



Étude de l'influence des étiages sur la biologie des cours d'eau en Pays de la Loire

Webinaire

Mardi 28 février 2023

Antea Group

Understanding today.
Improving tomorrow.



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



Contexte & Objectifs de l'étude

□ Les objectifs

- Dans ce contexte, la DREAL Pays de la Loire souhaite caractériser, par une **approche statistique et exploratoire**, la **sévérité des étiages** sur le territoire ainsi que **l'impact de ces phénomènes sur la biologie des cours d'eau**.
- Plus précisément, l'objectif de cette étude est de mener une série d'analyses afin de répondre aux questions sous-jacentes identifiées par la DREAL et ses partenaires publiques.
 - *Quelles sont les caractéristiques des étiages sur le territoire ? Quels sont les secteurs les plus touchés ? Y a-t-il une aggravation des étiages en Pays de la Loire ?*
 - *Quel est l'impact de cette hydrologie d'étiage sur l'état écologique des cours d'eau ?*
 - *Quelles sont les caractéristiques des étiages sur les têtes de bassin versant ? Quels sont les principaux facteurs à l'origine des assèchements constatés ? Quel est l'impact de ces assèchements sur le régime hydrologique observé plus en aval sur les bassins versants ?*

□ Caractéristiques de l'étude

- Étude structurée autour de 3 phases complémentaires
- Calendrier : Étude sur 2 années [2020 – 2022]
- Maîtrise d'ouvrage : DREAL Pays de la Loire et appui technique de l'OFB et de l'AEBL
- Maîtrise d'œuvre : ANTEA Group et SARL RIVE (Phase 2) de l'étude



Présentation des intervenants



Tristan Bourgeois

**Ingénieur Hydrologie & GIRE
Direction de la Recherche et de
l'Innovation**

ANTEA Group



Michel Bacchi

**Docteur en hydrobiologie
Professeur Associé Polytech
TOURS**

Gérant de la SARL RIVE



Une étude structurée en **3 phases** :



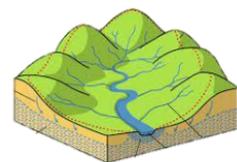
PHASE 1 : État des lieux de l'hydrologie régionale et diagnostic des étiages

- ✓ Calcul d'indicateurs hydrologique et caractérisation mésologique du territoire
- ✓ Sectorisation statistique du territoire et sélection d'un échantillon de BV
- ✓ Analyse détaillée de l'hydrologie d'étiage sur cet échantillon



PHASE 2 : Analyse de la sensibilité des indicateurs d'état écologique vis-à-vis de l'hydrologie d'étiage

- ✓ Analyse de la littérature scientifique.
- ✓ Étude statistique des relations entre hydrologie d'étiage et indicateurs biologiques



PHASE 3 : Analyse du comportement des têtes de bassin versant

- ✓ Identification de 6 secteurs de tête de bassin
- ✓ Élaboration d'un protocole de terrain ad hoc
- ✓ Analyse des données et caractérisation du fonctionnement des T2BV





Phase 1 : État des lieux de l'hydrologie régionale & Diagnostic de la sévérité des étiages



Amélioration des connaissances sur les d'étiages et établir un diagnostic régional par une caractérisation statistique de ces phénomènes.



ÉTAT DES LIEUX SYNTHÉTIQUE DU TERRITOIRE :

- Identification et analyse des facteurs de contrôle physiques et des variables de pression traduisant la **diversité des contextes** sur le périmètre régional.



CARACTÉRISATION DE L'HYDROLOGIE RÉGIONALE

- Calcul **d'indicateurs hydrologiques synthétiques** (et mobilisables dans les autres phases de l'étude)
- Mise en place de **méthodes exploratoires** pour caractériser la **notion de « sévérité »** des phénomènes d'étiages

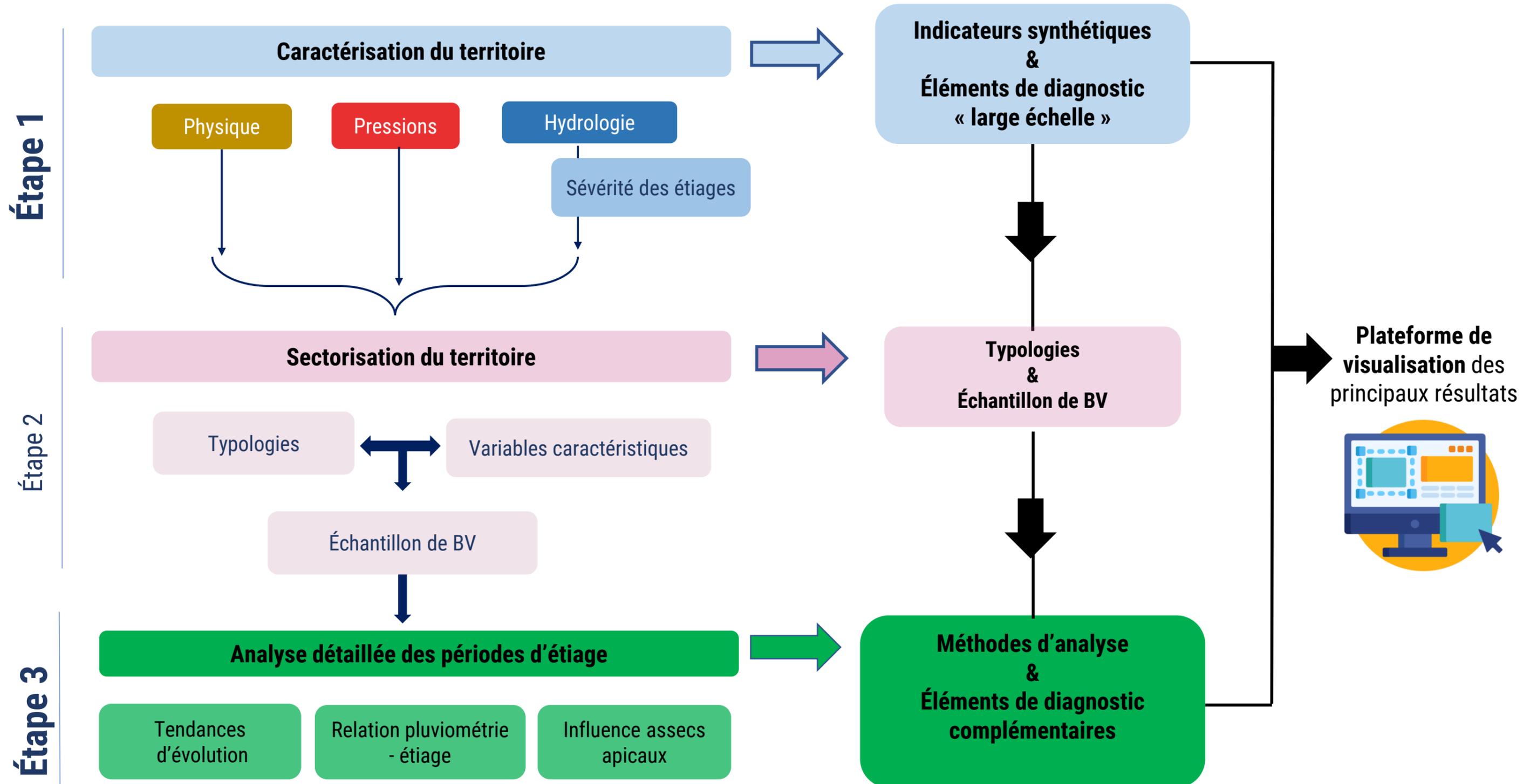


ANALYSE DÉTAILLÉE DES PÉRIODES D'ÉTIAGE :

- Caractériser **l'évolution de l'hydrologie d'étiage** et des principaux paramètres climatiques.
- Analyser les **relations entre pluviométrie et hydrologie d'étiage**

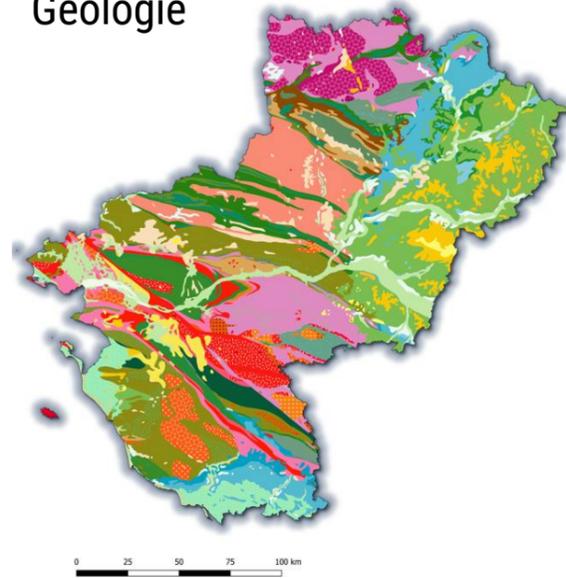


Trois étapes de traitement et d'analyse complémentaires

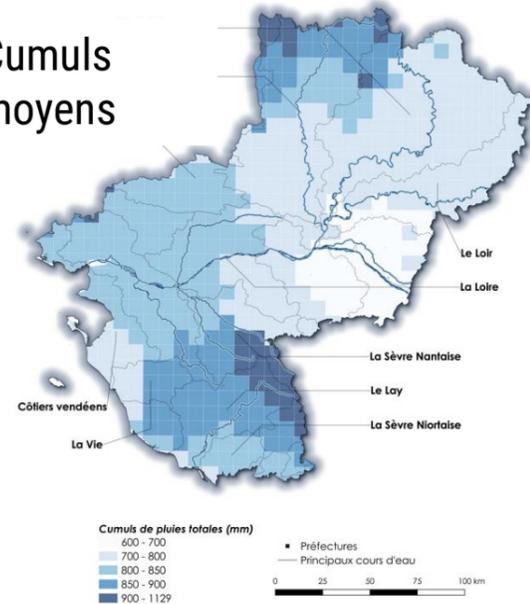


Contexte physique

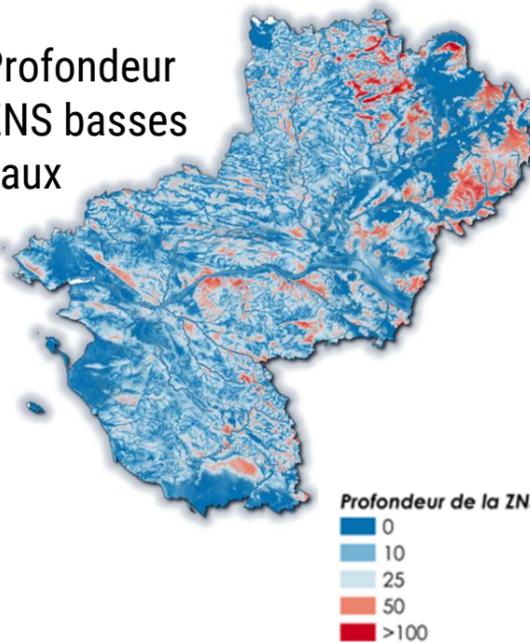
Géologie



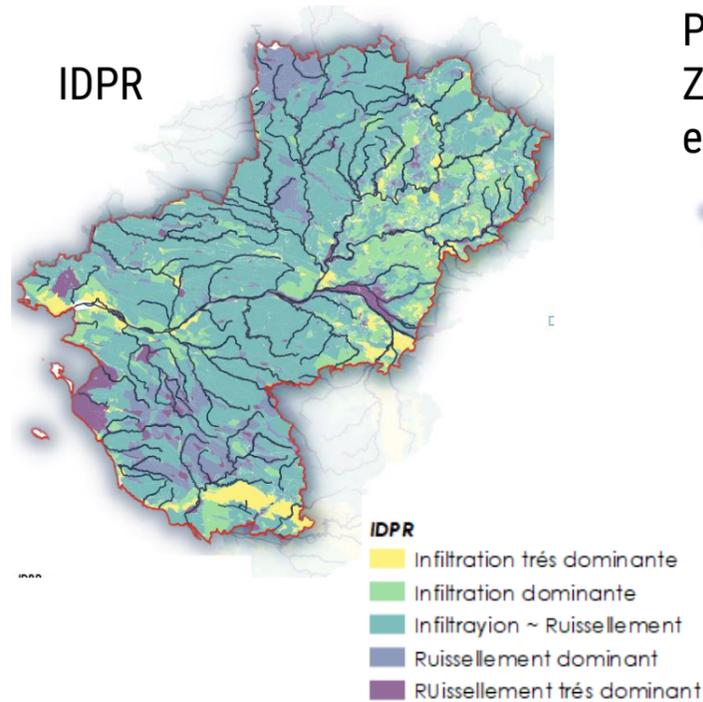
Cumuls moyens



Profondeur ZNS basses eaux

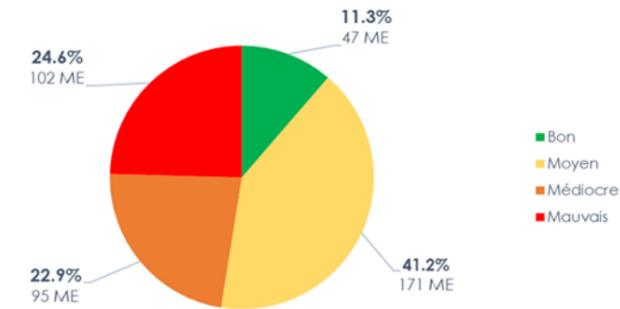


IDPR



État écologique et Pressions

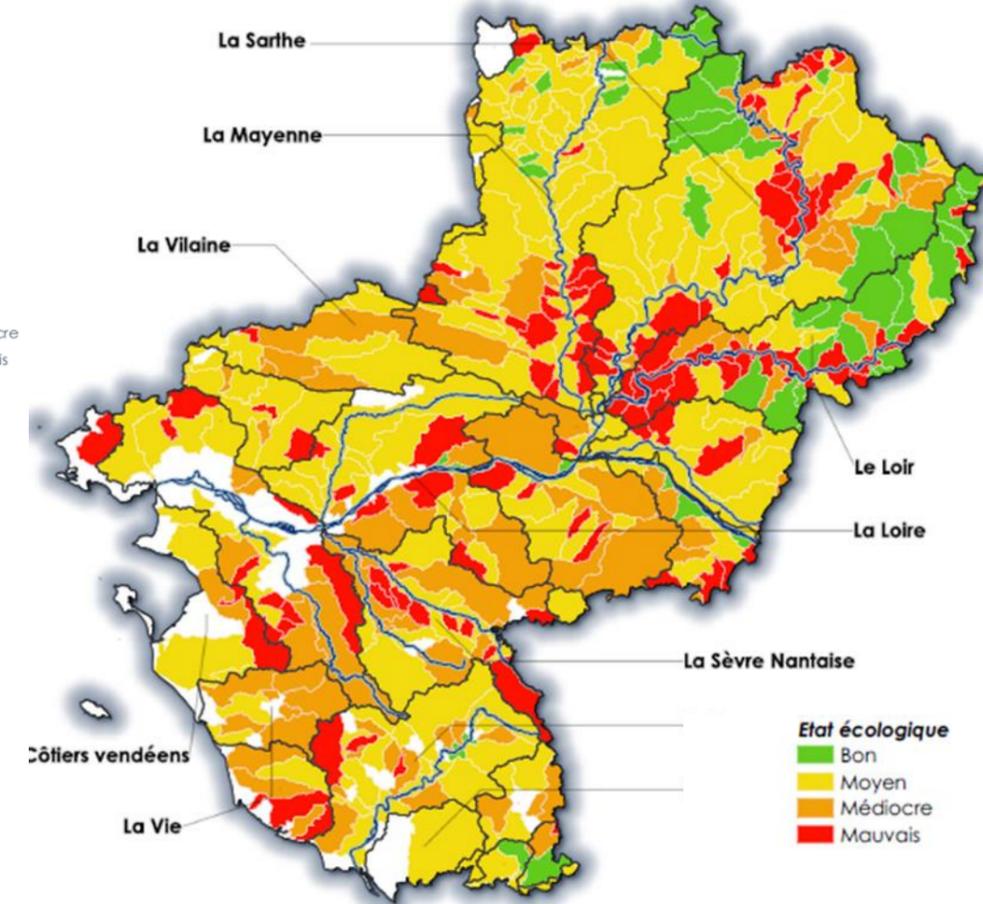
Seulement 11 % des ME en bon état (Nord-Est)



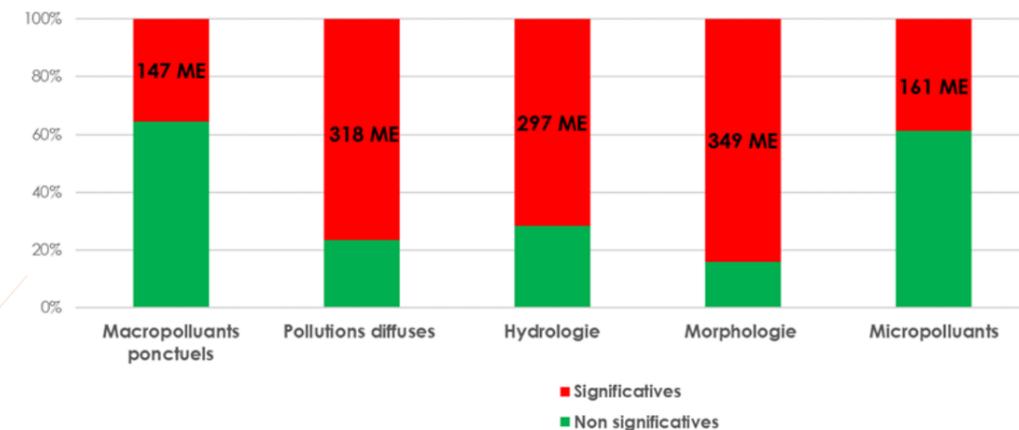
Contexte multipression marqué sur la partie sud Loire

- 3 pressions dominantes :
 - Morphologie
 - Pollution diffuse
 - Hydrologie

Sur l'hydrologie, les pressions principales sont liées aux **prélèvements associés aux usages de l'eau** (+ 6000 points) et à **l'interception des flux par les plans d'eau** (+ 40 000 plans d'eau)

