dans la partie précédente, l'objectif est alors de réduire la vitesse de l'écoulement de l'eau pour faciliter son infiltration et de la stocker temporairement dans des nappes.

Rousseau et Pannet du BRGM[15], dans leur audition de 2023, indiquent clairement que *« la multiplication des noues et des fossés, la rétention d'eau en surface pour qu'elle puisse ensuite alimenter les nappes, sont des solutions intéressantes »*.

Le concept de ralentissement dynamique s'inscrit dans ce cadre. Proposé dès 1992[16], c'est un dispositif de *« rétention temporaire d'une partie des volumes de crues »* par le biais d'ouvrages répartis au sein d'un bassin versant, visant à *« compenser les accélérations du ruissellement provoqué par l'activité humaine »* (Poulard *et al*., 2008), mais « *ce principe a pour corollaire une inondabilité adaptée et choisie, donc acceptée, des lits majeurs* » (Oberlin *et al*., 1997).

Selon Poulard *et al.* (2008), l'objectif recherché est *« d'écrêter les crues en amont des enjeux pour limiter le recours aux protections locales et aux calibrages »*. Le stockage de l'eau est temporaire et intervient pour limiter ponctuellement le débit d'un cours d'eau lors de phénomènes de crue même si des ouvrages de protection peuvent s'avérer nécessaires en complément.
Selon ces mêmes auteurs, les ouvrages en question *« doivent perturber au minimum les flux d'eau, de sédiments et les déplacements de la faune aquatique ».* Différents types d'ouvrages existent comme les barrages à pertuis ouvert ou encore les bassins latéraux à l'image des barrages-réservoirs de la Seine précédemment cités.
Mais ce ralentissement dynamique est déjà à l'œuvre un peu partout sur les cours d'eau français et c'est ce qui vaut d'ailleurs à ces aménagements des difficultés avec le volet GEMA des politiques de l'eau.

b) Pistes de réflexion autour du rôle méconnu des petits ouvrages hydrauliques

L'infiltration et le stockage de l'eau sont aujourd'hui mis en avant par un grand nombre d'acteurs de l'eau, que ce soit issus de la sphère scientifique (Avis de scientifiques français, 2023 ; BRGM, 2023 ; Potherat, 2024 ; Poulard *et al*., 2008 …), de la sphère des gestionnaires (EPTB Seine Grands lacs, Angers Loire Métropole …), ou encore de la sphère associative (Fédération Française des Amis des Moulins, Association pour le Développement Opérationnel et la Promotion des Techniques Alternatives …).

Ce constat partagé amène à nous interroger sur la place pouvant être octroyée à l'héritage hydraulique dans la lutte contre les inondations (et les sécheresses), et notamment tout ce qui renvoie à la petite hydraulique, c'est-à-dire les seuils agricoles (servant à inonder les prairies afin de les fertiliser), les seuils de moulin, leurs biefs associés, les fossés creusés depuis des siècles pour évacuer le surplus d'eau, que ce soit pour les parcelles agricoles ou pour relier deux étangs entre eux, voire même les canaux agricoles. N'y a-t-il vraiment aucune étude ?

Dans ses travaux portant sur la zone supérieure de la Seine, le grand hydrologue Eugène Belgrand (1846) insiste pourtant sur le rôle central joué par les étangs et les biefs dans la lutte contre les crues et les sécheresses, en particulier dans les régions granitiques : « *autrefois, les petites vallées granitiques du*

[15] Michèle Rousseau Présidente-directrice générale et Pierre Pannet, directeur adjoint des actions territoriales, du Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)
[16] Dans le cadre de travaux pour le Programme hydrologique international de l'UNESCO.

Morvan étaient toutes préservées par une multitude d'étangs où les crues venaient s'emmagasiner … Les plus importants servent presque toujours de biefs à des moulins qui marchent d'une manière continue pendant les sécheresses, et alimentent ainsi les petits cours d'eau situés en Aval qui, sans cela, seraient promptement mis à sec ».

Cette question de la réhabilitation de l'héritage hydraulique pour des motifs de gestion hydrologique des cours d'eau est donc tout sauf nouvelle et Cœur (2024) produit un exemple révélateur à l'échelle de l'agglomération de Troyes. Ainsi, selon lui, dans la première moitié du XIX^{ème} siècle, l'agglomération de Troyes a cherché à inclure dans ses projets de défense contre les inondations d'anciens aménagements comme « *le canal de flottage du bois qui contourne la cité et le déversoir Saint-Julien* ». Pour le préfet de l'Aube (dans une lettre datée du 29 mai 1838, *in* Cœur, 2024), bien qu'*« ayant fonctionné dans le temps pour un autre usage »,* il semble *« avoir été créé par l'intelligence même qui combine le régime artificiel des eaux de Troyes, et qui en est aujourd'hui le supplément nécessaire »*.

Cette réflexion, ancienne mais pragmatique, mérite de retenir l'attention de nos contemporains, en s'interrogeant par exemple sur la mobilisation des kilomètres de biefs existant dans les zones rurales. Il s'agit souvent d'anciens bras annexes du cours d'eau, la plupart du temps non inventoriés, utilisables pour détourner les eaux ou les stocker en fonction des besoins de gestion, à l'instar, toute proportions gardées, des barrages réservoirs de la Seine, mais avec l'avantage d'un maillage territorial très fin.