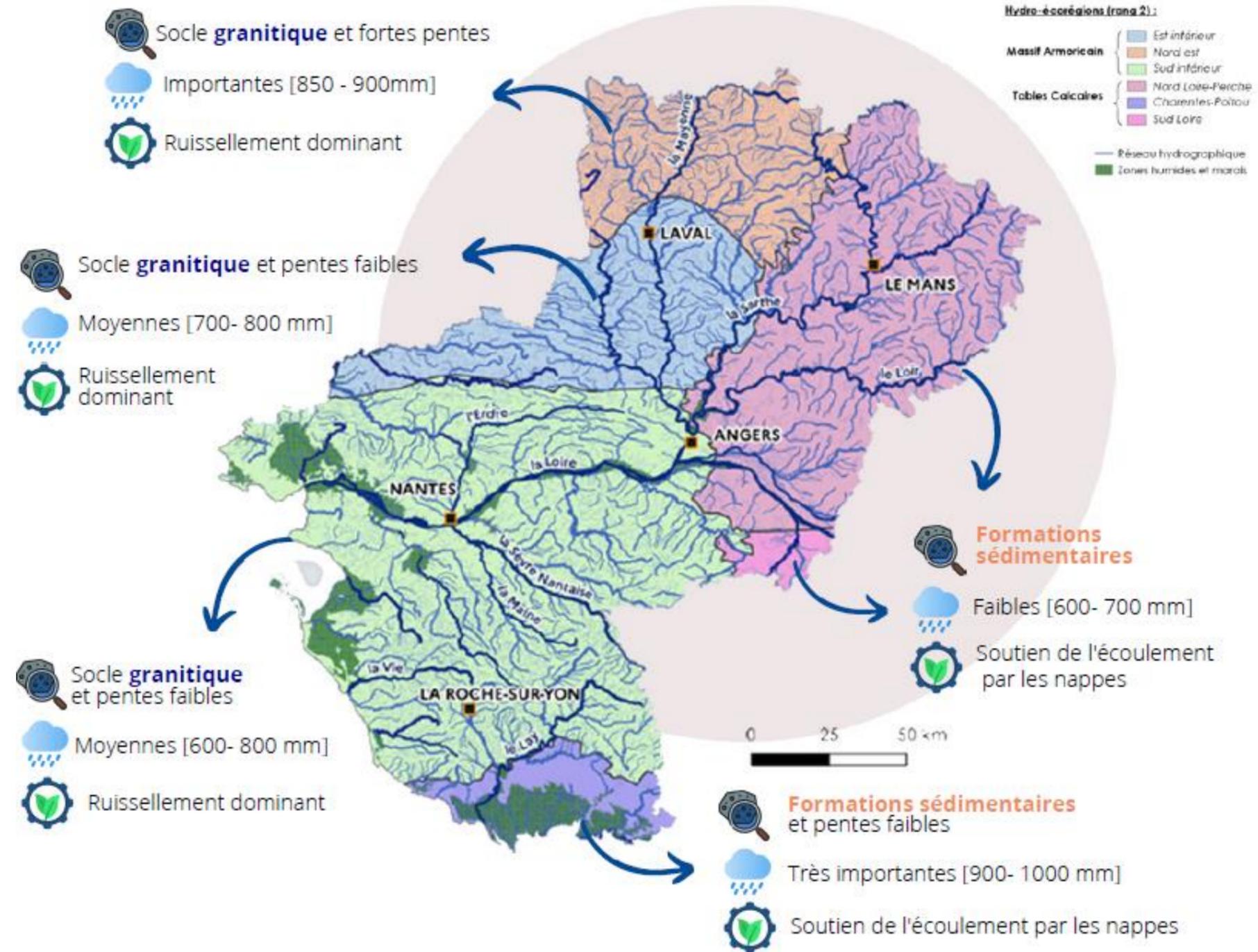


Répartition des pressions (Niveau 1) sur les masses d'eau du territoire



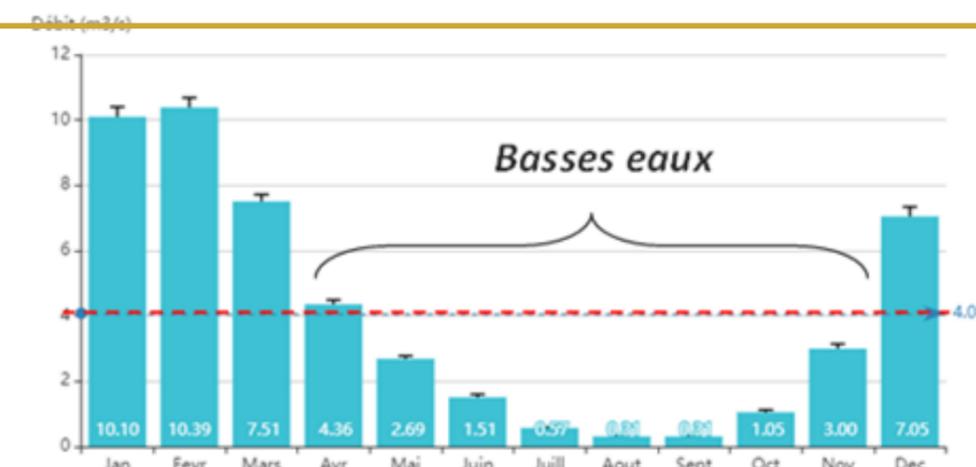
Un territoire de contrastes

- La région Pays de la Loire est à la croisée de **3 grands ensembles géologiques** : les Bassins Armoricaux, parisiens et aquitains.
- Le climat est **océanique / océanique dégradé** avec gradient Nord Ouest - Sud Est marqué sur les cumuls précipités et évaporés. Les régimes hydrologiques sont conditionnés par ces variables climatiques.
- Le **contexte hydrogéologique** varie également sur le territoire avec des secteurs principalement **sédimentaires** sur lesquels les **nappes soutiennent les écoulements** (Sarthe, Loir, Aubance). À l'inverse, les **secteurs de socle** (bassin Armoricaux) sont globalement caractérisés par une **prédominance du ruissellement**.
- L'hydrologie est globalement soumise à **un niveau de pression élevée** (pressions cumulées), notamment sur la partie sud Loire du territoire. A l'inverse, les secteurs préservés (bon état écologique) sont localisés sur le quart Nord Est de la région (Sarthe amont, Loir)



□ Hydrologie : Caractérisation des régimes hydrologiques

- Le régime hydrologique d'un cours d'eau résume l'ensemble des variations de l'état et des caractéristiques d'un hydrosystème qui se répètent régulièrement dans le temps et l'espace et passent par des variations cycliques (saisonniers).
- Se définit par les variations de son débit habituellement représentées par le graphique de **l'écoulement mensuel moyen** (calculé sur un certain nombre d'années et aussi appelé débit "inter-mensuel" ou module mensuel).

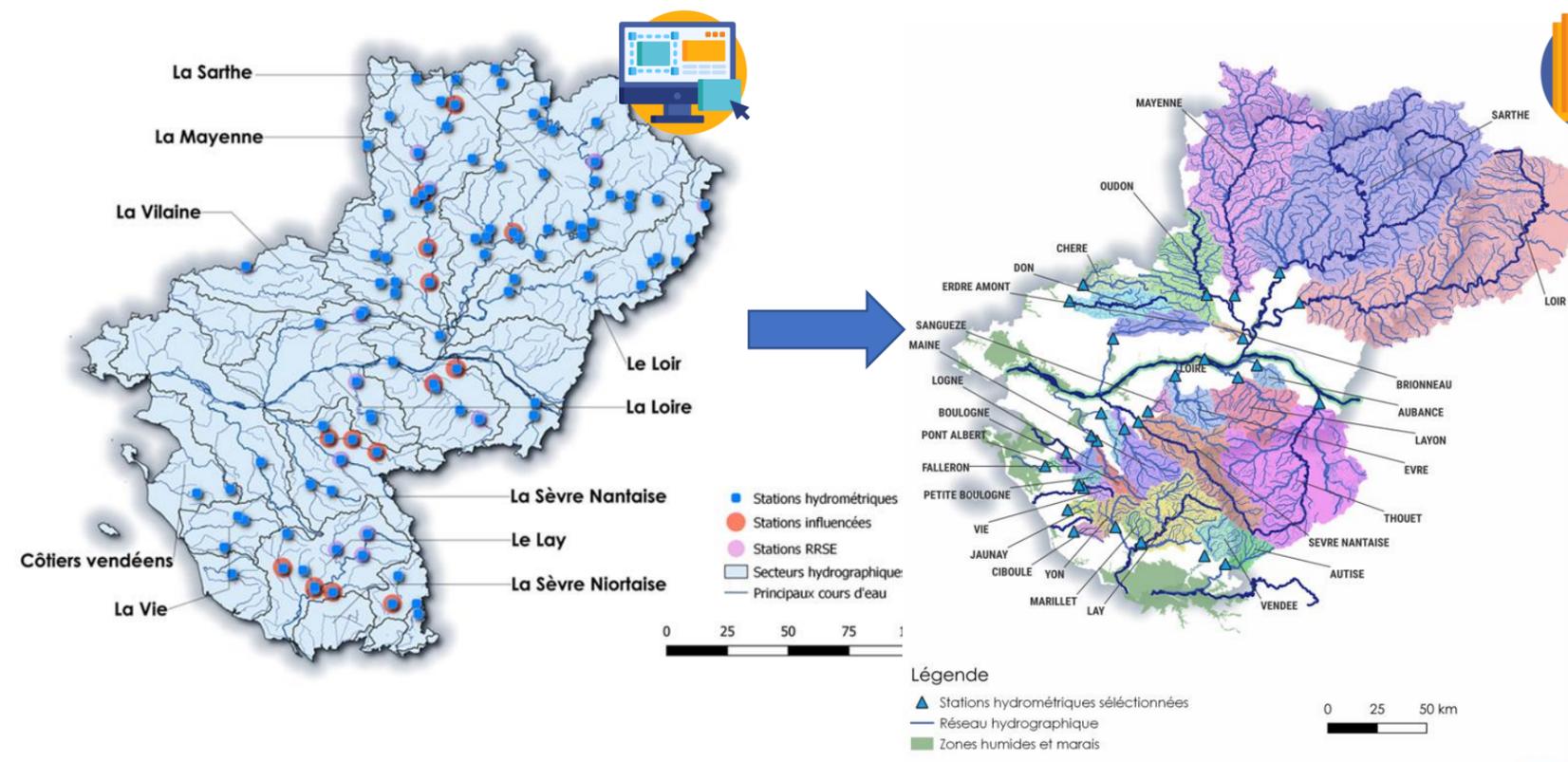


i **Le débit spécifique** correspond à la valeur de l'indicateur hydrologique (QA, QMM) ramenée à la surface de son bassin versant et exprimé en l/s/km². Permet la comparaison entre plusieurs bassins.



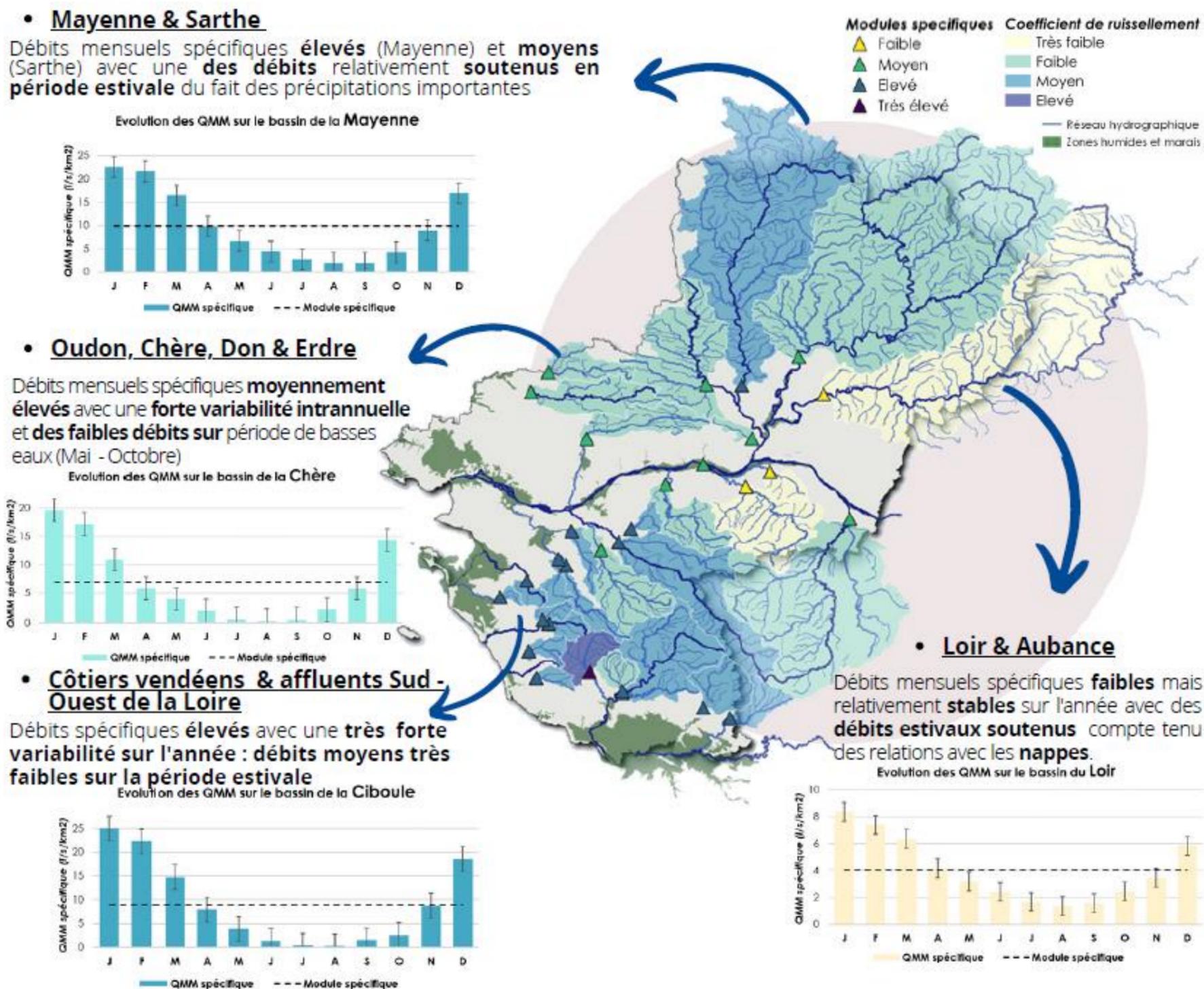
Sur le territoire d'étude

- Les régimes hydrologiques ont été étudiés sur un échantillon de **111 stations hydrométriques** avec des chroniques robustes et complètes (≥ 10 années). Cet échantillon représente environ **60 % des stations recensées sur le territoire** (178 stations au 24/02/2021).
- Zones blanches** (bassins peu / pas instrumentés : Authion, marais, zones d'influence de la marée...)
- 30 stations hydrométriques intégratrices** des grands hydrosystèmes (exutoire) sont sélectionnées pour présenter les principaux résultats de l'étude



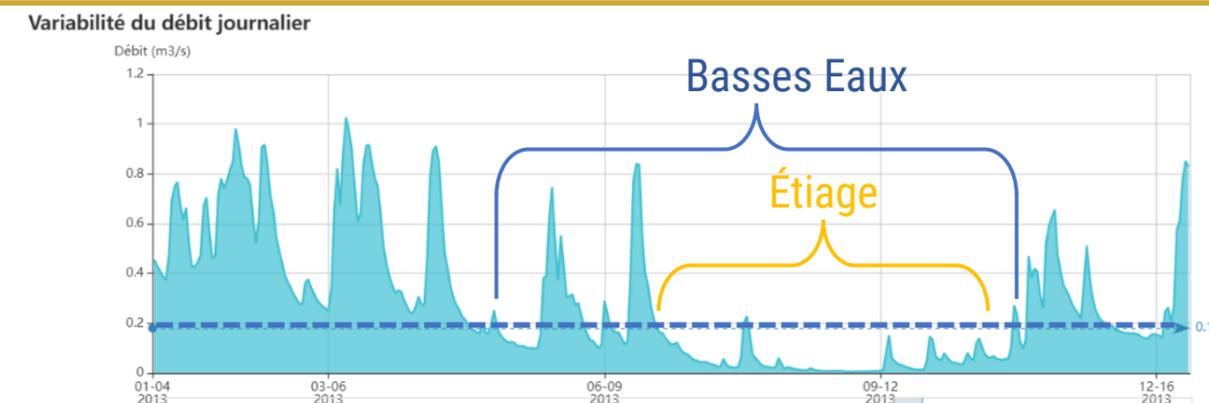
Une variabilité intra-annuelle des régimes hydrologiques marquée selon les secteurs

- Les cours d'eau de la région sont caractérisés par un **régime hydrologique pluvial - océanique**.
- La **variabilité des régimes hydrologiques** au sein du territoire s'explique par la nature des sous-sols, la variabilité du climat, les processus physiques à la base de l'écoulement et l'intensité des pressions anthropiques.
- La période de basses eaux débute sur les mois d'avril et de mai avec une durée comprise entre 6 et 8 mois. Cette période est globalement plus courte et tardive sur les bassins situés au nord du territoire.
- On distingue de manière **générale les secteurs arrosés** sur lesquels les débits moyens, alimentés par le ruissellement des eaux de pluie, sont importants, mais très variables dans l'année (hautes eaux / basses eaux) et des secteurs **moins arrosés** sur lesquels l'infiltration domine.
- Sur ces bassins (Sarthe, Loir), les régimes hydrologiques sont moins importants, mais plus stables sur l'année, car soutenus par les nappes.



□ Hydrologie d'étiage : Caractérisation de la sévérité des phénomènes

- **L'étiage** est une exacerbation des basses eaux (Dacharry, 1996) et fait référence à la période durant laquelle les débits sont les plus faibles sur l'année. L'étiage correspond ainsi à un phénomène **naturel** ou un état pouvant être qualifié **d'extrême** ou d'anomalie par rapport à une situation « normale » de basses eaux.
- De manière générale, ce sont des **phénomènes naturellement engendrés** par des **déficits pluviométriques** (épisodes de sécheresse météorologiques) à dynamique lente.
- Leur **sévérité** ainsi que leur **temporalité** peuvent être modifiées par les **pressions anthropiques** (prélèvements, interception des flux, rejets, etc..)
- Ce phénomène est difficile à caractériser, car il n'existe pas de règles établies : plusieurs méthodes **simples / complexes** peuvent être utilisées



Méthodes de caractérisation de l'étiage



Intensité des étiages

- Méthode simple basée sur le rapport entre deux indicateurs hydrologiques de base : la QMNA (Débit Mensuel Minimal Annuel) et le QMA (Débit Moyen Annuel)
- Permet d'évaluer l'intensité de la variation du débit lors de l'étiage par rapport au débit moyen de l'année



Sévérité : méthode des seuils

- Méthode plus complexe basée sur la définition de **débits seuils** d'étiage (C. Lang) reflétant différents niveaux de sévérité.
- Permet de prendre en compte la durée et la fréquence d'occurrence des épisodes à différentes échelles temporelles
- **Méthode d'analyse des résultats exploratoire** est proposée pour caractériser la **sévérité** et la **dynamique des étiages**



Relation entre pluviométrie et débit d'étiage

- Caractérisation de l'évolution des débits en l'absence de précipitations
- Méthode d'analyse de la phase de **récession** (C. Catalogne) donne des indicateurs sur le **temps de vidange** des hydrosystèmes et leurs propriétés de **résilience** face à la sécheresse



Analyse des tendances d'évolution

- Analyse des tendances d'évolution des indicateurs d'étiages annuels permet de caractériser **l'intensification du phénomène** (QMNA, indice d'intensité, VCN) et d'évolution temporelle (date d'entrée en VCN)
- Analyse de tendance de certains **paramètres climatiques** (épisodes de sécheresse) apporte des informations complémentaires

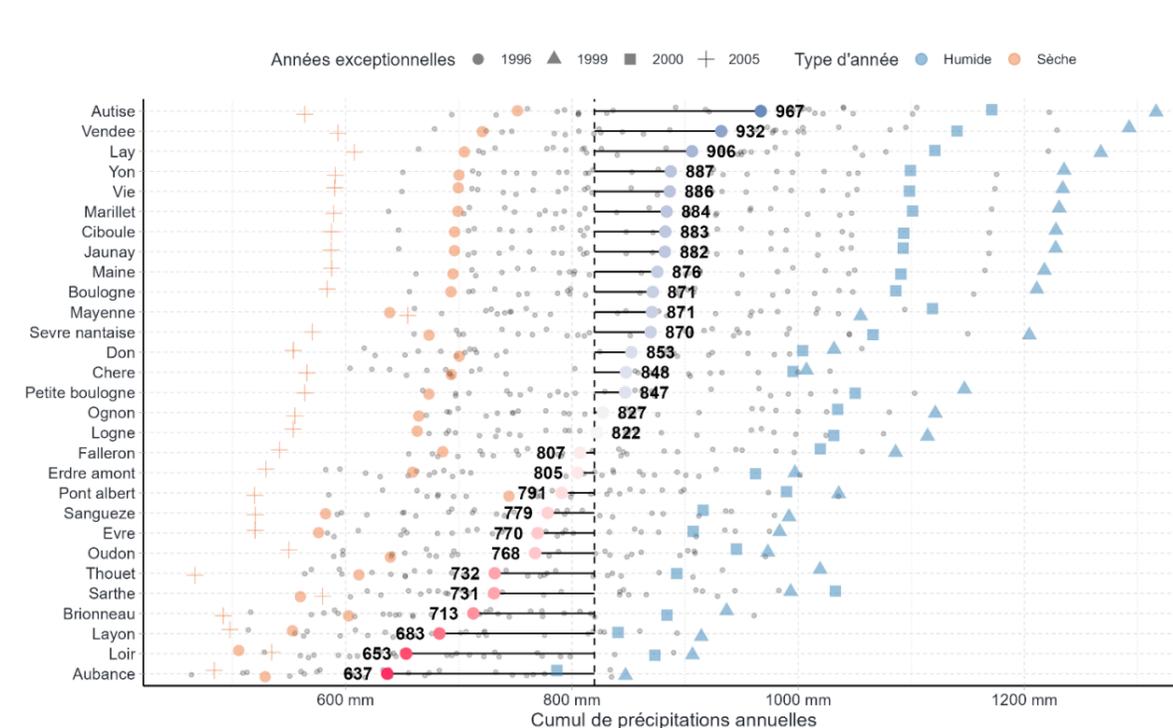
□ Tendances d'évolution des indicateurs d'étiage

- Caractériser l'évolution des principaux **paramètres climatiques** (pluie, évapotranspiration) et **hydrologiques** (régime hydrologique, indicateurs d'étiages) sur les **30 dernières années** [1990 - 2020] à l'échelle des **grands hydrosystèmes** du territoire.
- Deux étapes : **1) Distribution des indicateurs annuels & 2) Analyse des tendances d'évolution**
- Temporalité des étiages : Analyse des dates d'entrée en VCN

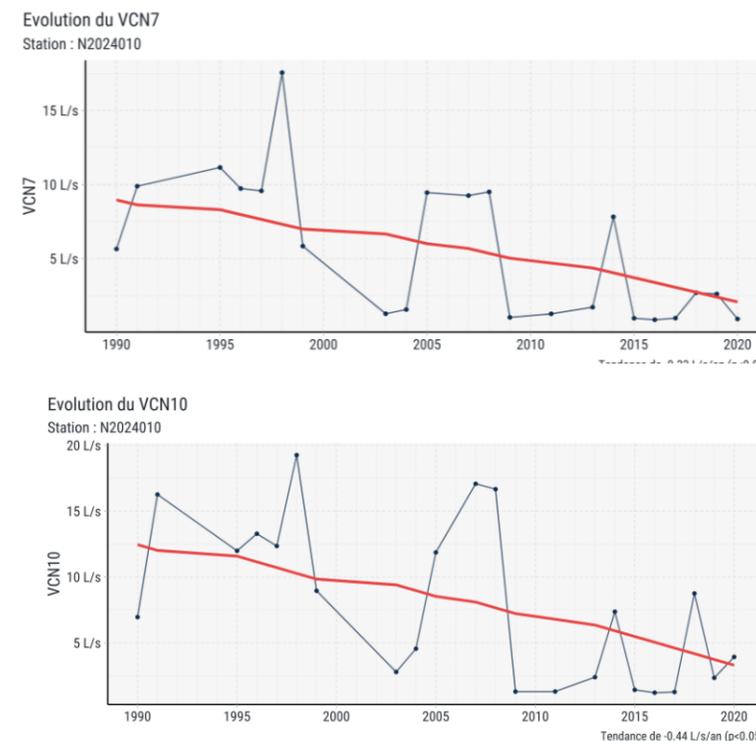
i **Les tendances d'évolution** sont calculées sur une période de 30 ans à l'aide du test de Mann-Kendall et exprimées en évolution relative (%) par décennie.

📈 Exemples de résultats

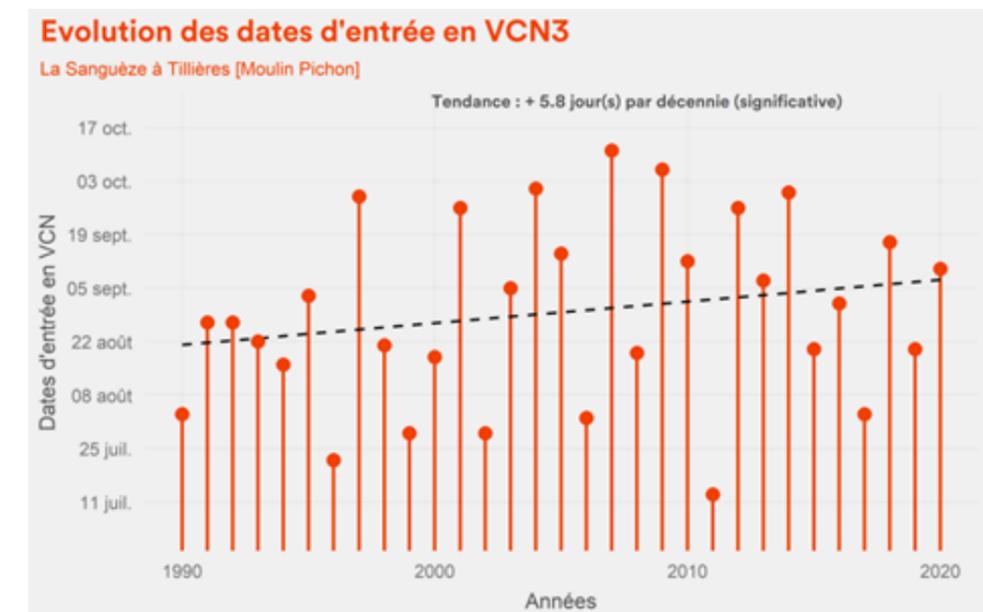
1) Analyse de la distribution (cumuls annuels de pluies)



2) Analyse des tendances d'évolution (VCN3, VCN10)



3) Analyse des dates d'entrée en VCN



- L'analyse globale des résultats fait ressortir des tendances d'évolution significatives sur la fréquence des **épisodes de sécheresse météorologiques** sur les bassins du **quart sud-ouest** et une **diminution des débits d'étiages** (QMNA, VCN) sur ces secteurs.
- Les dates d'entrée en VCN affichent un décalage des pics d'étiage (très faibles débits) notamment sur les côtiers vendéens et variables en fonction des bassins

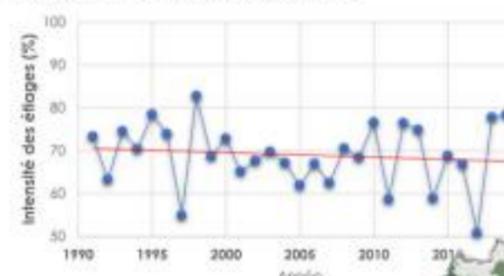
Un gradient d'intensité des étiages Nord – Est / Sud-Ouest

- Les **étiages les plus intenses** sont localisés sur la **frange ouest du territoire** avec un gradient de sévérité Nord - Sud.
- Les secteurs concernés sont situés sur des **zones de socle** où le ruissellement domine et soumis à de fortes pressions anthropiques.
- Certains secteurs (Falleron, Ciboule, Sanguèze) affichent des **tendances à la baisse** des débits caractéristiques d'étiages :
 - Jusqu'à - 40 % sur les QMNA (Falleron)
 - Jusqu'à -50 % pour les VCN3 et 10 (Ciboule), et - 20 % pour la Sanguèze (VCN10 et 30) et la Logne (VCN30)
- Une augmentation du **nombre d'épisodes de sécheresse météorologique** (liée aux cumuls de pluies) est également observée sur ces secteurs.

• Mayenne, Sarthe et Loir

Des **étiages globalement peu intenses** et soutenus par un bilan hydrique positif lié à la **des cumuls de pluies importants sur l'amont** de la Mayenne et au **soutien des débits par les nappes** sur le Loir et la Sarthe. Ces secteurs sont soumis à un niveau de pression relativement faible sur l'hydrologie.

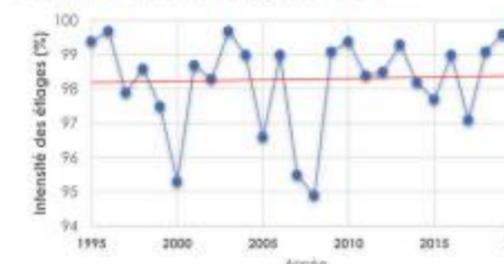
Evolution de l'intensité des étiages sur le Loir



• Oudon, Chère, Don & Erdre amont

Des **étiages intenses voire très intenses** (Don)

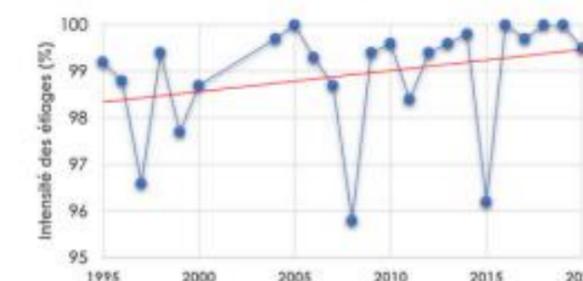
Evolution de l'intensité des étiages sur le Don



• Côtiers vendéens & affluents Sud Ouest de la Loire

Des étiages **très intenses voire extrêmes** engendrés par un niveau de pression élevé et des épisodes de sécheresses météorologiques qui ont tendance à s'accroître sur certains secteurs.

Evolution de l'intensité des étiages sur le Falleron

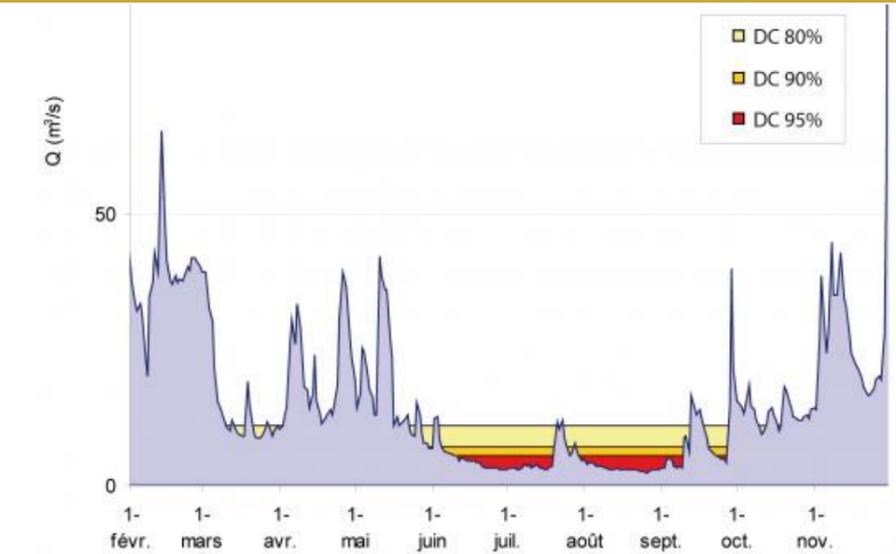


Intensité des étiages

C'est le rapport inverse entre le débit minimum mensuel annuel (QMNA) et le débit moyen de chaque année (QMA).

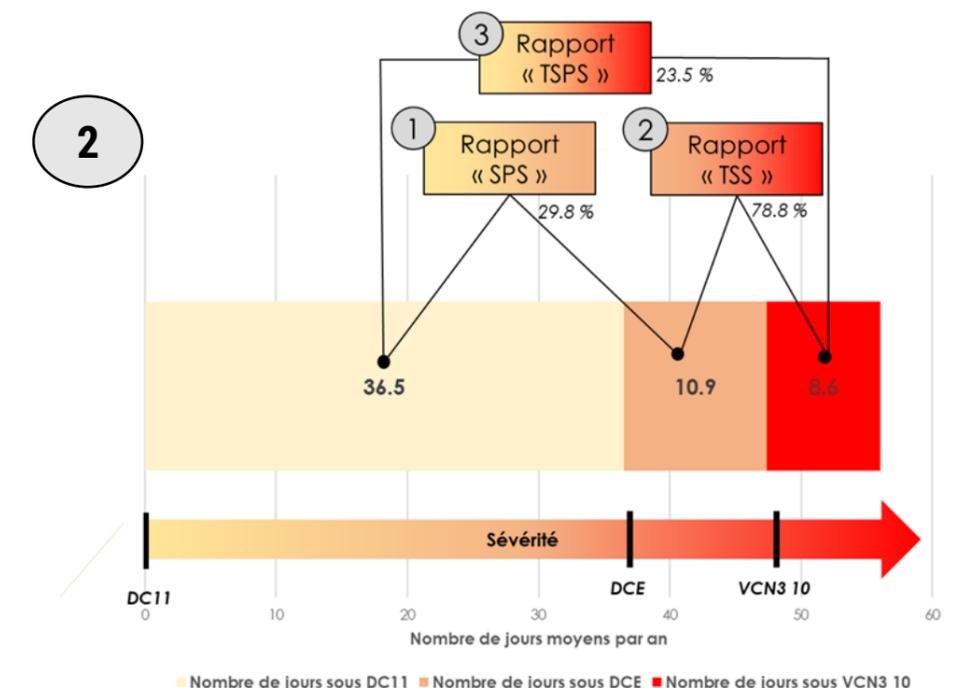
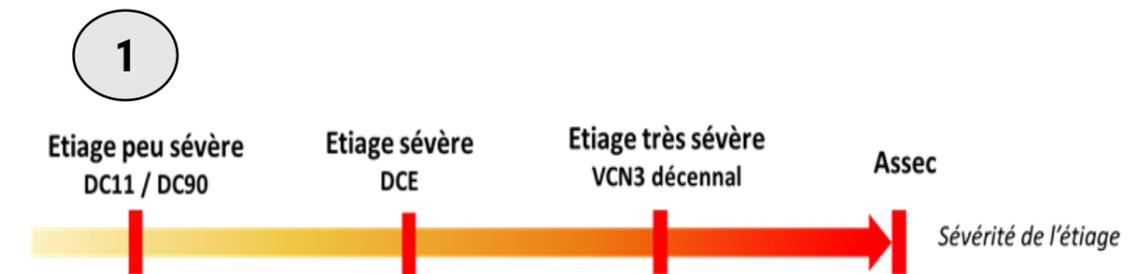
Hydrologie d'étiage : Caractérisation de la sévérité du phénomène

- Afin de caractériser ce phénomène de manière complète et approcher une notion de **sévérité**, l'étiage doit donc être appréhendé en fonction des **niveaux** atteints, mais également en termes de **processus** et de **durée**. Une situation d'étiage avec de bas débits sur une très longue période peut en effet être plus préjudiciable que des débits très bas sur une courte durée (C. Lang, 2011).
- C'est une méthode souvent utilisée en hydrologie pour caractériser les étiages.



La méthode des seuils

- L'approche retenue se base sur la méthode de C. Lang (2011) qui utilise **3 seuils de sévérité** progressive définis à partir de **2 méthodes de traitements** :
 - **Étiage peu sévère : DC11** (franchi 30 jours /an)
 - **Étiage sévère : DCE** (franchi 10 jours /an)
 - **Étiage très sévère : VCN3 décennal** (débit minimum sur 3 jours consécutifs observé tous les 10 ans)
- Un indicateur** est extrait de l'analyse des chroniques de débits journaliers vis-à-vis de ces seuils : **le nombre de jours moyens annuels de franchissement** des 3 seuils qui intègre à la fois les notions de fréquence et de durée relatives à chaque niveau de sévérité analysé.
- Des rapports entre les **nombre de jours moyens** associés au **franchissement des 3 seuils de sévérité** sont ensuite calculés afin de quantifier l'importance et représenter la **dynamique** de chaque niveau de sévérité dans le phénomène d'étiage



Hydrologie d'étiage : Caractérisation de la sévérité du phénomène

- 7 typologies de « sévérité / dynamique » sont proposées à partir de la distribution des rapports de franchissements de seuils.
- Ces typologies permettent de distinguer 2 types de dynamique sur le territoire :

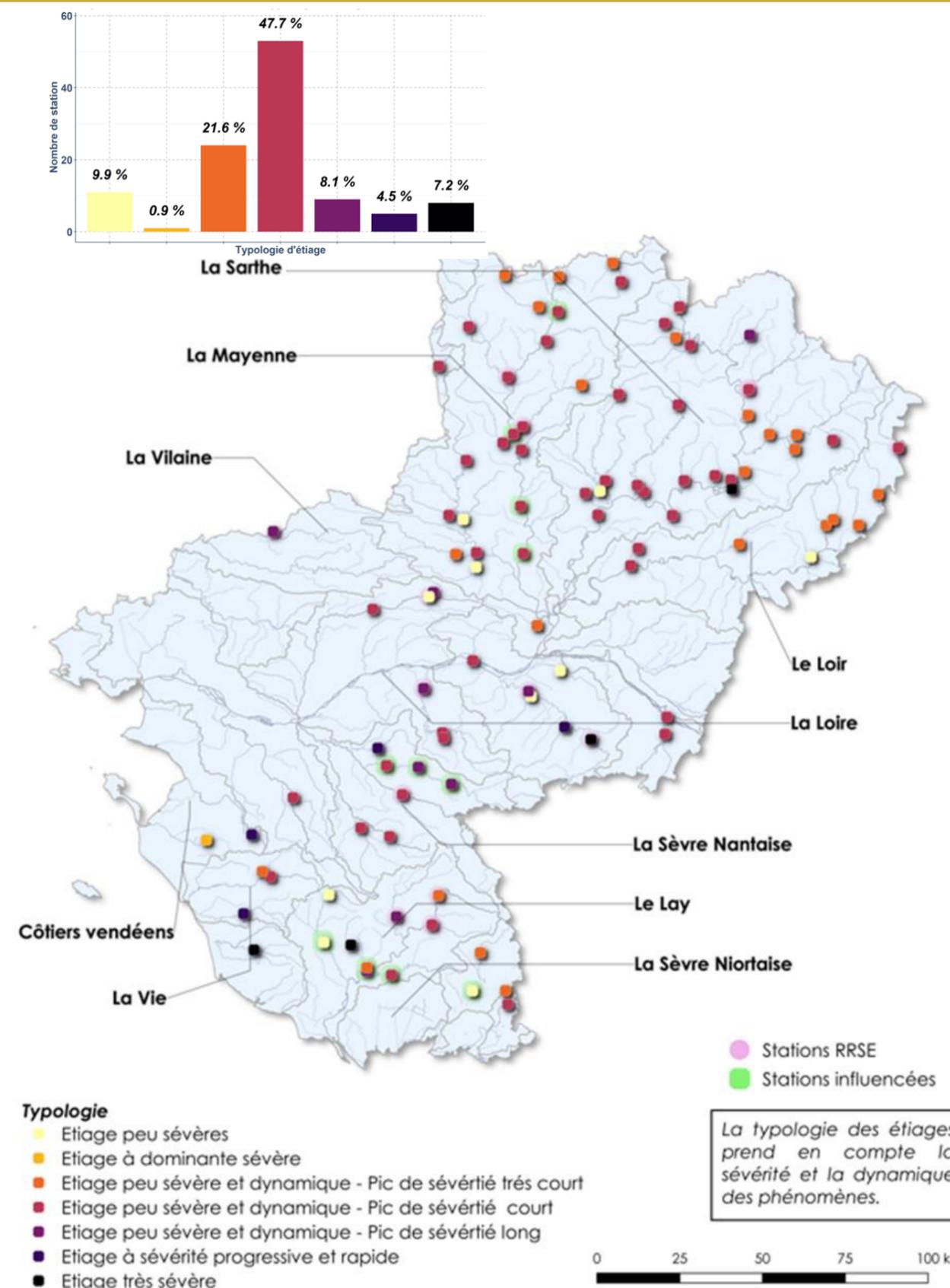
Étiages en 2 temps qui évoluent vers des niveaux de sévérité variables