Il s'agit donc de creuser le multi-usage de l'existant, de réellement appréhender nos eaux courantes et souterraines de manière systémique et d'envisager les rôles potentiellement positifs de n'importe quels objets hydrauliques : pour Rousseau et Pannet (2023), *« les seuils présents sur les cours d'eau réduisent certes la circulation des poissons, mais améliorent l'infiltration de l'eau »*.

Le modèle Aquiseuil, développé par le BRGM et l'OFB, s'inscrit pleinement dans cet objectif en tentant de modéliser l'impact de l'arasement ou de l'effacement d'un seuil en rivière sur la nappe alluviale : les premiers résultats confirment l'abaissement de la nappe et les problèmes générés dès lors qu'un pompage (AEP, agricole, industriel …) a lieu dedans en réduisant la quantité d'eau disponible.

c) Promouvoir une équité territoriale face au risque inondation

Si nous synthétisons ce qui a été écrit, les limites des projets de ralentissement dynamique s'articulent entre plusieurs difficultés potentielles : la maîtrise suffisante des paramètres influant sur les crues dans le bassin versant en question, les impacts de plusieurs ouvrages parfois dispersés qui restent complexes à appréhender, l'acceptation de l'inondation de zones amont rurales aux bénéfices de zones avales urbaines et la distorsion entre territoires en termes de prééminence du volet GEMA ou PI.
Ces deux derniers points méritent que l'on s'y attarde puisqu'ils sont le révélateur d'une iniquité citoyenne en fonction du territoire dans lequel on vit.
En effet, en matière de gestion de l'eau, et plus particulièrement autour des effets prétendument positifs ou négatifs générés par le ralentissement dynamique, il existe une distorsion spatiale majeure puisque, au même moment, des politiques visent à édifier des réservoirs alors que d'autres visent à les détruire, ceci dans des endroits distincts.

Globalement et contrairement à ce que craignait France Nature Environnement par la voix de Gatet (*in* Landot *et al*., 2019), c'est-à-dire *« que la prévention des inondations l'emporte presque toujours sur la gestion des milieux aquatiques et qu'elle se traduise généralement par des opérations d'aménagements lourds, qui portent atteinte aux milieux aquatiques »,* la majeure partie des rivières françaises présentes dans les parties amont des bassins versants sont davantage soumises aux contraintes de la GEMA puisque seules celles en amont direct de centres démographiques et économiques névralgiques connaissent aujourd'hui une prédominance du PI.

Cette sentence se traduit trop souvent sur le terrain par une opposition Nature/Culture. Mais plutôt que de les opposer, ne serait-il pas pertinent de les conjuguer ?
En effet, dans les parties amont, une politique réfléchie, réaliste, aurait tout à gagner à mobiliser une part importante de la petite hydraulique déjà présente pour favoriser la pondération des régimes de cours d'eau, tout en permettant de respecter un certain nombre d'attentes écologiques. De même, dans les parties aval, la dominante « grise » des infrastructures » pourrait se verdir, avec notamment la présence de zones d'expansion de crues, sans pour autant tomber dans des conflits territoriaux à plus grande échelle entre l'amont de l'agglomération, son aval et la partie densément urbanisée.

3. Les solutions « vertes » : une politique ancienne d'actualité

L'engouement pour l'écologie depuis quelques décennies prône des solutions dites « naturelles » pour résoudre des défis sociétaux. Plusieurs concepts contemporains ont émergé comme « les services écosystémiques » ou encore « les Solutions fondées sur la Nature ». Si les concepts sont récents, les solutions proposées, dites « écologiques » ou « vertes », ne sont pourtant pas vraiment novatrices en ce qui concerne la lutte contre les inondations.

a) Des politiques RTM aux zones d'expansion de crues : l'amont au service de la protection aval

Lutter contre les inondations en se servant de la « nature » pour faciliter le ralentissement, l'infiltration et le stockage de l'eau, en jouant notamment sur l'infiltrabilité des sols, fait certes partie des réflexions contemporaines, mais elle s'ancre dans une tradition historique.
Ainsi, l'ingénierie « verte » a déjà été au cœur des politiques de prévention contre les inondations et a fait ses preuves *via* notamment le reboisement et le ré-engazonnement des terrains de montagne. Cette politique a été initiée en France au milieu du XIX^{ème} siècle et a conduit à une réduction notable du ruissellement dans les zones les plus pentues du pays. Elle est basée sur une solution végétale, en complément d'ingénierie « grise », et pensée différemment de l'existant puisqu'il s'agit de végétaliser l'amont pour protéger l'aval. Nous allons développer quelque peu sa genèse.

Si pendant des siècles les Hommes ont essayé de contenir les flots furieux des rivières par des systèmes ingénieux de digues notamment, les grandes inondations de 1855 et 1856 ont fait prendre conscience aux élus de la Nation qu'il fallait agir différemment : le 28 mai 1858 est adoptée la « loi inondations » qui donne à l'Etat compétence pour l'exécution des travaux destinés à mettre les villes à l'abri des

inondations. Pour ce faire, le choix est fait de profiter de cette compétence nationale pour agir autrement en externalisant les aménagements entrepris vers l'amont, donc hors du lieu touché par les inondations.