- Peu sévères (Erdre amont, Loir, Vaige, Yon amont) + BV influencés (Yon, Vendée)
- Dominante sévère (Pont Albert / Grand Étier)
- Très sévère (Rhonne, Ciboule, Marillet)

Étiages en 3 temps à dynamique progressive (pic de sévérité à durée variable)

- Pic sévérité très court (Mayenne et Sarthe amont, Brionneau, Verzée, affluents Loir)
- Pic sévérité court (50 % des stations)
- Dynamique rapide vers sévérité maximale (Lys, Sanguèze, Falleron, Jaunay, Tusson)

Typologie	Définition
Etiages peu sévères	Le seuil de sévérité (DCE) est franchi sur une durée < 50 % de la durée de l'épisode. Le seuil de sévérité supérieur (VCN3dec) n'est jamais franchi.
Etiage à dominante sévère	Le seuil de sévérité (DCE) est franchi sur une durée > 50 % de la durée de l'épisode. Le seuil de sévérité supérieur (VCN3dec) n'est jamais franchi.
Etiage à sévérité progressive : Pic de sévérité très court	L'étiage est globalement peu sévère. Lorsque le 1 ^{er} seuil de sévérité est franchi (DCE) l'étiage ne devient très sévère que sur une très courte durée (< 10%).
Etiage à sévérité progressive : Pic de sévérité court	L'étiage est globalement peu sévère. Lorsque le DCE est franchi, l'étiage atteint un niveau de sévérité élevé sur une durée plus importante (10% > durée < 50%).
Etiage à sévérité progressive : Pic de sévérité long	L'étiage est globalement peu sévère). Le DCE est franchi sur une durée < 30 % de la durée de l'épisode. Après le franchissement du DCE, l'étiage est très sévère sur la majorité de la durée (> 50%). La durée de franchissement du seuil de sévérité maximale peut représenter jusqu'à 25 % de la durée de l'étiage ;
Etiage sévère à dynamique rapide	L'étiage est majoritairement sévère (25 % < durée < 50%) et évolue très rapidement vers le niveau de sévérité maximal (DCE <= VCN3 dec)
Etiage très sévère	Le seuil de sévérité maximal est franchi sur plus de 50 % de la durée moyenne de l'épisode.



❑ Hydrologie d'étiage : Relation entre pluviométrie et débits d'étiages

- Les étiages sont naturellement engendrés par des épisodes de sécheresse météorologique. En l'absence de pluies, les caractéristiques physiques d'un hydrosystème (géologie, hydrogéologie) vont conditionner sa résilience à la sécheresse.



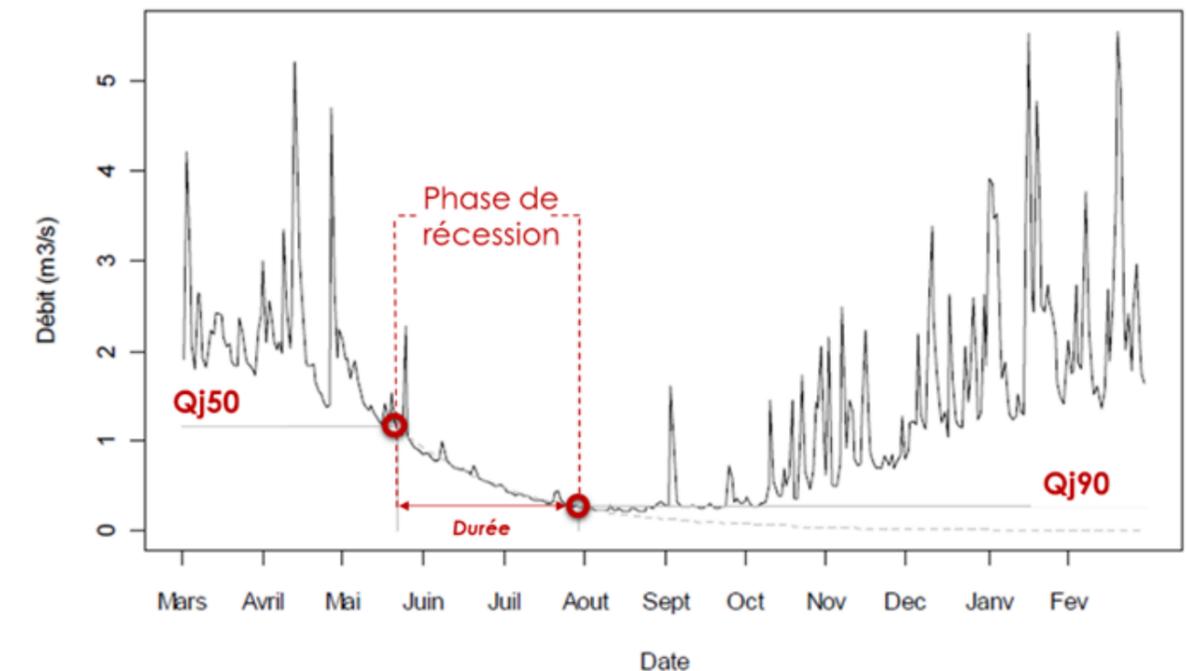
La méthode d'analyse de la courbe de récession (C. Catalogne)

- La **phase de récession** correspond à la **période de décrue** (*infiltration dans la zone non saturée*) d'un cours d'eau en l'**absence de précipitations** puis de **tarissement** quand le cours d'eau n'est plus alimenté que par la vidange des aquifères souterrains. Cette phase permet de caractériser la **vidange des réservoirs** présents au sein du bassin versant.
- La méthode est basée sur l'**hydrogramme des débits moyens journaliers interannuels**.
- La période de récession est déterminée à partir des deux points :
 - **Début de la récession** représenté par le **débit interannuel médian (Qj50)** qui traduit le début des basses eaux.
 - Fin de la récession lors du premier franchissement du **Qj90** (DCE)
- Deux indicateurs extraits de l'analyse de la courbe :
 - **Le coefficient de récession (α)** = constante de récession qui permet de distinguer les **bassins résilients** (α faibles) des **bassins sensibles** à la sécheresse (α élevés)
 - **Le temps de demi-vie** qui indique la durée nécessaire pour parcourir la moitié de la pente ~ **vitesse de vidange** des réservoirs / stocks d'eau naturels



La sécheresse « météorologique » correspond à un déficit prononcé et prolongé de précipitations

La sécheresse « hydrologique » est une conséquence de l'absence de pluie et associée, par définition, à l'étiage.



C.Catalogne,2012 (modifié)

□ Hydrologie d'étiage : Relation entre pluviométrie et débits d'étiage

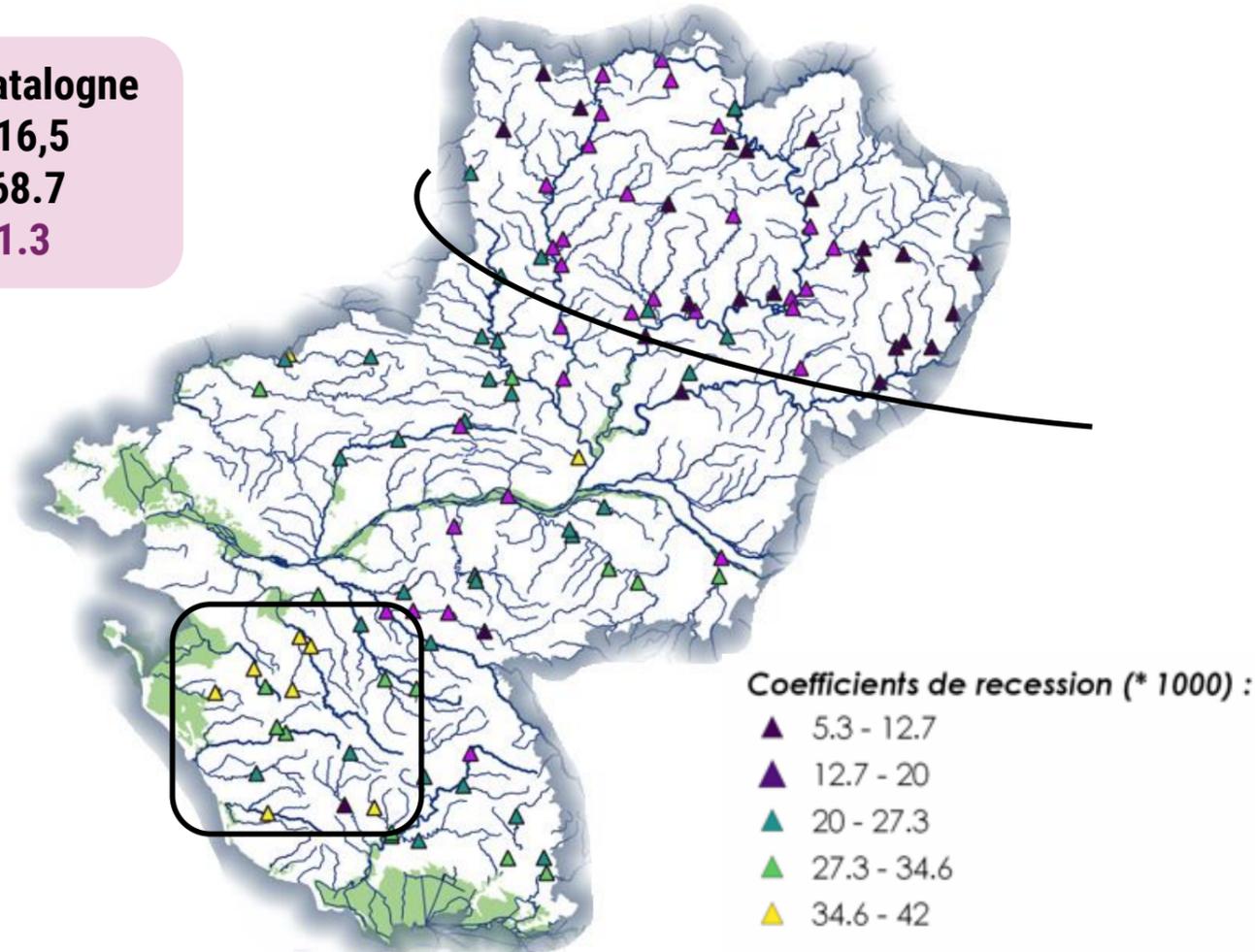
Coefficient de récession (α)

Thèse C. Catalogne

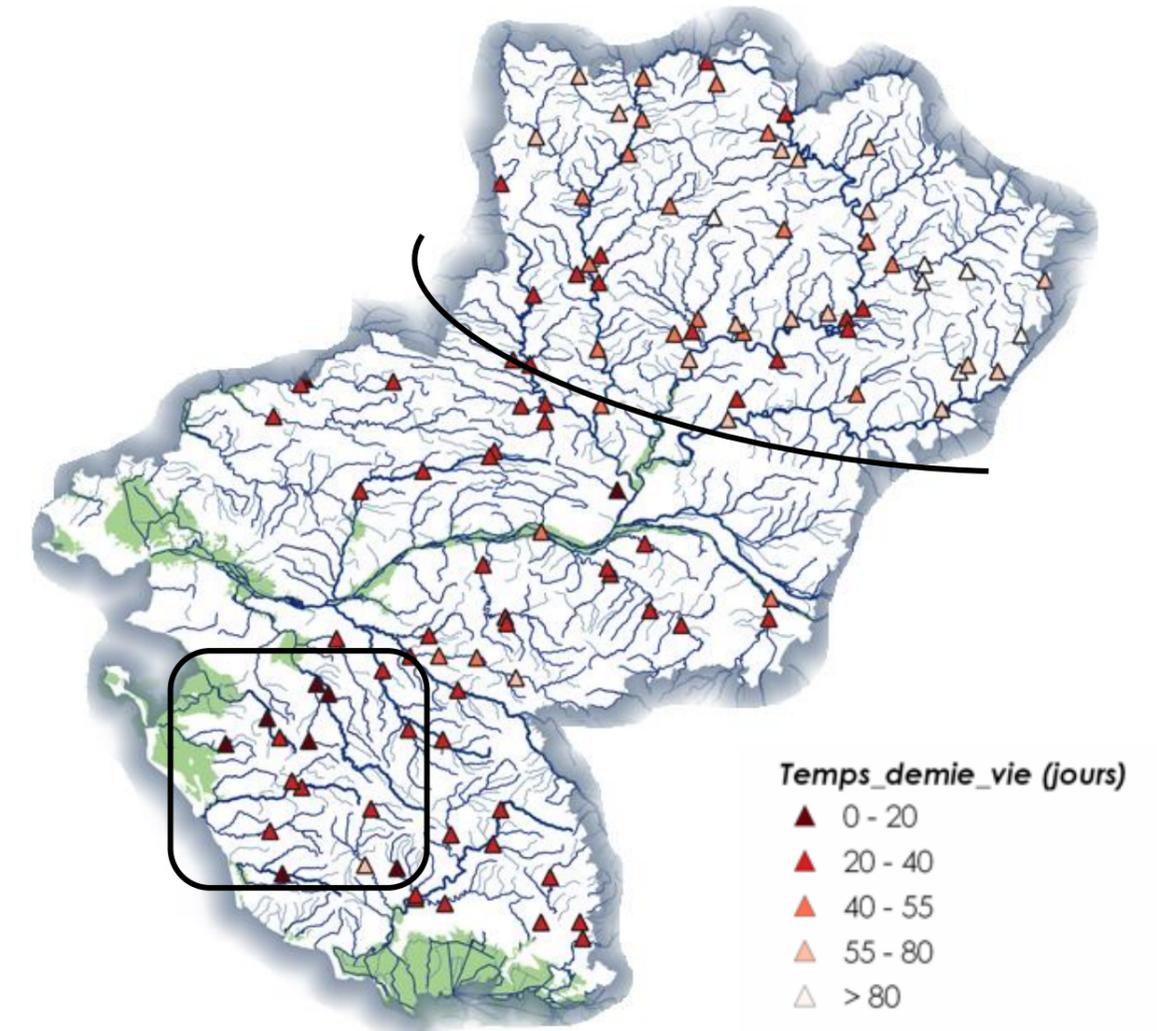
Moy. = 16,5

Max. : 68.7

Min. : 1.3

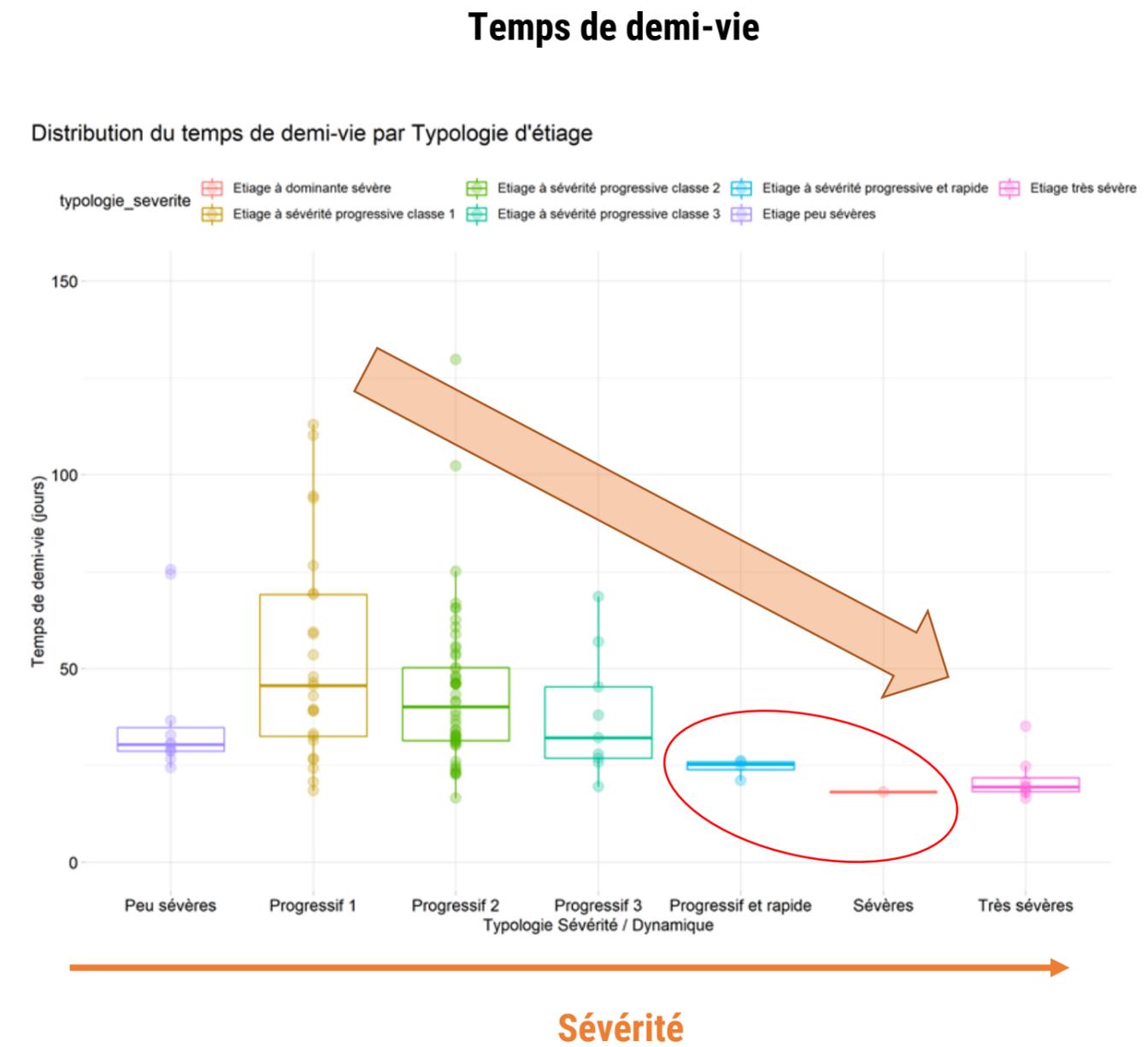
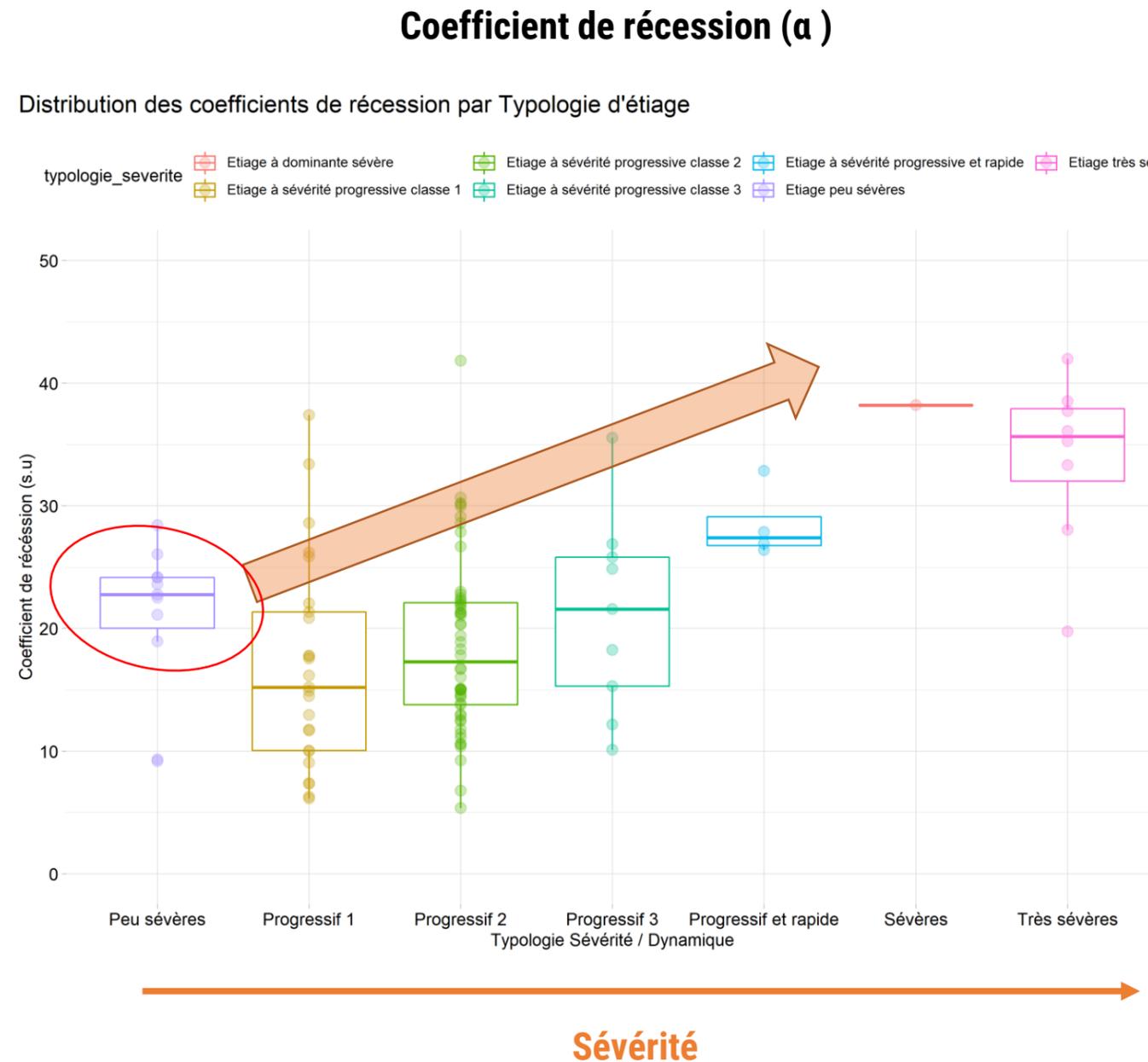