Dans les décennies qui suivent la « loi inondations », trois lois, qualifiées postérieurement de RTM (Restauration des Terrains de Montagne), ont visé à réduire l'afflux d'eau et de sédiments dans les parties aval des vallées fluviales en jouant sur ce que l'on nommerait aujourd'hui du « génie écologique ». En regazonnant et reboisant les terrains pentus largement défrichés et surexploités au cours des siècles précédents, les lois du 10 juillet 1860, 9 juin 1864 et 4 avril 1882 ont permis de réduire considérablement les risques d'inondation en montagne et donc dans les vallées en aval de celles-ci.

Cette externalisation du risque en le réduisant en amont (à l'origine) est à la base des politiques de prévention actuelles et, dans le cas des RTM, des polémiques ont évidemment existé : fermeture paysagère de certains territoires, effet d'opportunité financière pour de nombreux propriétaires de terrains sans réelles valeurs agricoles, ou encore essences utilisées (notamment l'utilisation massive du Douglas, entraînant l'acidification des eaux et un régime hydrologique perturbé en raison de sa litière distincte de celle de la chênaie-hêtraie traditionnelle).

Un autre élément d'ingénierie « verte », les zones naturelles d'expansion de crue, a permis le ralentissement de l'eau et son stockage par débordement précoce en amont des centres névralgiques mais pas nécessairement dans les têtes de bassin-versant. Le recours à ces zones par le législateur français remonte à la même époque que les RTM. En effet, la loi de 1858 officialise le maintien de zones d'expansion naturelle des crues. D'après Cœur (2024) on peut lire :

> *« […] Art. 6 – Il ne pourra être établi, sans qu'une déclaration ait été préalablement faite à l'administration, qui aura le droit d'interdire ou de modifier le travail, aucune digue sur les parties submersibles des vallées de la Seine, de la Loire, du Rhône, de la Garonne et de leurs affluents, ci-après désignés – Seine : Yonne, Aube, Marne et Oise*
>
> *[…] Art. 7 – Toute digue établie dans les vallées désignées à l'article précédent, et qui sera reconnue faire obstacle à l'écoulement des eaux ou restreindre de manière nuisible le champ des inondations, pourra être déplacée, modifiée ou supprimée par ordre de l'administration […]. »*

Bien que fondées sur le génie écologique et végétal, les RTM ne sont pourtant pas des SfN, nouveau concept du XXI^{ème} siècle, alors que le rétablissement de zones d'expansion de crues en est un marqueur.

b) Les Solutions fondées sur la Nature (SfN) : un concept aux contours flous

L'utilisation de la « nature », pour résoudre des défis de sociétés, prônée dans le concept de SfN (« Solutions fondées sur la Nature »)[17] n'est donc pas une idée nouvelle, idéologisée.

[17] *« Les solutions fondées sur la nature sont définies comme les actions visant à protéger, gérer de manière durable et restaurer les écosystèmes naturels ou modifiés pour relever directement les défis de sociétés de manière efficace et adaptative, tout en assurant le bien-être humain et en produisant des bénéfices pour la biodiversité »* (UICN, comité France, 2019).

Formalisé en 2009 par l'UICN, ce recours à la « nature », et notamment au génie végétal, peut être utilisé pour la prévention du risque inondation, et s'intégrer aisément dans les politiques françaises portant sur la Gestion des Milieux Aquatiques dans un but également de préservation de la biodiversité : restauration de cours d'eau (reméandrage) ou de zones humides, limitation du ruissellement par la plantation de haies etc… En effet, un projet mobilisant le concept de SfN doit prioritairement *« contribuer de façon directe à un défi de société identifié autre que celui de la conservation de la biodiversité » mais aussi « s'appuyer sur le fonctionnement des écosystèmes » et « présenter des bénéfices pour la biodiversité »* (UICN, comité France, 2019).

Avec la montée des questionnements liés au changement climatique, un autre vocable est ensuite apparu, notamment à l'échelle européenne : les *« Solutions d'adaptation fondées sur la Nature (SafN) »*. Ce concept élargit le spectre de son interventionnisme à la prospective et est ainsi prôné par le projet Life « ARTISAN » : les SafN y désignent *« des solutions qui tentent de répondre au défi du changement climatique tout en créant des bénéfices pour la biodiversité »*.

Si l'engouement international ou européen est palpable, à l'échelle française, ce sont avant tout les acteurs qui œuvrent pour la biodiversité qui se sont emparés de ces concepts. Concernant les cours d'eau, l'idée est de se rapprocher d'un écoulement dit « naturel », plus favorable, selon l'idéologie naturaliste dominante, au développement de la biodiversité et notamment de certaines espèces de poissons … Le CEPRI (Centre Européen de Prévention du Risque d'Inondation) (2022) indique d'ailleurs que « *certaines actions consistent à limiter au maximum les obstacles pour favoriser l'écoulement naturel de la rivière* ».