Temps de demi-vie



- Un **gradient Nord-Est/ Sud - Ouest** sur le périmètre régional avec **des bassins versants nettement plus résilients à la sécheresse au nord de l'axe Loire** (bassins de la Mayenne, de la Sarthe et du Loir) avec des constantes de récession inférieures ou égales à la moyenne nationale ($\alpha = 16,5$) et de **temps de demi-vie relativement longs** (entre 40 et 80 jours).
- Augmentation des constantes de récession sur les bassins du secteur de la Vilaine (Oudon, Chère, Don : $20 < \alpha < 30$) et une diminution du temps de vidange des hydrosystèmes (entre 20 et 55 jours). Cette diminution s'accroît vers **le Sud, en Vendée, où l'on retrouve les bassins les plus sensibles** du territoire avec les constantes les plus élevées ($34 < \alpha < 42$) et des temps de demie vie compris entre 20 et 30 jours.
- Des exceptions sur certains bassins versants qui peuvent s'expliquer par des spécificités locales (géologie, pressions anthropiques.)

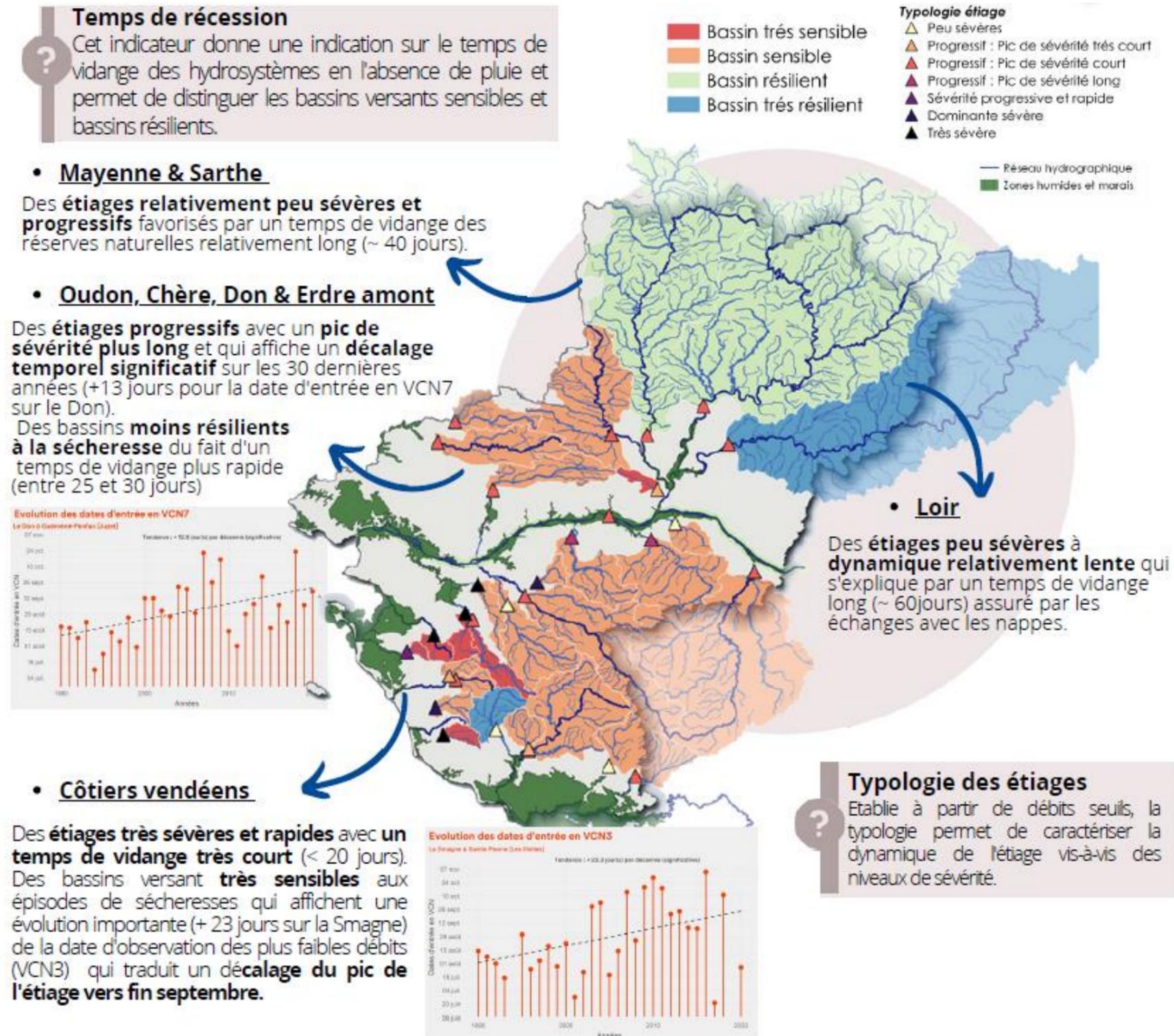
Relation entre typologies d'étiages et indicateurs de récession



- Une bonne corrélation *a priori* entre les indicateurs extraits de la courbe de récession et les typologies « sévérité / dynamique » identifiées à partir de la méthode des seuils

□ Typologies et résilience face aux sécheresses

- La **sévérité** et la **dynamique** des étiages semblent corrélées aux **capacités de stockage naturelles** des bassins versants qui dépendent à la fois des conditions climatiques, de la nature du sous-sol et du **niveau de pression** (bassins influencés) sur l'hydrologie.
- Les **étiages les plus sévères et rapides** sont localisés sur les **bassins côtiers vendéens** sur lesquels le tarissement des ressources est très rapide (< 20 jours). Sur ces bassins, les épisodes de sécheresses météorologiques sont de plus en plus fréquents.
- Ces bassins sensibles aux sécheresses sont également caractérisés par un décalage temporel du **pic de l'étiage** observé plus tardivement.
- À l'inverse, les grands **hydrosystèmes situés au nord de l'axe Loire** sont les plus **résilients** compte tenu de la vidange plus lente de leurs réserves (entre 40 et 60 jours) qui tamponne la diminution des débits pendant d'étiage.
- Des temps de vidange jusqu'à **3 fois plus rapides** sur les bassins du quart Sud-Ouest.



☐ Méthode

- **Étude large échelle** qui repose principalement sur des **analyses exploratoires** réalisées sur un **échantillon de station** du territoire (111)
- Des analyses spécifiques ont permis d'améliorer les connaissances sur les hydrosystèmes et les étiages qui les caractérisent : intensité, sévérité, résilience, vidange et tendances d'évolution.
- Plusieurs **limites** (sélection des stations, travail sur débits influencés, échelle de travail) et **points d'amélioration** (test d'autres méthodes de caractérisation / calcul d'indicateurs supplémentaires)

☐ Résultats

- Il existe un gradient (zonage) sur le territoire (climat, géologie, pressions) qui explique de façon globale la répartition géographique des étiages en termes de sévérité :
 - Les **étiages les plus sévères** sont localisés sur le quart Sud-Ouest (côtiers vendéens) et dans une moindre mesure sur la frange ouest du territoire (secteur de la Vaine) : bassins très sensibles à la sécheresse avec des dynamiques d'étiage rapides, des niveaux de sévérité élevés et des diminutions significatives des débits d'étiages.
 - Les bassins les plus résilients sont localisés au nord de l'axe Loire et sont plus résilients à la sécheresse avec des étiages moins sévères et des dynamiques plus lentes qui s'expliquent par deux facteurs : les cumuls de précipitations élevés (Mayenne amont), le soutien des débits par les nappes (Sarthe, Loir)
- Il existe néanmoins des cas particuliers sur le territoire, liés à des contextes géologiques spécifiques (Rhonne, Tusson,..), hydrographiques (affluents de la Loire) et à l'influence des pressions sur les régimes hydrologiques (soutien d'étiage par les barrages sur l'Yon, la Vendée, le Lay aval, ...)
- Des analyses supplémentaires (phénomènes d'assec et leurs relations amont – aval sur certains bassins) sont détaillées dans le rapport technique.

☐ Documents consultables

- Un rapport technique et ses annexes
- Une synthèse des résultats
- Une **plateforme de visualisation** des résultats mise à disposition des acteurs locaux





Phase 2 : Impact des étiages sur la biologie des cours d'eau



Amélioration des connaissances sur les relations entre sévérité des étiages et indicateurs biologiques par le biais d'analyses statistiques.



ANALYSE DE LA BIBLIOGRAPHIE

- Déterminer sur des études existantes quels sont les impacts des étiages sur les biocénoses.
- Déterminer les méthodologies mises en œuvre pour établir un lien statistique entre étiages et indices biologiques.



ANALYSE STATISTIQUE DES RELATIONS

- Concevoir une base de données intégrant des données météorologiques *a priori* pertinentes dans le cadre de la problématique posée et des données biologiques (indices).
- Étudier dans quelle mesure ces données peuvent être mises en relation dans le cas où les stations d'analyse seraient différentes.
- Essai de mise en relation entre paramètres du milieu et indices biologiques et description des liens potentiels ou des facteurs qui, à l'inverse, empêchent d'établir ces liens.
- Au besoin proposer une méthodologie d'analyse plus adaptée à la problématique et aux conditions locales (aire d'étude).



Une méthode en deux étapes :

Étape 1

Analyse bibliographique



Rapport de synthèse
bibliographique

Constitution de la base de données

Données
physico-
chimiques

Données
biologiques

Données
hydrologiques

Données
bassins
versants

Sévérité des
étiages

Étape 2

Mise en relation statistique

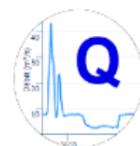


Rapport d'analyse technique
& synthèse pédagogique

Caractérisation des facteurs structurants



□ Modification des paramètres du milieu engendrée par la baisse des débits



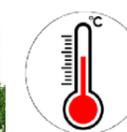
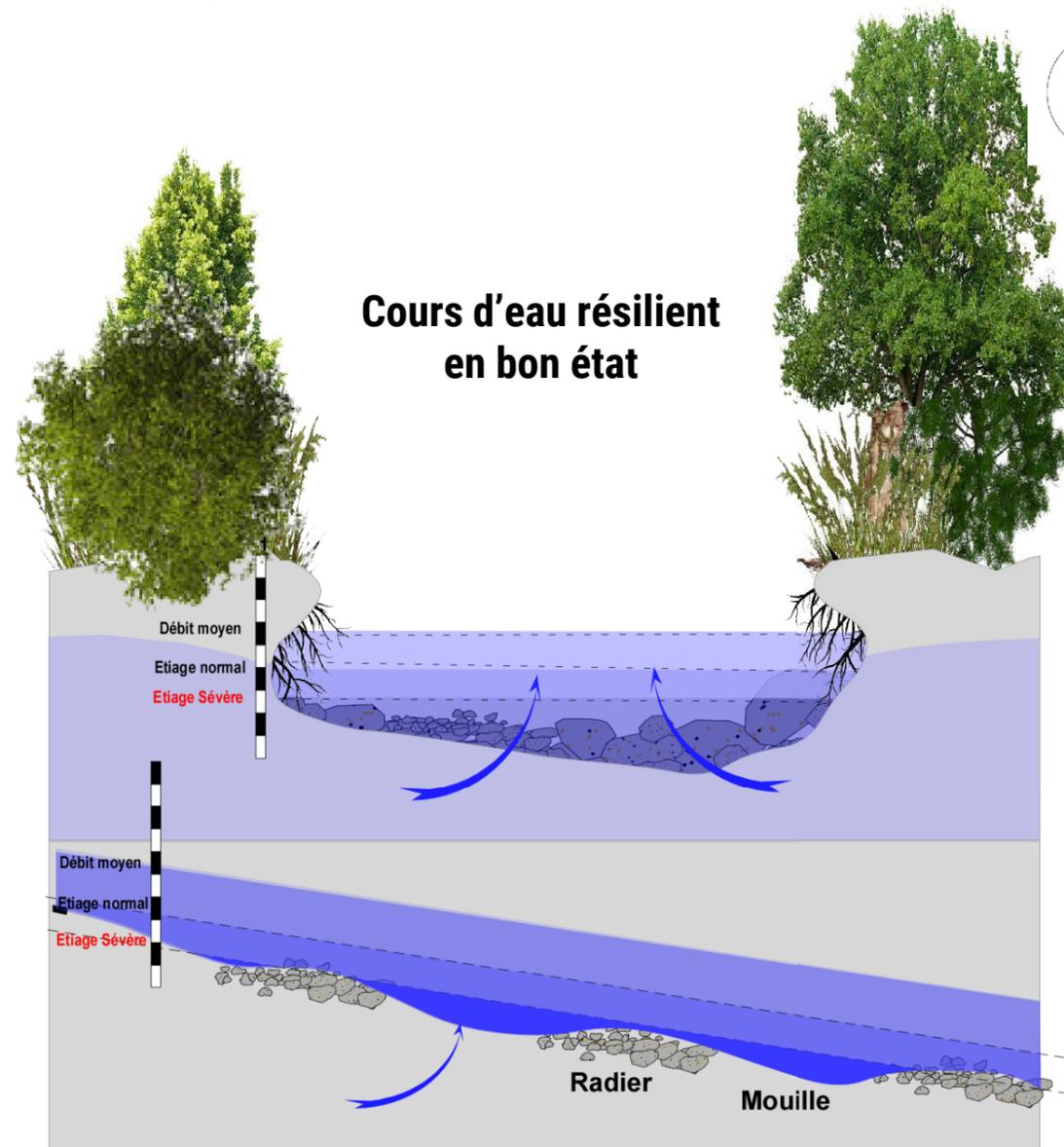
Modification des conditions d'écoulement

- Modification de la section mouillée
- Diminution de la largeur en eau
- Réduction de la hauteur d'eau
- Diminution des vitesses d'écoulement
- Modification des faciès d'écoulement
- Modification de la relation nappe cours d'eau



Modification des structures d'habitat

- Déconnexion des habitats des berges
- Uniformisation des habitats du lit (vitesse de courant plus faible, diminution des hauteurs d'eau...)
- Perte par exondation et assèchement de nombreux habitats aquatiques.



Modification des paramètres physico-chimiques

- En général augmentation de la température de l'eau (sauf en cas d'apport de nappes)
- Souvent, diminution des teneurs en oxygène (sauf en cas de processus d'eutrophisation actif)
- Concentration des polluants déjà présents dans l'eau.
- Augmentation de la conductivité (apport des nappes supérieur au ruissellement, ou apports polluants)

➔ Selon l'état du milieu lors de la survenue de l'étiage, les connexions à d'autres systèmes comme les nappes souterraines ou les systèmes stagnants, l'exposition au soleil, les conditions météorologiques, ou les impacts anthropiques affectant l'hydrosystème... les étiages affecteront plus ou moins les êtres vivants sur les cours d'eau.