Cependant, l'enthousiasme de ces acteurs ne semble pas vraiment partagé par les riverains des cours d'eau pour se prémunir des inondations. En effet, selon Guerrin *et al*. (2023), les riverains *« craignent que ces solutions douces ne les protègent pas efficacement contre les inondations »*, et le concept souffre du *« manque de preuves tangibles et calculables de l'efficacité des SfN en termes de protection contre les inondations […] »*. Or, comme l'explique le CEPRI dans son guide (2022), les SafN visent à intervenir sur des évènements de faible ampleur mais en se projetant sur un temps long.

Aussi, les collectivités territoriales, pourtant principales concernées par la mise en œuvre de ces solutions, se montrent frileuses face aux injonctions à introduire des SfN, alors que les structures portant compétence GEMAPI pourraient y trouver une conciliation de différents enjeux : « *les solutions fondées sur la nature, vues comme des actions multi-bénéfices, peuvent permettre d'envisager une gestion plus intégrée des risques naturels et des territoires, et notamment d'accorder la prévention des inondations avec la gestion des milieux aquatiques* » (Rey *et al*., 2018).

Les subsides généreux des projets européens mobilisant le concept de SfN attirent, mais encore faut-il s'emparer du concept, l'exemple de l'analyse du projet du parc Saint-Serge d'Angers Loire Métropole (ALM) par Fournier et Bonnefond (2023) étant éloquent. En effet, ALM s'est portée candidate aux Trophées du projet Life Artisan grâce à la préservation d'une zone d'expansion de crue et de rétention des eaux pluviales (le parc Saint-Serge). Cependant, pour Fournier et Bonnefond (2023), plusieurs autres sites de l'agglomération répondaient pourtant aux mêmes critères, comme le parc Balzac ou encore l'Ile Saint-Aubin, et pourtant le concept de SfN n'y a pas été identifié, mettant en avant l'effet d'opportunité financière.

Les difficultés à s'emparer du concept et les réticences des riverains poussent donc les structures en charge de la gestion de l'eau à une certaine frilosité, à l'instar de nombreux SDAGE, puisque les SfN n'y ont pas valeur d'obligations mais seulement d'incitations.

Il semble donc y avoir une distorsion majeure entre les vues des décideurs politiques, français comme européens, enthousiastes à l'idée de développer les SfN (comme à travers la directive *Restore Nature* du 27 février 2024) et la réceptivité des populations sur les territoires, craintives devant les conséquences concrètes qu'elles pourraient être amenées à subir. Peur de la nouveauté ou crainte réelle, il serait utile de se questionner sur la préférence des populations en une protection issue du génie civil. Les citoyens n'appréhenderaient-ils pas le remplacement de solutions connues et ayant relativement fait leurs preuves par des solutions dont on ne connaît pas encore vraiment la portée ? En ce sens, le programme de recherches « France 2030 » sur les *« Solutions fondées sur la Nature »* piloté par l'INRAE, apportera peut-être des réponses concrètes.

c) Les solutions « vertes » pensées en complément des solutions « grises »

Pourtant, le plus souvent, les solutions *« vertes »* ne sont pas proposées seules. Au contraire, le guide du CEPRI (2022) décrit des actions menées en complément de solutions dites « grises » : *« c'est dans la recherche d'une complémentarité entre solutions « grises » et « vertes » que les collectivités peuvent trouver des réponses aux défis qui s'annoncent en matière de gestion du risque d'inondation »*.
En effet, il ne faut pas oublier que les ouvrages hydrauliques de protection contre les inondations (endiguement, barrages, bassins écrêteurs de crue) *« représentent une solution efficace pour protéger les biens et les personnes contre les inondations »* (Rey *et al*., 2018).

Une solution fondée sur la nature n'est alors pas nécessairement « naturelle », au sens de laisser-faire la nature, mais bien de s'en inspirer. Ainsi, dans le programme de projets LIFE en Hongrie, la création de plusieurs barrages en bois visant à prévenir les risques inondations a été pensée en tant que « mesures naturelles de rétention d'eau », à l'image des milliers de barrages de castors parcourant les rivières européennes, il y a de cela plusieurs siècles. Le concept rappelle celui des barrages réservoirs de la Seine qui prône le développement de la biodiversité et la protection de la nature via des constructions humaines, mais le terme usité de « mesures naturelles » est inadapté : il s'agit d'une solution « grise » inspirée d'une solution « verte ».

Cette combinaison de solutions « vertes » et « grises » a déjà fait ses preuves sur d'autres pans hydrologiques, notamment autour de la qualité de l'eau. Il en est ainsi des Zones de Rejet Végétalisées (ZRV)[18] associant judicieusement génie végétal et génie civil en s'inspirant du pouvoir filtrant des plans d'eau végétalisés de faible profondeur.

[18] Le concept de ZRV définit des *« espaces aménagés entre la station d'épuration et le milieu récepteur, censés contribuer à la réduction de l'impact des rejets sur le milieu naturel »* (Boutin et Prost-Boucle, 2012).

Par conséquent, il n'est sans doute pas nécessaire d'opposer des solutions. La solution alternative n'est-elle pas dans la combinaison plutôt que dans la confrontation ? Ces solutions ne doivent-elles pas être envisagées comme additionnelles à l'existant (comme la ZRV pour la station d'épuration) ?
Pour Rey *et al*. (2018), *« pour concilier sécurité et écologie, le génie écologique en général et le génie végétal en particulier peuvent, dans certaines situations bien définies, représenter un complément au génie civil, ce dernier étant généralement utilisé pour la protection des habitants contre les inondations (digues, barrages écrêteurs, etc.) »*.