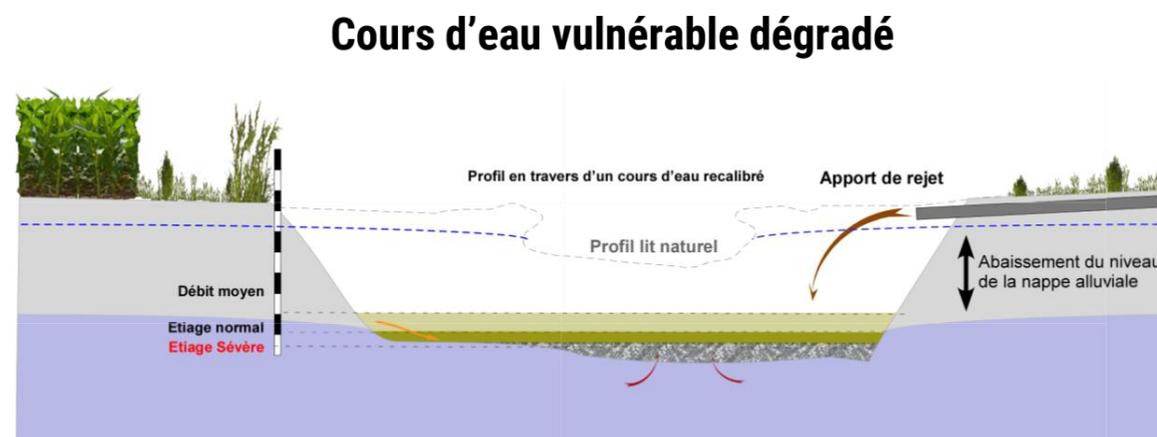
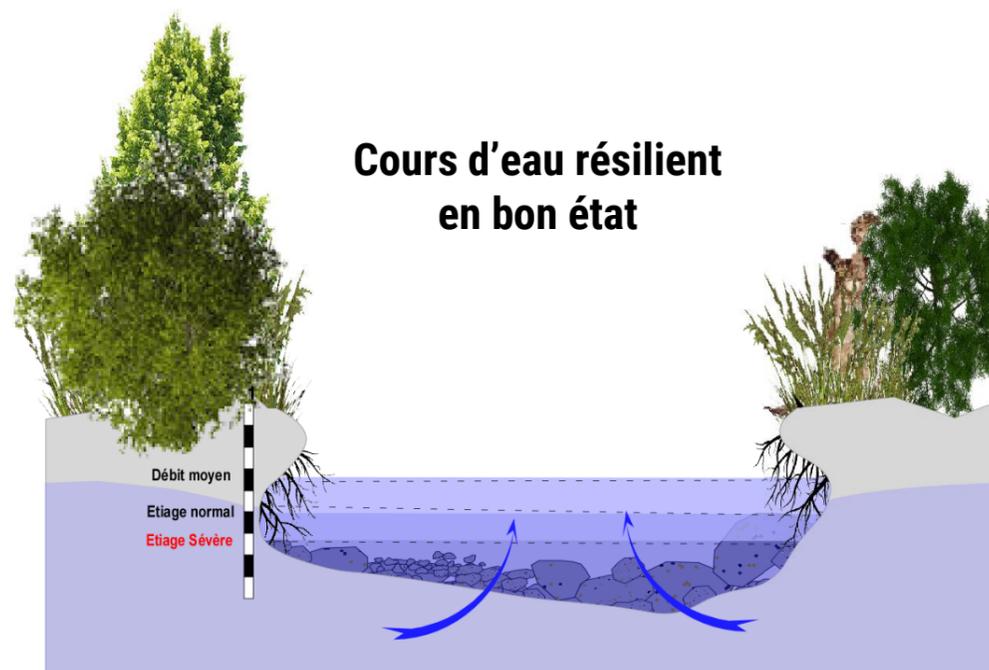
□ Modulation de l'effet des étiages selon la qualité hydromorphologique des cours d'eau

▪ Influence des caractéristiques du bassin versant.

- La **morphologie générale** du bassin versant (géologie, orographie, forme du bassin versant...), et la **structure du réseau hydrographique** jouent un rôle important dans la survenue des étiages et de leur intensité.

➔ **De nombreuses modifications, d'origine anthropique sur les cours d'eau sont de nature à accentuer la survenue et l'impact des étiages.**

- **Le recalibrage** des hydrosystèmes accentue l'intensité, la durée, et la fréquence des étiages
 - Déconnexion cours d'eau / nappe alluviale.
 - Vulnérabilité des habitats accrue (profil en long homogène)
- Les pollutions accentueront les effets négatifs des étiages (concentration des flux polluants)



▪ Rôle de la ripisylve

- Une **ripisylve dense et fonctionnelle** permet de **limiter le réchauffement** des habitats servant de refuge aux invertébrés lors de l'étiage.

➔ **L'impact des étiages sera donc plus fort sur des secteurs sans ripisylve.**

▪ Hétérogénéité des habitats

- Les sections naturelles présentant une plus grande diversité d'habitats permettent d'abriter des communautés avec une meilleure variété taxonomique.
- Sur ces secteurs, **les étiages sévères auront un impact globalement plus marqué que dans d'autres à faible diversité d'habitats.**

□ Impact des étiages sur les biocénoses



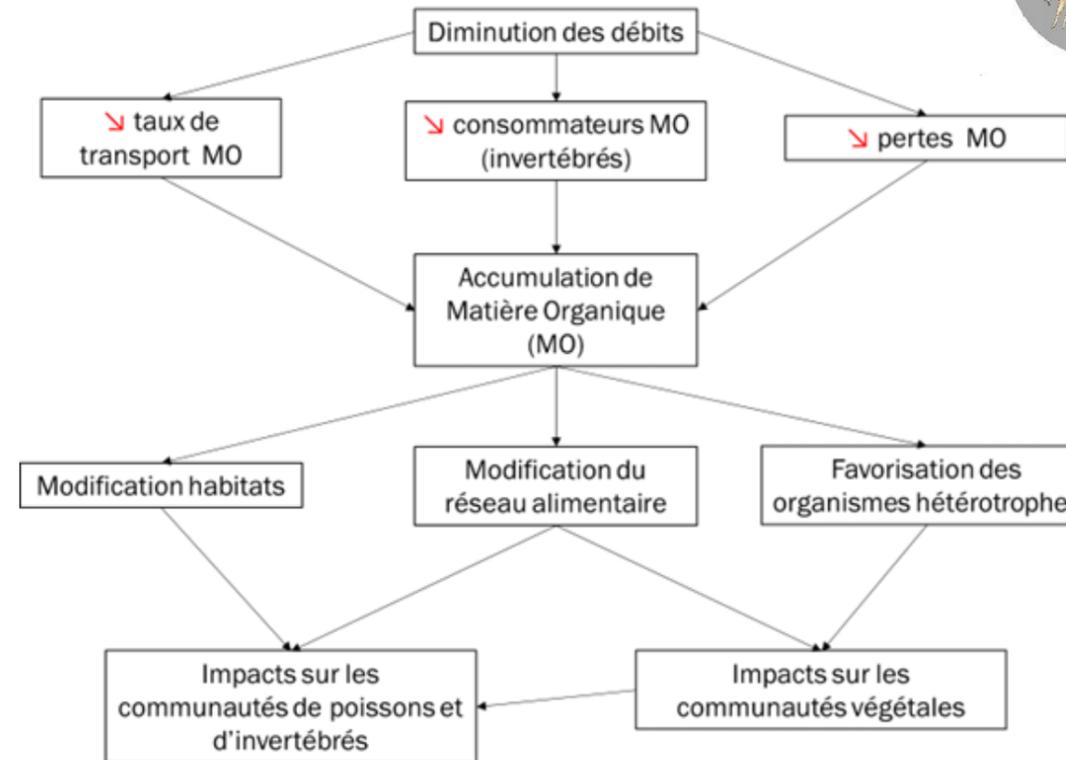
Impact sur le système trophique

La diminution des débits affecte fortement le **la chaîne alimentaire** de l'écosystème. L'impact sur la chaîne alimentaire va modifier la structure des biocénoses.



Impact sur bactéries, champignons, végétaux

- Toutes les communautés sont impactées avec des réponses variables suivant les espèces animales ou végétales.
- Biomasse et diversité diminuent fortement sous l'effet de l'étiage (assèchement...), mais aussi par augmentation de la prédation engendrée par l'étiage.
- La biomasse de cyanobactéries (**très résistantes aux étiages**) et/ou d'algues filamenteuses augmente généralement.
- La biomasse des macrophytes peut augmenter lors d'étiages sévères sans assècs.



Impact sur les invertébrés

Disparition de nombreux habitats et changement des conditions d'écoulement vont favoriser le déplacement (mortalité) des espèces les plus sensibles.

- Les modifications physico-chimiques favorisent la prolifération (avant assèchement...) des espèces les plus résistantes.
- Augmentation des interactions interspécifiques (prédation)
- Perte de variété, de densité, disparition de taxons polluosensibles.
- Impact possible sur certains indices caractérisant les peuplements (diversité...)



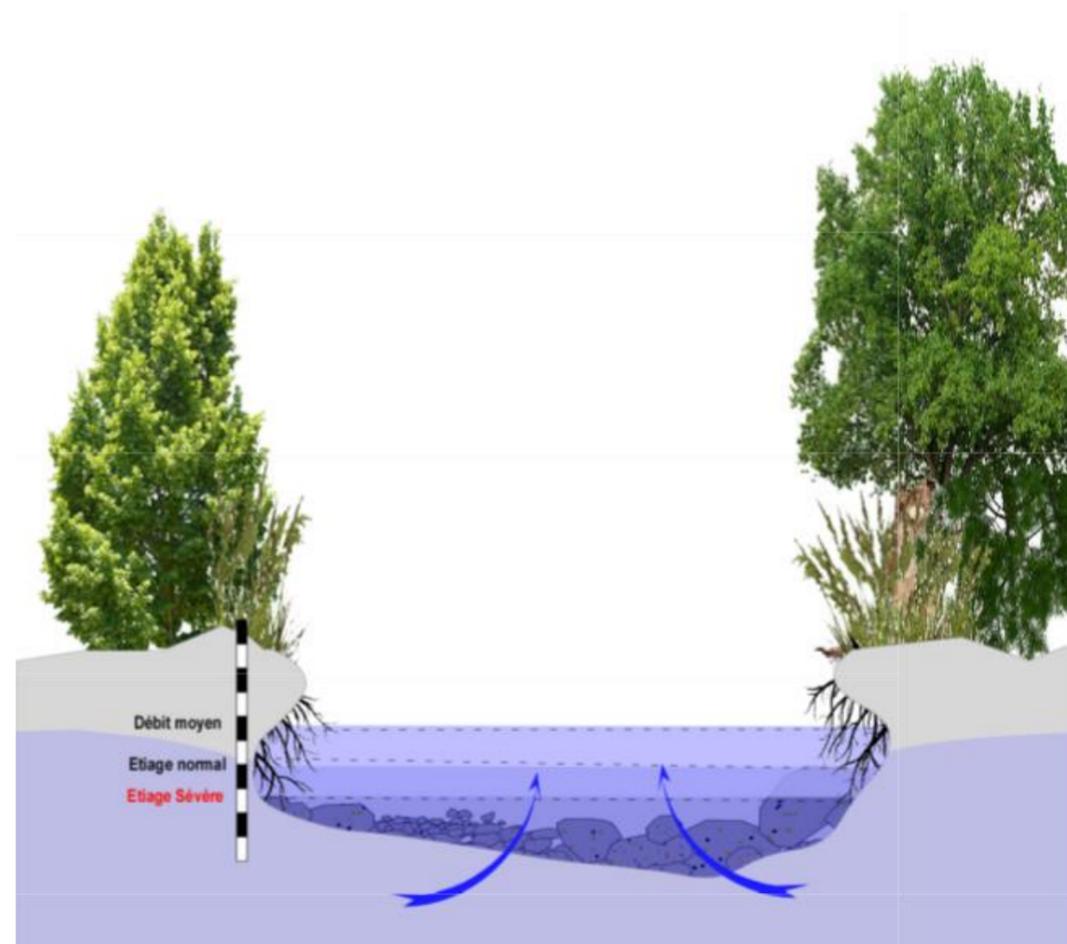
Impact sur les poissons

La disparition des habitats en berge ou du lit peut affecter plus ou moins temporairement les populations piscicoles

- Impact fort des variations physico-chimiques
- Impact pour certaines espèces sur les sites de reproduction
- Modification des conditions de croissance (alevins)
- Richesse et densité totale très corrélées aux baisses de débit.
- Diminution de la continuité

□ Stratégie de survie face aux étiages

- Pour résister à des étiages sévères ou à des assecs, les organismes aquatiques sont susceptibles d'utiliser **différentes stratégies pour permettre leur survie** ou recoloniser les secteurs asséchés après remise en eau.
- **Déplacement avant/après étiage**
 - Dérive active des invertébrés (maximum en début d'étiage si les vitesses d'écoulement sont suffisantes) permettant d'échapper au stress hydraulique
 - Déplacements piscicoles avant assecs
 - C'est lors de la remise en eau que les phénomènes de dérive sont les plus forts (recolonisation par apports amont...si les peuplements amont le permettent)
- **Utilisation de la zone hyporhéique. Les**
 - invertébrés, les poissons et même les algues et les bactéries peuvent utiliser la zone hyporhéique pour survivre lors d'étiages sévères. (Humidité résiduelle, température fraîche...).
- **Des habitats plus favorables que d'autres**
 - Des faciès variés (présence de « mouilles » et des substrats grossiers (galets, blocs, herbiers d'hydrophytes) sont plus favorables pour le maintien des espèces.



➔ **L'utilisation de différentes stratégies adaptatives permet à certains individus de survivre puis de recoloniser le milieu lors du retour de conditions plus favorables.**

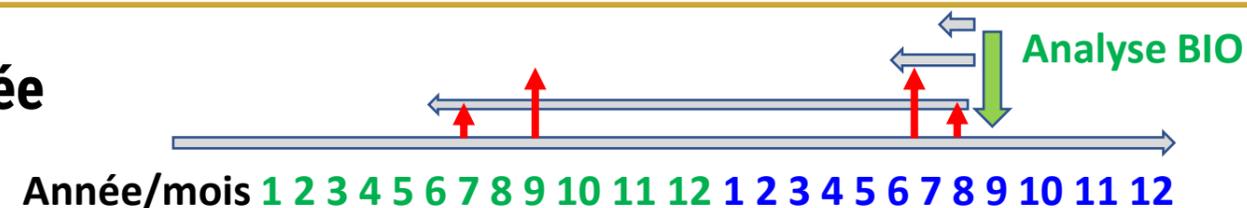
Certaines espèces présentent des traits morphologiques ou comportementaux plus adaptés aux conditions d'étiages sévères.

- **Adaptation des régimes alimentaires**
 - Certaines espèces piscicoles peuvent **adapter leur régime alimentaire** en fonction des ressources disponibles et être ainsi moins impactées par la diminution de leur quantité.
- **Modification de certains cycles biologiques (synchronisation entre cycle biologique et cycle hydrologique)**
 - Certains invertébrés peuvent accélérer leur transformation larvaire pour échapper aux assecs.
 - Dépose leurs œufs dans les sédiments avant étiage. La réhydratation des œufs après l'étiage permet la recolonisation.
- **Les capacités de résilience sont fortement diminuées par les modifications hydromorphologiques et les impacts physico-chimiques**
 - Conditions hyporhéiques fortement altérées
 - Les faibles vitesses de courant à l'étiage limitent les dérives.
 - Les discontinuités longitudinales ou latérales limitent les déplacements piscicoles
 - L'homogénéisation des faciès d'écoulement supprime des zones refuges

□ Conclusion de l'analyse bibliographique

- **Les étiages ont des impacts multiples** sur tout l'écosystème. Modification de nombreux paramètres hydromorphologiques et physico-chimiques avec des impacts plus ou moins importants sur les biocénoses.
- **Impacts sur les milieux, mais aussi les peuplements très variables d'un hydrosystème à un autre** ce qui fait qu'il est très **difficile de préjuger de l'impact potentiel d'un étiage sévère ou d'un assec.**
- Les effets d'un étiage même sévère peuvent être de plus ou moins longue durée. **Le laps de temps nécessaire pour « effacer » l'impact des étiages sévères dépendra des conditions locales, mais aussi à l'adaptation locale des espèces à ces conditions extrêmes.**
- L'impact d'un étiage sera **d'autant plus problématique que l'étiage/assec affectera un cours d'eau rarement soumis à ces conditions défavorables**
- L'importance des impacts dépendra de **l'intensité, la durée, la fréquence**, mais aussi de la **longueur du linéaire et de la position amont/aval du linéaire affecté**, car ces paramètres vont fortement influencer **les potentialités de recolonisation des milieux touchés par les assecs.**
- La caractérisation des impacts est en général réalisée par la mise en lien des peuplements observés (macrofaune benthique, poissons, diatomées, macrophytes) avec les variations des paramètres du milieu (habitats, physico-chimie des eaux.) de la même station.
- Peu d'études ont été conduites sur des indices (I2M2, IBGN, IBD, IPS, IPR ou indice équivalent dans d'autres pays...). Cela s'explique par le fait qu'il est difficile d'utiliser ces indices qui sont, par construction, sensibles aux variations de multiples facteurs environnementaux et qu'il est donc difficile de les utiliser et de vouloir les corrélés avec des facteurs environnementaux particuliers.

□ Les données de la base constituée



■ Analyse sur la station Hydro

- Station en général décalée (amont ou aval) par rapport à la station BIO (entre 0 et 12 km : moyenne 5 km).
- Pas de confluence entre deux stations.
- **Paramètres :**
- Débits minimums moyens et maximums sur les trois périodes d'analyse
- Nombre et durée des étiages selon 3 modalités (peu sévère, sévère et très sévère) et pour les trois périodes

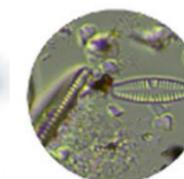
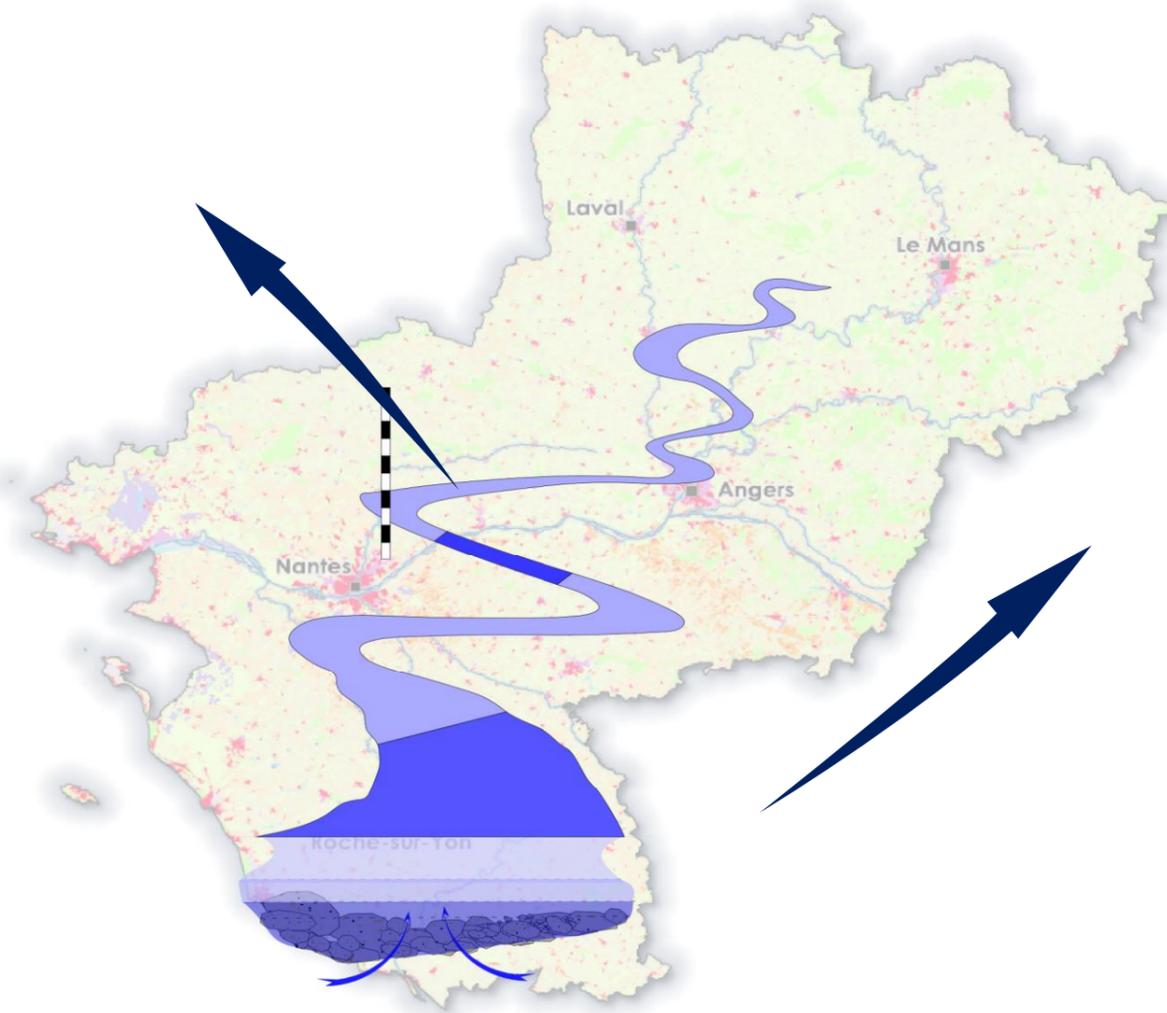
■ Analyse des paramètres du milieu sur 3 périodes

- 30 jours avant l'analyse BIO
- 90 jours avant l'analyse BIO
- De la date d'analyse au 1er juin de l'année précédente

■ Analyse sur la station BIO

Collecte des valeurs d'indice et des métriques associées

- IBGN, IBG-EQ (variété et groupe indicateur)
- I2M2 (et sous métriques : Variété, Shannon, ASPT, Ovoviviparité et polyvoltinisme)
- IBD et IPS
- IPR (et sous métriques : NER, NEL, DII, DIO, NTI)
- **Collecte des données physico-chimiques** température et oxygène sur les trois périodes d'analyse



☐ Données disponibles

- 267 stations HYDROLOGIQUES
- 1250 stations qualité avec des données hydrobiologiques et physico-chimiques

☐ Stations retenues

- 35 binômes (station BIO/station HYDRO) retenus suivant les critères définis.
- Données de 1990 à 2019
- Périodes d'analyse d'avril à novembre

☐ Données bassin versant dites « mésologiques »

Collecte de données bassin versant avec un lien potentiel avec les étiages (voir partie 1 de l'étude)

- IDPR en lien avec le ruissellement superficiel,
- TWI (Topographic Wetness Index) potentiel d'humidité du sol,
- RUGOSITÉ : hétérogénéité des pentes,
- PLUVIOMÉTRIE : importance des précipitations,
- INFILTRATION Capacités d'infiltration,
- RUISSELLEMENT : capacité de ruissellement.