Ainsi, en facilitant le stockage de l'eau dans *« des espaces contenants de l'eau de façon permanente que ce soit en zone rurale ou en zone urbaine (zones humides, étendues d'eau, plans d'eau, étangs, etc.) »* pour leur capacité à *« stocker les eaux de ruissellement et à favoriser leur absorption dans le sol* » (CEPRI, 2022) ou en constituant des réserves temporaires d'eaux de pluie (comme par exemple la création d'un jardin de pluie à Asnières), solutions « vertes » et « grises » s'additionnent.

Conclusion générale

Ce dossier a présenté les crues des cours d'eau, ainsi que les inondations potentielles qui les accompagnent, comme des phénomènes complexes faisant intervenir de nombreux facteurs qui interagissent les uns avec les autres et dont on ne connaît pas très bien, encore, le rôle et l'effet de chacun. Des paramètres de natures diverses faisant appel à des notions d'hydrologie, de géomorphologie, de météorologie, mais aussi, et peut-être surtout, des notions sociétales de vulnérabilité, de culture du risque et d'aménagement du territoire, ont été mis en évidence. Le point commun de toutes ces dimensions est leur compréhension dans une dimension spatio-temporelle, et il en va de même pour les politiques de gestion de l'eau.

Chaque époque voit ressurgir des problématiques d'inondation, générant une réponse sociétale avec plus ou moins d'efficacité selon les territoires, mais laissant une empreinte qui impacte les politiques des décennies suivantes. Selon Martin *et al*. (2017), *« la compréhension de l'évolution des aléas, la reconstitution des évènements extrêmes passent donc nécessairement par une analyse diachronique simultanée des aléas, de l'occupation des sols et du contexte politique et juridique ».*

En s'insérant dans cette approche diachronique, notre réflexion autour de la place accordée aux ouvrages hydrauliques dans la gestion des aléas crues et risques d'inondations a mis en évidence plusieurs éléments centraux. Tout d'abord, sur le plan scientifique, les connaissances portant sur la géomorphologie du lit des cours d'eau ont permis de véritables avancées qui se vérifient aujourd'hui dans les politiques de prévention. En revanche, sur le plan climatique, si le rôle joué par les éléments atmosphériques dans le temps long s'avère indéniable, il est aujourd'hui complexe d'avoir des certitudes quant aux évolutions à court et moyen termes des effets de ceux-ci sur l'écoulement des rivières. Enfin, un élément, précédemment central dans les approches, est aujourd'hui peu étudié, à savoir la question de la pondération des cours d'eau.

Cette pondération existe de manière naturelle sur certains cours d'eau grâce à la présence de stocks, alors que d'autres rivières sont beaucoup plus réactives aux précipitations par absence de réserves. Les Hommes ont de tout temps cherché à (i) préserver leurs réserves, notamment les nappes, quand ils en disposaient, parfois même en les remplissant en période hivernale grâce à l'étalement de l'eau généré par la petite hydraulique, (ii) créer et gérer des réserves quand le bassin n'en disposait pas ou peu naturellement, ceci principalement *via* des seuils, biefs ou étangs.

Cette adaptation aux contextes locaux passait principalement par des aménagements réalisés dans les parties amont des bassins, si bien qu'ils bénéficiaient aux parties aval ensuite. Comme le rappelle Belgrand en 1846, donc au cœur d'une période hydrologique critique face aux nombreux aléas rencontrés en ce milieu de XIX^{ème} siècle, l'une des solutions à la pérennité des cours d'eau et à la limitation des excès hydrologiques serait « *le rétablissement des anciens étangs dont les digues existent toutes encore, et la création de nouvelles retenues … seule méthode certaine de régulariser les petits cours d'eau dans les terrains granitiques* ».

Cependant, l'augmentation de la vulnérabilité au risque d'inondation, principalement par étalement urbain au sein de vallées alluviales, a conduit les ingénieurs à réfléchir autrement et à ne plus chercher à retenir au maximum les eaux mais bien à les évacuer le plus vite possible vers l'aval des centres névralgiques. Cette logique a été à l'origine de l'artificialisation des lits des cours d'eau, la suppression des îles et autres annexes hydrauliques, à travers des solutions « grises » visibles aux yeux de la société. Mais si, de façon concomitante, la grande hydraulique a pu profiter de cette période pour se développer, la petite hydraulique, pas aussi efficiente car d'emprise uniquement locale, a été peu à peu abandonnée.

Dans une optique autre que celle de la gestion des inondations, ces politiques visant à évacuer le plus vite possible l'eau vers l'aval ont été renforcées au cours des dernières décennies par la doctrine de la continuité écologique, qui envisage le libre écoulement de l'eau et des sédiments. Pourtant, à y regarder de plus près, là où la chenalisation avait été prônée pour faciliter l'évacuation des stocks d'eau le plus vite possible vers la mer, prennent place des projets de renaturation, de restauration de bras, méandres et annexes hydrauliques de cours d'eau … qui visent à ralentir l'écoulement et non l'accélérer. A l'inverse, les portions de vallées fluviales peu impactées par les grands projets hydrauliques et qui donc avaient conservé un potentiel de stockage local intéressant sont elles délestées de leurs petits ouvrages hydrauliques patrimoniaux au principe qu'ils constituent un obstacle à l'écoulement en le ralentissant.