Légende

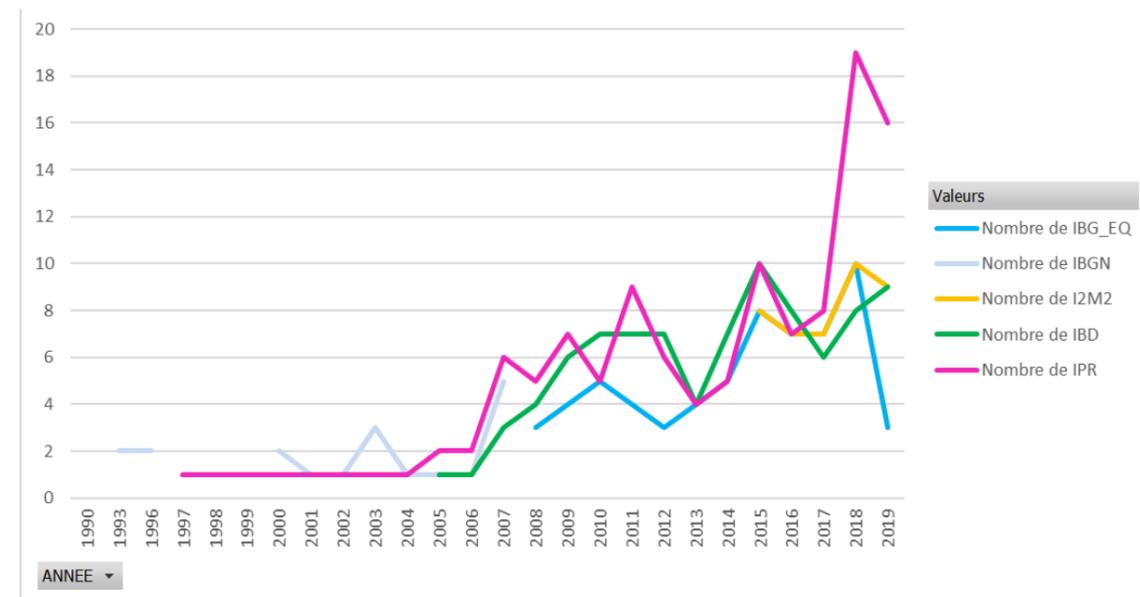
- ▲ Stations hydrométriques retenues
- Stations hydrobiologiques retenues
- Réseau hydrographique
- Périmètre régional

❑ Sélection des couples station hydrométrique / station hydrobiologique

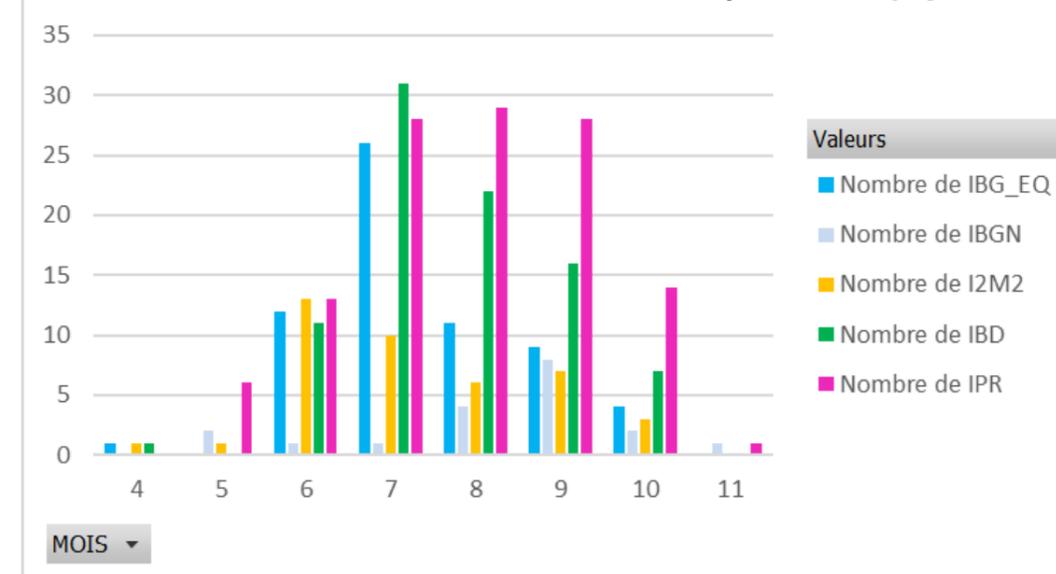
- **Identification de 35 secteurs géographiques** sur lesquels sont observés :
 - ✓ des indices biologiques (IBGN, IBG-EQ, I2M2, IBD et IPR),
 - ✓ des données milieu (Débits et étiages, physico-chimie des eaux),
 - ✓ des paramètres caractéristiques des bassins versants.
- **Analyses collectées sur la période 1990-2019**

- Forte évolution du nombre d'analyses depuis **2005-2006** avec une forte augmentation du nombre d'indices biologiques
- Des échantillonnages réalisés des mois **d'avril à novembre**.
- Le mois d'échantillonnage varie entre indices (IBGN septembre, IBG-EQ juillet I2M2 juin)

Évolution interannuelle du nombre d'analyses biologiques



Évolution intermensuelle du nombre d'analyses biologiques



☐ Sélection des couples station hydrométrique / station hydrobiologique

CODE STATION BIO	IBGN							IBG_EQ							I2M2							IBD							IPR							DEBIT/ETIAGE							PHYSICO-CHIMIE DES EAUX															
	4	5	6	7	8	9	10	11	Total	4	5	6	7	8	9	10	11	Total	4	5	6	7	8	9	10	11	Total	4	5	6	7	8	9	10	11	Total	4	5	6	7	8	9	10	11	Total	4	5	6	7	8	9	10	11	Total				
4108466					1	4	1		6			1	2		1	1		5				2	1	1	1		5				2		1	3			1	2	2	5	2	1	13				2					2						
4108736												1				2		3			2	1			2		5			2	1							1	1	1	1				1				1									
4112700		1		1	1	2			5			2	2	3				7				1	3				4			2	5	6						7	5				1	3	5	8			2									
4113200					1	1			2			3						3			2					2		4										1			3	1	1				3											
4113400											4		1					5			1	1				2			3		1						4	4	1							3		3										
4114500		1	1		1		1	1	5																				4	5	3	1				8	13	6	2			1	1	3	2	3	2	1	13			3						
4119070												1	1					2					1				1											1	2																			
4136400																								1	2	2	1	1								2	2	2	3	1								1										
4146950												1						1				1					1										1											1										
4153700					1				1			3	5	2	1			11			1	2	1		1		5		2	6	4	1				1	4	4	2				1	4	7	2	2		16			7						
4378010													1					1				1					1										1																					
4391012																																																										
4584001																																																										
4601009																																																										
4602012												1						1				1					1										1	1											1									
4604012																																																										
4605007												1	2					3			2					2			2	1																												
4606001												1	1					2			1	1				2			2	1																												
4612000												1	1	1	1			4				1	1	1	1		4			1	1	1	1																									
4615013																																																										
4615014																																																										
4630008												2		1				3			2	1				3			1		1						2	1																				
4634010												1	2	1	1			5			1	1				2			1	2	1	1																										
4634011												1	1	1				3			1	1				2			1	1																												
4637014												1		1				2				1	1			2																																
4638009													1					1				1				1																																
4638014																																																										
4651004																																																										
4652007																																																										
4652009																																																										
4660010																																																										
4673022																																																										
4681004																																																										
4682012													1					1				1																																				
4710003																																																										
Total		2	1	1	4	8	2	1	19	1	12	26	11	9	4		63	1	1	13	10	6	7	3		41	1	11	31	22	16	7		88	6	13	28	29	28	14	1	119	1	7	14	30	16	26	13	2	109			25				25

Nombre de stations et nature des indices collectés par année et par mois sur la période étudiée

□ Variation intermensuelle et interannuelle des indices sur l'ensemble du secteur d'étude

▪ Méthode

- Tous les indices ont été **normalisés** en divisant la valeur observée par la valeur la plus forte de la série pour permettre une intercomparaison des indices.
- **L'indice IPR est d'autant meilleur que la valeur est faible**

▪ Variations interannuelles

- Très peu de variations interannuelles pour : IBG-eq, I2M2, IBD
- La variation est plus marquée pour IPR avec des données moins bonnes en 2017 et 2018

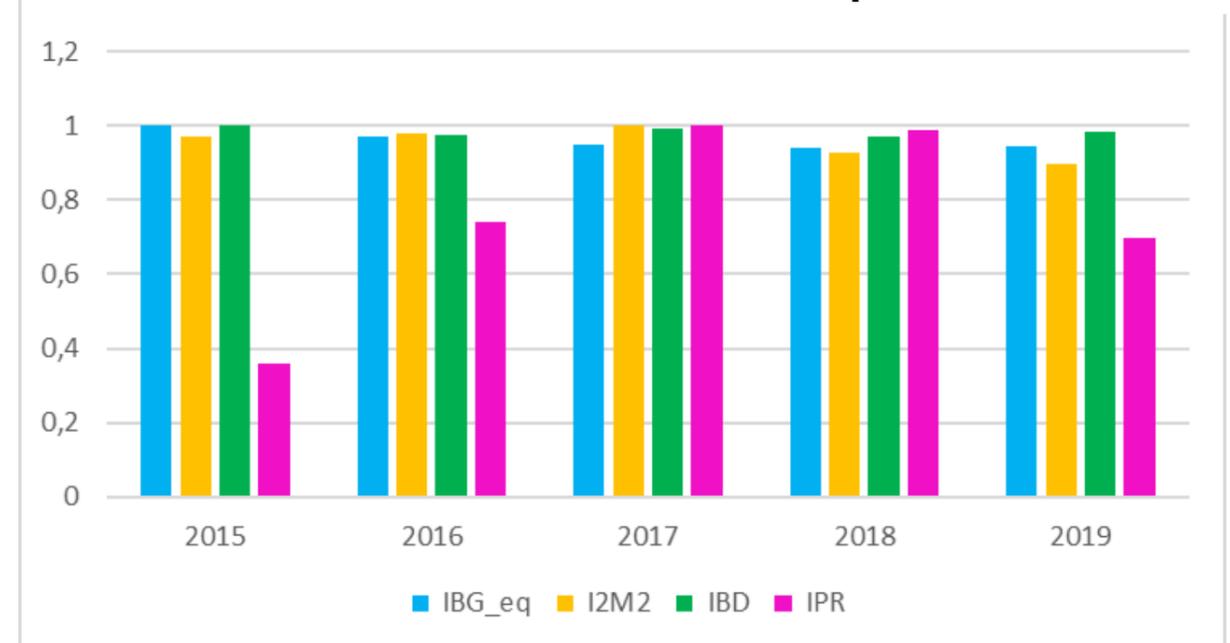
▪ Variations intermensuelles

- Pour les **indices macrobenthiques** (IBG-EQ et I2M2), fort effet temporel avec les **notes qui s'améliorent du printemps à la fin de l'été**.
- L'indice **IBD** ne présente pas de fortes variations intermensuelles. Le mois de mai semble le moins favorable pour cet indice
- Pour **l'IPR**, les indices sont en général moins bons en début de saison, mais meilleurs à partir du mois d'août

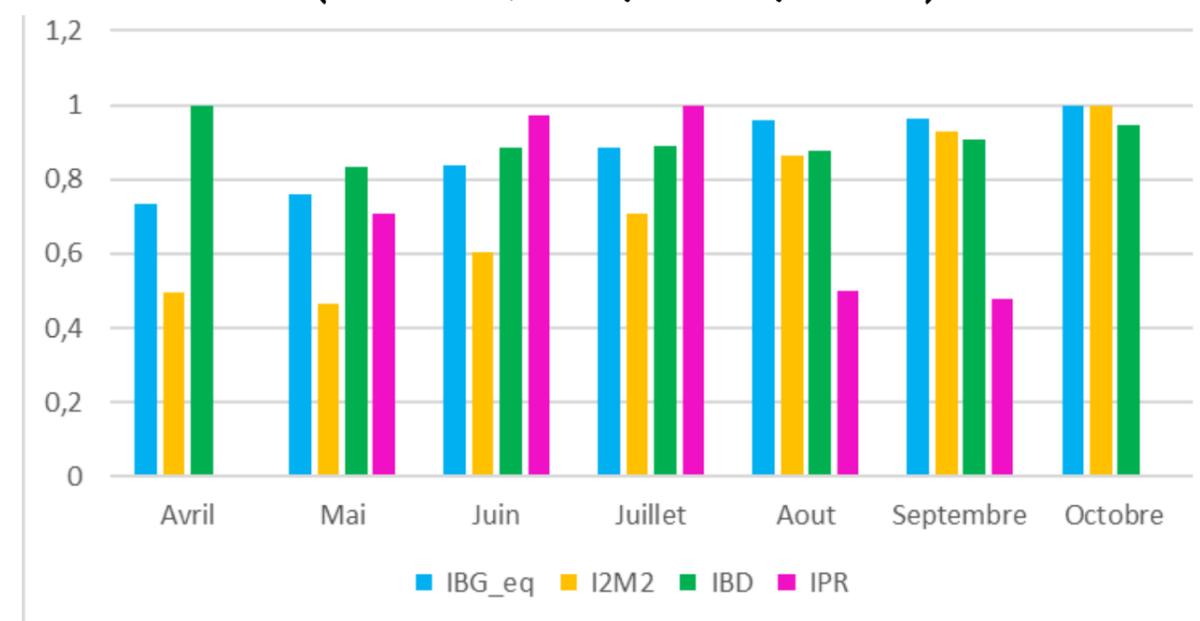
➔ Ces analyses mettent en évidence le lien entre date d'échantillonnage et la valeur de l'indice biologique notamment pour les indices invertébrés et l'indice poisson.

Le fait que les meilleures notes soient observées en période estivale masque potentiellement pas traduire l'impact des étiages sur ces notes biologiques.

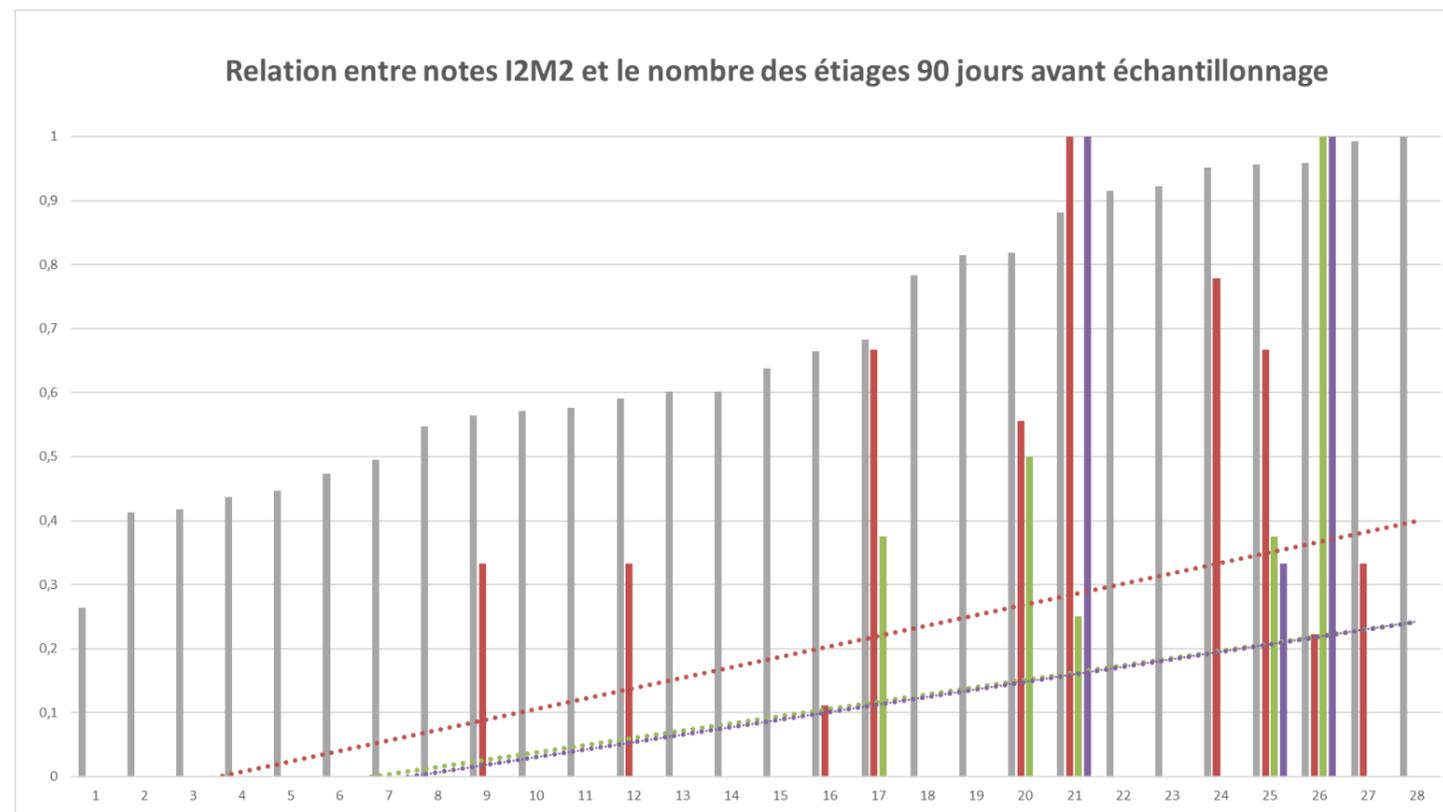
Variations interannuelles des indices sur la période 2015-2019



Variations intermensuelles des indices sur la période 2015-2019
(367 IBGEQ/I2M2, 267 IBD, 36 IPR)



☐ Mise en relation données biologiques et étiages



Graphe illustrant pour les 28 I2M2 pour lesquels nous avons des données « étiage » les relations entre notes I2M2 et le nombre d'étiages. Tous les indices ont été normalisés en divisant la valeur observée par la valeur la plus forte de la série pour permettre une intercomparaison des indices bio et étiage. Les notes d'indice sont classées de la plus petite à la plus grande.