Il existe donc des contradictions spatiales majeures dans les politiques de l'eau contemporaines et les grands perdants, en dehors de l'Homo Urbanus, qui craint pour sa sécurité, sont les ouvrages de petite hydraulique, présents depuis des siècles sur le linéaire fluvial français, mais qui ne rentrent pas dans les champs d'intérêt des solutions « grises » lourdes et des solutions « vertes ».

Pourtant, si l'on donne la parole aux citoyens, les solutions proposées ne sont pas pleinement satisfaisantes (Guerrin *et al.*, 2023) quant à la gestion du risque inondation, puisque ceux-ci craignent avant tout pour leur sécurité. Ce mouvement de donner la parole aux acteurs des territoires est une tendance règlementaire de cette première partie du XXI^{ème} siècle, puisque la directive Restore Nature (2024) incite à associer les citoyens dans les divers projets menés. Mais, comme pour le recours aux solutions vertes, si l'on se réfère à l'histoire de la gestion des inondations, la concertation avec les citoyens n'est pas un fait nouveau. Ainsi, Deparcieux (1703-1768, grand spécialiste d'hydraulique) évoquait déjà, au XVIII^{ème} siècle, l'intérêt d'associer le public dans les politiques de prévention des inondations : *« c'est un juge intègre à qui rien n'échappe et qu'il serait très à propos de consulter en publiant les projets longtemps avant que de les entreprendre […] », le public « l'approuvera (le projet) s'il y a plus d'avantages que d'inconvénients, et il pourra avoir lieu un jour ; ou il le condamnera dans le cas contraire »* (*in* Cœur, 2024). Prendre en compte ces avis citoyens, c'est certes cultiver la mémoire du risque, mais aussi et surtout remettre les usages au cœur des politiques de l'eau.

Dans *« une logique de Gestion Intégrée de la Ressource en Eau, il est* [donc] *nécessaire de créer des outils de gouvernance adaptés faisant le lien entre les dernières avancées techniques et scientifiques, l'adaptation au territoire visé et la sensibilisation des acteurs en charge de la gestion de l'eau »* (Bartout et Touchart, 2017). La combinaison de solutions fondées sur l'hydraulique et de solutions fondées sur la Nature semble être une piste à valoriser car mobilisant des effets positifs pluriels, adaptatifs et systémiques.

Bibliographie

AVIS DE SCIENTIFIQUES FRANCAIS, 2023 : *Préservation de la ressource en eau, protection des zones humides et de la biodiversité : le rôle des petites retenues d'eau en France*. FFAM, 6 p.

BALLAIS J.-L., CHAVE S., DELORNE-LAURENT V. et ESPOSITO C., 2007 : Hydrogéomorphologie et inondabilité. *Géographie physique et Quaternaire*, 61(1).

BARTOUT P. et TOUCHART L., 2017 : Le territoire limnique, une alternative à la gouvernance des plans d'eau par masses d'eau ?, *VertigO*, 17(3).

BELGRAND E., 1846 : Etudes hydrologiques dans les granites et les terrains jurassiques formant la zone supérieure du bassin de la Seine. *Conseil général des Ponts et Chaussée, Annales des Ponts et Chaussées. Mémoires et documents relatifs à l'art des constructions et au service de l'ingénieur*, 153.

BIER S., 2019 : *Pour une approche territoriale de la culture du risque : application au risque inondation dans le bassin français de la Meuse*. Thèse, Université de Lorraine, 398 p.

BIER S., GINET P., GERNEZ E., CARON X., 2016 : *Culture du risque inondation et développement des territoires. Analyse géopolitique du bassin de la Meuse française*. Poster, Assises Nationales du Développement Durable

BRAVARD J.P. et PETIT F., 2000 : *Les cours d'eau français. Dynamique du système fluvial*. Armand Colin, 222 p.

BRUNNER M.I., 2021 : Regulation affects droughts and floods at local and regional scales. *Environmental Research Letters*, 16.

CEPRI, 2022 : *Guide SafN ARTISAN – Les Solutions d'adaptation fondées sur la Nature pour prévenir les risques d'inondation,* 76 p.

CŒUR D., 2024 : *Barrages -réservoirs et crues de la Seine. Une Brève histoire de l'hydrologie du XVII^{ème} au XX^{ème} siècle*. Éd. QUAE, 131 p.

COSANDEY C. et ROBINSON M., 2000 : *Hydrologie continentale*. Armand Colin, 360 p.

DEFOSSEZ S., VINET F. et LEONE F., 2018 : « Diagnostiquer la vulnérabilité face aux inondations : progrès et limites », *in* VINET F. (dir), *Inondation 1 : la connaissance du risque*, ISTE éditions, 388 p.

DUPIN C., 1827 : *Forces productives et commerciales de la France*. Paris, Bachelier.

FOURNIER M. et BONNEFOND M., 2023 : La gestion des risques d'inondation au prisme du concept de « Solutions fondées sur la nature » : Angers Loire Métropole, une agglomération précurseur ? *Dynamiques environnementales,* 51.

FRANCHOMME M., SERVAIN-COURANT S. et SAJALOLI B., 2014 : De l'approche géohistorique à l'élaboration de nouveaux outils de sensibilisation et de prévention du risque inondation. *DDT*, 5(3).

GERMAINE M.A. et BARRAUD R., 2013 : Restauration écologique et processus de patrimonialisation des rivières dans l'Ouest de la France. *VertigO*, Hors-série 16.

GHIOTTI S., 2006 : Les territoires de l'eau et de la décentralisation. La gouvernance de bassin versant ou les limites d'une évidence. *DDT,* Dossier 6.

GIRET A., 2004 : Le risque hydrologique. *L'information géographique*, 68(1).

GIRET A., 2012 : *Les cours d'eau français. Approche quantitative*. L'Harmattan, 297 p.

GIRET A., 2013 : *Crues et étiages en France au XX^{ème} siècle. Entre nature et aménagements*. L'Harmattan, 278 p.

GIRET A., 2016 : *Ruissellement et écoulement des eaux sur les bassins versants français*. L'Harmattan, 200 p.

GIUNTOLI I., MAUGIS P. et RENARD B., 2012 : *Evolutions observées dans les débits des rivières en France*. Rapport ONEMA, 7 p.

GODFROID S., 2004 : Exposé de synthèse sur le thème « vulnérabilité ». *La Houille Blanche*, 90(6).

GUERRIN J. et al., 2023 : Que sont les solutions fondées sur la nature pour la gestion du risque inondation ? Appropriations d'un concept international en France et aux Etats-Unis. *Techniques Sciences Méthodes*, 10(10).

GUILLERME A, 1993 : *Le temps de l'eau ; la cité et les techniques*. Éd. Champ Vallon, 259 p.

HAURY Y. et DESCOEUR V., 2024 : *Rapport d'information sur l'adaptation de la politique de l'eau au défi climatique*. Rapport parlementaire n°2069.

JUPIN R., 2024 : *Le projet Explore2, des projections hydrologiques pour adapter la gestion de la ressource en eau – Appui aux politiques publiques*. Rapport INRAE, 15 p.

JUPIN R., RICHARD D., LANG M. et PERRIN C., 2022 : *30 ans de recherche pour la prévention des inondations*, rapport INRAE-DAPP, 11 p.

LAGANIER R. et SCARWELL H.J., 2003 : « Risques hydrologiques et territoires », *in* MORINIAUX V. (dir.), *Les risques*. Éd. Du temps, 256 p.

LANDOT Y., GREMILLET C., SANCHEZ J. et CIZEL O., 2019 : *Compétences GEMAPI : maîtriser les enjeux et les risques liés aux milieux aquatiques et aux inondations*. Éd. Législatives, 671 p.

LEONE F., MESCHINET DE RICHEMOND N. et VINET F., 2010 : *Aléas naturels et gestion des risques*, éd. PUF, 328 p.

LEVEQUE C., 2021 : *Quelles rivières pour demain ? Réflexions sur l'écologie et la restauration des cours d'eau*. Éd. Quae, 287 p.

MAGNAN A., DUVAT V. et GARNIER E., 2012 : Reconstituer les « trajectoires de vulnérabilité » pour penser différemment l'adaptation au changement climatique. *Natures Sciences Sociétés*, 20.

MARTIN B., GIACONA F., FURST B., EDELBLUTTE C., HOLLEVILLE N., WITH L., HEITZ C., GLASER R., HIMMELSBACH I., SCHONBEIN J., BOSEMEIER A., 2017 : La variabilité spatio-temporelle des inondations dans le Fossé rhénan à la lumière de l'évolution de la vulnérabilité. *Vertigo*, 17(1).

MEYNENG P., 2025 : *Inondations, gestion des rivières : nous serions-nous trompés ?*. Communiqué de presse FFAM, 3 p.

MOISSELIN J-M., SCHNEIDER M., CANELLAS C. et MESTRE O., 2002 : Les changements climatiques en France au XX^{ème} siècle. Etude des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitations. *La Météorologie*, 38.

MOULIN C., FAYTRE L. et BAUDUCEAU N., 2017 : Réduire la vulnérabilité des territoires aux inondations : évaluer pour agir. *Sciences Eaux et Territoires*, 23.

NADAULT DE BUFFON B.H. , 1841 : *Des usines sur les cours d'eau, développement sur les lois et règlements qui régissent cette matière*. Paris, Carilian-Goeury et Dalmont.

OBERLIN G., GILARD O., SAUQUET E. et DESBOS E., 1997 : « Le concept de ralentissement dynamique en gestion intégrée des eaux », in FRIEND projects H-5-5 and 1.1, third report, Cemagref éditions, p. 373-380.

PICHARD G. et ROUCAUTE E., 2014 : Sept siècles d'histoire hydroclimatique du Rhône, d'Orange à la mer (1300 – 2000), Climats, crues, inondations, *Méditerranée*, Hors-série.

PLAN RHONE, 2010 : Le Plan Rhône : un projet de Développement Durable.

POTHERAT P., 2024a : Les crues du Nord-Pas-de-Calais de novembre 2023 : leurs liens supposés avec les suppressions des seuils en rivières ?, 12 p.

POTHERAT P., 2024b : *L'intérêt des seuils en rivières dans la lutte contre les inondations.* Résumé, 2 p.

POULARD C., CHASTAN B., ROYET P., DEGOUTTE G., GRELOT F., ERDLENBRUCH K. et NEDELEC Y., 2008 : Prévention des inondations par ralentissement dynamique : principe et recommandations. *Ingénieries Eau-Agriculture-Territoires*, 26.

POUPEE H., 1980 : *Moulins à blé à roue horizontale, localisation en France en 1809*. 105ème Congrès National des Sociétés Savantes, Caen, p. 177-186.

REBOLHO C., 2018 : *Modélisation conceptuelle de l'aléa inondation à l'échelle du bassin-versant*. Thèse, AgroParisTech, 287 p.

REBOLHO C., ANDREASSIAN V., LE MOINE N., 2018 : Inundation mapping based on reach-scale effective geometry. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(11).

REY F., 2018 : *Restaurer les milieux et prévenir les inondations grâce au génie végétal*. Éd. QUAE, 114 p.

REY F., BRETON F., POULARD C., BREIL P. et MERIAUX P., 2018 : Les solutions fondées sur la nature pour accorder la prévention des inondations avec la gestion intégrée des milieux aquatiques. *Sciences Eaux et Territoires*, 26.

RIVALS C., 1984 : Divisions géographiques de la France indiquées par une analyse de l'état des moulins en 1809, *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, 55(3), p. 367-384.

RODE S. et SERVAIN S., 2018 : « L'inondation et ses traces en Loire moyenne. Une patrimonialisation opportune ? », *in* METZGER A. et LINTON J. (dir) : *Quand les eaux montent. Mise en patrimoine des crues et des inondations*. L'Harmattan, 203 p.

ROUX A.L. (dir), 1982 : *Cartographie polythématique appliquée à la gestion écologique des eaux, étude d'un hydrosystème fluvial, le Haut Rhône français*. CNRS Editions, 116 p.

SAUQUET E. et al., 2024 : *Messages et enseignements du projet Explore2*, INRAE et OIEau, 22 p.

TOUCHART L., 2003 : *Hydrologie. Mers, fleuves et lacs*. Armand Colin, 190 p.

UICN COMITE FRANCE, 2019 : *Les solutions fondées sur la nature pour les risques liés à l'eau en France*, 35 p.

Webographie

AGRESTE, 2025 : Sols artificialisés : + 66 % en 40 ans mais un ralentissement depuis 2010, https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/Pri2501/detail/

INRA, 2017 : Sols artificialisés et processus d'artificialisation des sols : déterminants, impacts et leviers d'action, https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/artificialisation-des-sols-resume-francais-8-pages-1.pdf

INRAE, 2024 : Un jumeau numérique de la Terre pour améliorer la prévision et l'alerte aux crues, https://www.inrae.fr/actualites/jumeau-numerique-terre-ameliorer-prevision-lalerte-aux-crues

INRAE, 2024 : Programme de recherches « solutions SfN », https://www.inrae.fr/actualites/france-2030-lancement-du-programme-recherche-solutions-fondees-nature-innover-nature-impacts-positifs-biodiversite-societe-leconomie

MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE LA DECENTRALISATION et MINISTERE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE, DE LA BIODIVERSITE, DE LA FORET, DE LA MER ET DE LA PECHE, 2016 : *Ouvrages hydrauliques, barrages et digues*, Ouvrages hydrauliques, barrages et digues | Ministères Aménagement du territoire Transition écologique

OFFICE FRANÇAIS DE LA BIODIVERSITE, définitions : https://professionels.ofb.fr

PLAN RHONE, réédition 2010 : https://www.plan-rhone.fr/ressources/toutes-les-publications-131/resultats-complets-du-sondage-2022-sur-la-perception-du-risque-inondation-des-riverains-du-rhone-et-de-la-saone-2791.html?cHash=e9c913f3ebac21148e8b836ea3873ccf

POTHIER N., 1998 : *Cours en ligne*, https://ressources.fondation-uved.fr/modules/moduleRisques/__les-risques-naturels-aquatiques_2.1.2(23-04-07)/html/2.html#:~:text=Les%20enjeux%20sont%20li%C3%A9s%20aux,des%20hydrosyst%C3%A8mes%20et%20la%20biodiversit%C3%A9.

ROUSSEAU M. et PANNET P., 2023 : *Audition et compte-rendu du BRGM sur le niveau des nappes*, https://videos.senat.fr/video.3337960_64117ba089856.gestion-de-l-eau--audition-du-bureau-de-recherches-geologiques-et-minieres?timecode=2061000 et https://www.senat.fr/compte-rendu-commissions/20230313/mi_eau.html#toc2

SYNDICAT MIXTE OUVEZE PROVENCALE, 2021 : Culture du risque, Culture du risque - Syndicat Mixte Ouvèze Provençale