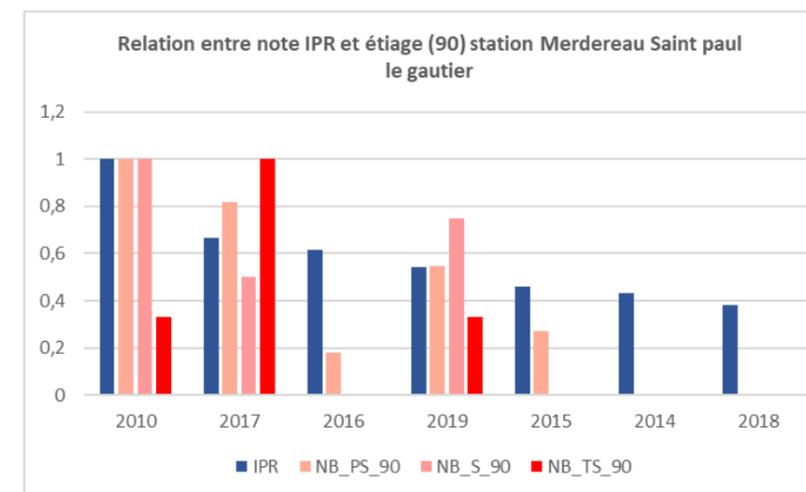
- valeur I2M2
- nombre d'étiages peu sévères dans les 90 jours pavant l'analyse
- nombre d'étiages sévères dans les 90 jours pavant l'analyse
- nombre d'étiages très sévères dans les 90 jours pavant l'analyse

Variables	NB_PS_90	DURT_PS_90	NB_S_90	DURT_S_90	NB_TS_90	DURT_TS_90
I2M2	0,513	0,527	0,433	0,442	0,403	0,407
SHANNON_I2M2	0,385	0,403	0,322	0,331	0,311	0,322
ASPT_I2M2	0,325	0,319	0,321	0,333	0,297	0,302
OVO_I2M2	0,435	0,424	0,352	0,371	0,400	0,405
POLY_I2M2	0,565	0,571	0,443	0,451	0,413	0,409
TAXONS_I2M2	0,454	0,460	0,323	0,332	0,320	0,322

Matrice de corrélation (Spearman) : Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification alpha=0,05

☐ Relation entre indices et étiages

- D'une manière générale, les analyses statistiques n'ont pas permis d'identifier **DE FAÇON GLOBALE** de relations négatives (indice dégradé) entre étiages et indices biologiques.
- Pour tous les indices, les corrélations faites sont toujours positives et plus ou moins significatives (un peu moins marqué pour les IBD).
- **Ces corrélations positives sont observées,**
 - quel que soit le niveau d'intensité des étiages,
 - quelle que soit la période prise en compte (30 jours, 90 jours ou année précédente)
 - De façon identique avec nombre ou durée des étiages



- **D'une façon particulière,**
- l'analyse diachronique sur une seule station permet de montrer des corrélations entre étiages et indices.

Ces relations sont difficiles à caractériser :

- en l'absence de données sur d'autres facteurs structurants (qualité des eaux).
- Lorsque les dates d'échantillonnage varient



□ Explication sur l'absence de corrélations négatives entre valeurs d'indices biologiques et étiages

▪ Les choix méthodologiques retenus.

- Les étiages observés sur la station HYDRO ne sont pas nécessairement présents ou de même intensité compte tenu de la distance entre les deux stations.

▪ Les étiages ont lieu dans la période où les notes biologiques sont en général les meilleures

- Ces meilleures notes sont en effet observées dans des périodes de débit stabilisé juillet-août-septembre soit pendant la période où les étiages sont généralement observés.

-L'impact des étiages peut être « masqué » par l'augmentation naturelle des indices entre les différentes périodes d'analyse.

• Les cours d'eau les plus sensibles aux étiages sont en priorité échantillonnés hors période d'étiage

- **Pour des raisons techniques** (application des normes d'échantillonnage).

- **Pour des raisons réglementaires** (interdiction de prélèvements lors des périodes où les espèces sont les plus vulnérables).

➔ Ces analyses ne prennent pas en compte l'état mésologique des différentes stations (géomorphologique, physico-chimique, habitationnel...). L'absence de données milieu (qualité eaux et de l'habitat) ne permet pas d'établir des liens de causalité à partir des corrélations observées.

❑ Recherche de lien de causalité avec d'autres facteurs associés à l'étiage

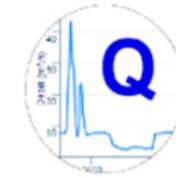
▪ Paramètres caractéristiques du bassin versant

Dans le cadre des analyses certains liens ont pu être observés.

	VARIATION INDICES	SIGNIFICATION	IMPACT SUR L'EVALUATION ECOLOGIQUE POUR CHAQUE DESCRIPTEUR BIOLOGIQUE			
			INVERTEBRES IBG-EQ	INVERTEBRES I2M2	DIATOMEES IBD/IPS	POISSONS IPR
PLUVIOMETRIE	↑	Bassin versant avec plus de précipitation	↘		↘	
RUISSELLEMENT		Bassin versant plus sensible au ruissellement			↘	
INFILTRATION		fortes capacités d'infiltration sur le bassin versant	↘		↘	
HUMIDITE (Topographic Wetness Index)		Augmentation du taux d'humidité du sol	↘	↘		↘
SATURATION EN EAU DU SOL (ZNS)		Augmentation de l'épaisseur de la zone saturée en eau	↗	↗		
RUGOSITE BASSIN VERSANT		Augmentation de la rugosité des terrains	↗	↗	↘	↗
INDICE PERSISTANCE RESEAU HYDROGRAPHIQUE (IDPR)		Augmentation du ruissellement superficiel			↘	

Les flèches indiquent (corrélation significative) une amélioration ou une dégradation de l'indice.

➡ Ces éléments montrent que les mauvais résultats sont aussi potentiellement liés à certains facteurs hydrologiques.



Variation des débits

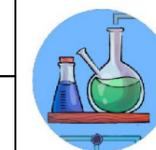
Les corrélations faibles entre indices et notes biologiques montrent que les notes biologiques sont d'autant meilleures que :

- Les débits minimums restent élevés avant l'échantillonnage, mais aussi dans l'année que le précède (IBG/I2M2/IPR).
- Les débits maximum restent les plus faibles possibles ((IBG/I2M2/IPR).
- Pas de corrélation significative pour IBD.

Variables	QMIN_30	QMIN_90	QMIN_AP	QMAX_30	QMAX_90	QMAX_AP
I2M2	-0,089	-0,092	0,377	-0,514	-0,651	-0,533
IBG_N_EQ	0,114	0,119	0,396	-0,327	-0,421	-0,379
VT_N_EQ	-0,109	-0,104	0,239	-0,483	-0,491	-0,371
GI_N_EQ	0,311	0,320	0,489	-0,044	-0,201	-0,261

Analyse des corrélations entre indices IBG-EQ et I2M2 et débits min et max sur les différentes périodes étudiées (en gras valeurs significatives, en jaune corrélations positives en bleu corrélations négatives)

➡ Les notes biologiques sont donc d'autant meilleures qu'il n'y a pas d'étiages marqués, mais que dans un même temps les crues sont de faible amplitude



▪ Température et Oxygène

Les notes biologiques sont meilleures quand :

- Les températures minimales et maximales restent faibles toute l'année.
- Les teneurs minimales et maximales en oxygène restent fortes toute l'année.

➡ Les phénomènes d'étiage en favorisant le réchauffement des eaux et en diminuant les teneurs en oxygène auront un impact sur les indices

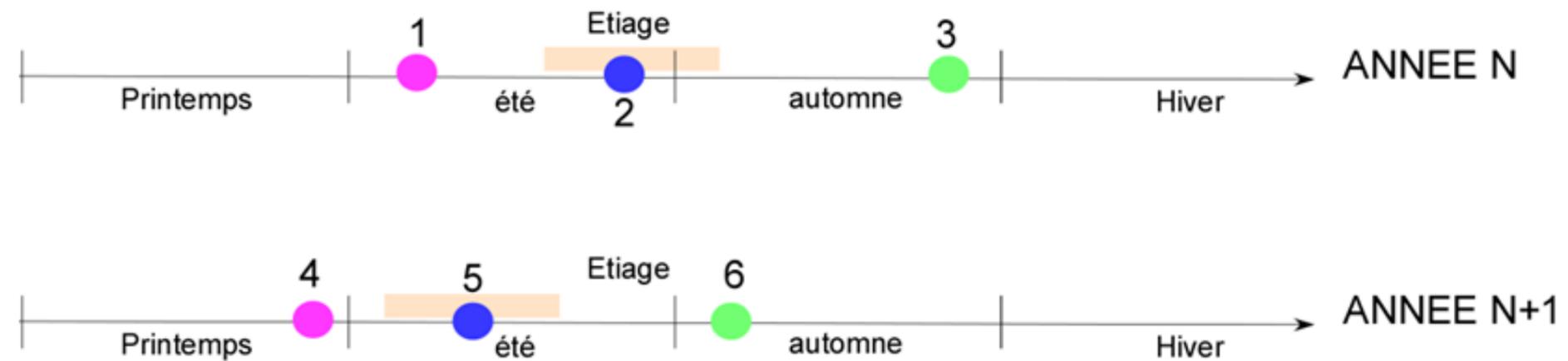


❑ Pistes méthodologiques proposées pour analyser l'impact des étiages sur la biologie à l'échelle stationnelle

- Cette étude montre comme la littérature scientifique le soulignait, qu'une telle approche ne peut se faire que par une analyse stationnelle et non pas par une approche globale.

Ainsi :

- Il est essentiel pour pouvoir démontrer l'impact des seuls étiages, de se placer sur une même station et dans des conditions où les autres facteurs météorologiques sont à peu près constants (analyses avant, pendant et après étiage sur des intervalles de temps assez courts pour éviter les interactions avec d'autres pressions).
- L'analyse hydrobiologique doit être accompagnée d'une analyse de tous les paramètres du milieu susceptibles de modifier les notes biologiques :
 - Mesures de débit
 - Physico-chimie des eaux,
 - Caractérisation des habitats
- Chaque impact d'étiage doit être analysé en considérant le relevé par rapport à une « référence » qui est le pour un prélèvement celui qui est réalisé juste avant (1 référence du 2, 2 référence du 3...).



- Enfin, notons que si les indices sont nécessaires pour caractériser l'« état » écologique des masses d'eau, des analyses fines des peuplements (interprétation des listes taxonomiques) pourraient apporter des enseignements complémentaires.
- En effet, les indices sont par nature construits pour prendre de nombreuses pressions (physico-chimiques, hydromorphologiques, biologiques)...ils ne sont donc pas adaptés pour rendre compte de façon précise de l'impact de pression particulière comme l'étiage sur les biocénoses.
- L'analyse pourrait se baser sur le protocole Suivi Scientifique Minimum en l'adaptant à la problématique des conditions d'étiage

☐ Méthode

- **Étude très large échelle** visant à démontrer **une relation entre** une pression particulière, **les étiages, et les différents indices biologiques déjà bancarisés**.
- **L'analyse bibliographique** a eu pour objet, dans une première approche de **déterminer les facteurs mésologiques les plus à même de modifier les structures biologiques**. Cette analyse se proposait aussi de caractériser **les méthodes statistiques utilisables** pour caractériser ces relations.
- **Ce travail se heurte à de nombreuses limites** : Choix des variables, codification des données, évolution des indices au cours du temps ...

☐ Résultats

- Les analyses bibliographiques montrent que les impacts des étiages sur les biocénoses sont souvent importants. Toutefois, ceux-ci peuvent être très différents d'un hydrosystème à un autre en fonction des caractéristiques du milieu, tant naturelles (relations nappes cours d'eau, hydrologie...) qu'anthropiques (impacts de modifications morphologiques ou liés à des modifications physico-chimiques).
- **Les analystes statistiques n'ont pas permis de relier de manière globale les indices caractéristiques de l'étiage développés lors de la phase 1 et les indices biologiques ; mais des relations ont été trouvées avec des facteurs/variables associés aux étiages : oxygène, température... Des corrélations sur certaines stations et pour certains indices peuvent toutefois être observées.**
- Cette étude montre que la démonstration de ces impacts devrait s'appuyer sur des analyses spécifiques (comme dans le cas de l'analyse des travaux géomorphologiques sur les cours d'eau). Analyses qui devraient privilégier l'analyse des peuplements et non d'indices qui par nature ont été conçus pour rendre compte de multiples pressions tant morphologiques que physico-chimiques

☐ Documents consultables

- Un rapport technique et ses annexes



- Une synthèse des résultats



- Une Base de données complète





Phase 3 : Étude du comportement de 6 têtes de bassin versant en période d'étiage



Amélioration des connaissances sur le fonctionnement des secteurs de têtes de bassin versant pendant la période d'étiage.



IDENTIFIER 6 SECTEURS de TÊTE DE BASSIN SUR LE TERRITOIRE:

- Sur la base sur les éléments de définitions de la littérature scientifique
- Sur l'analyse (sectorisation du territoire) réalisée en Phase 1 (facteurs physiques / pressions / réseau de suivis)



ÉLABORER UN PROTOCOLE DE TERRAIN ADAPTÉ

- Données relevées doivent permettre de répondre à l'objectif
- Les points de suivis doivent être représentatifs du chevelu du secteur

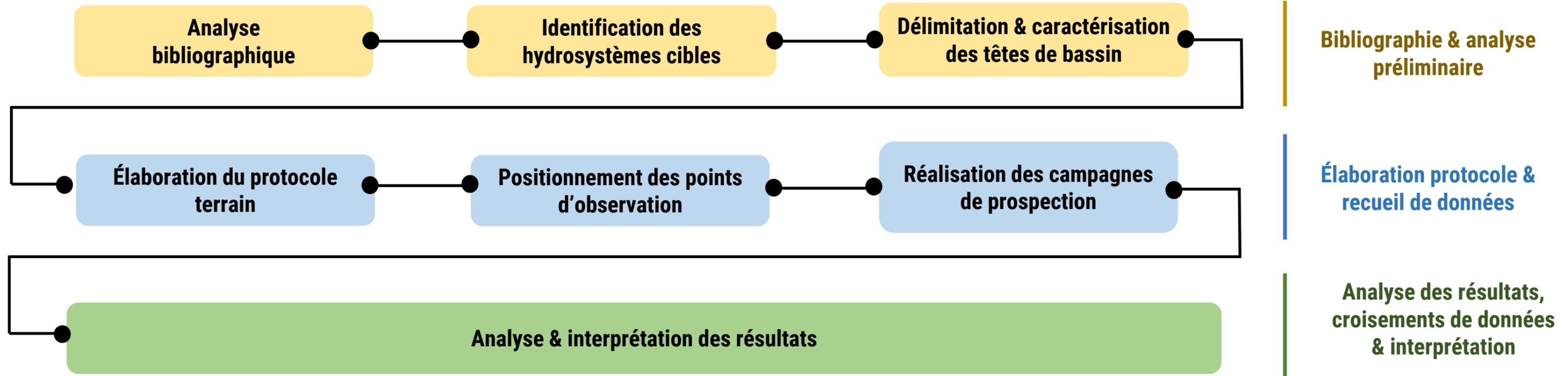


ANALYSE LES RÉSULTATS ET IDENTIFICATION DES PATTERNS D'ASSÈCHEMENTS

- Analyse croisée avec des données terrain
- Identification des patterns d'assèchements
- Analyse croisée avec les données de contexte pour déterminer la cause (naturelle / anthropique) des assèchements

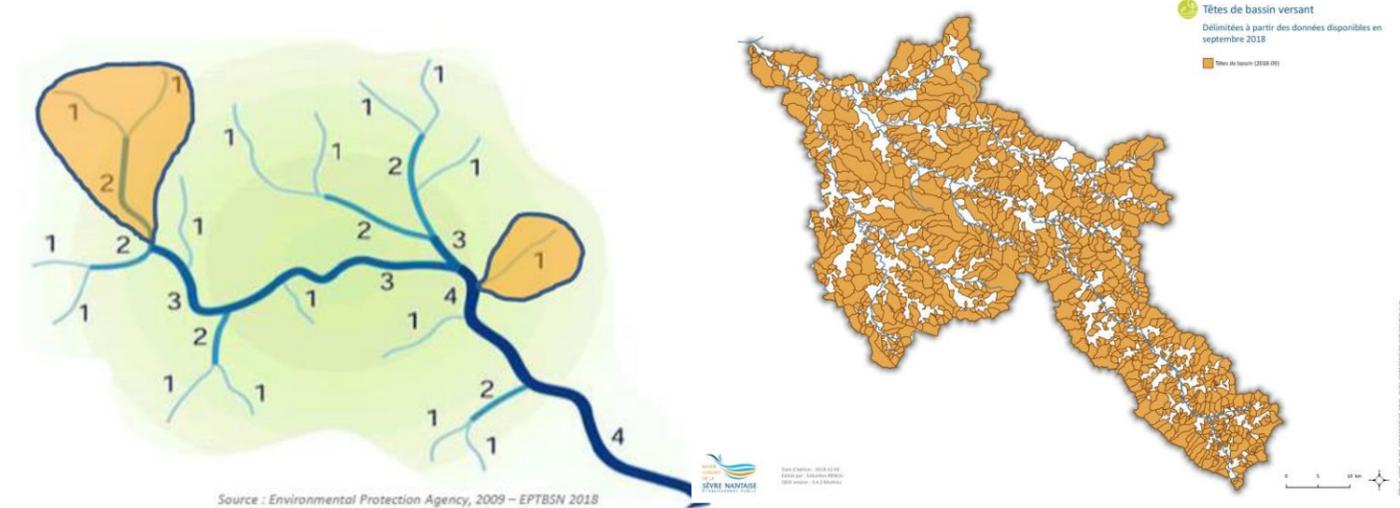


Une méthode globale mêlant analyse bibliographique, relevés sur le terrain et analyse croisée des résultats.



❑ Critères physiques

- Secteurs **apicaux** (extrême amont) qui correspondent aux **bassins d'alimentation** des petits cours d'eau (rangs de Strahler 1 à 2)
- Généralement de **taille réduite** (< 20 km²), mais qui intègre une mosaïque de milieux importante avec des pentes relativement élevées
- Densité importante de cours d'eau caractérisés par des **régimes hydrologiques intermittents**
- Densité importante des secteurs de têtes de bassin au sein des hydrosystèmes.



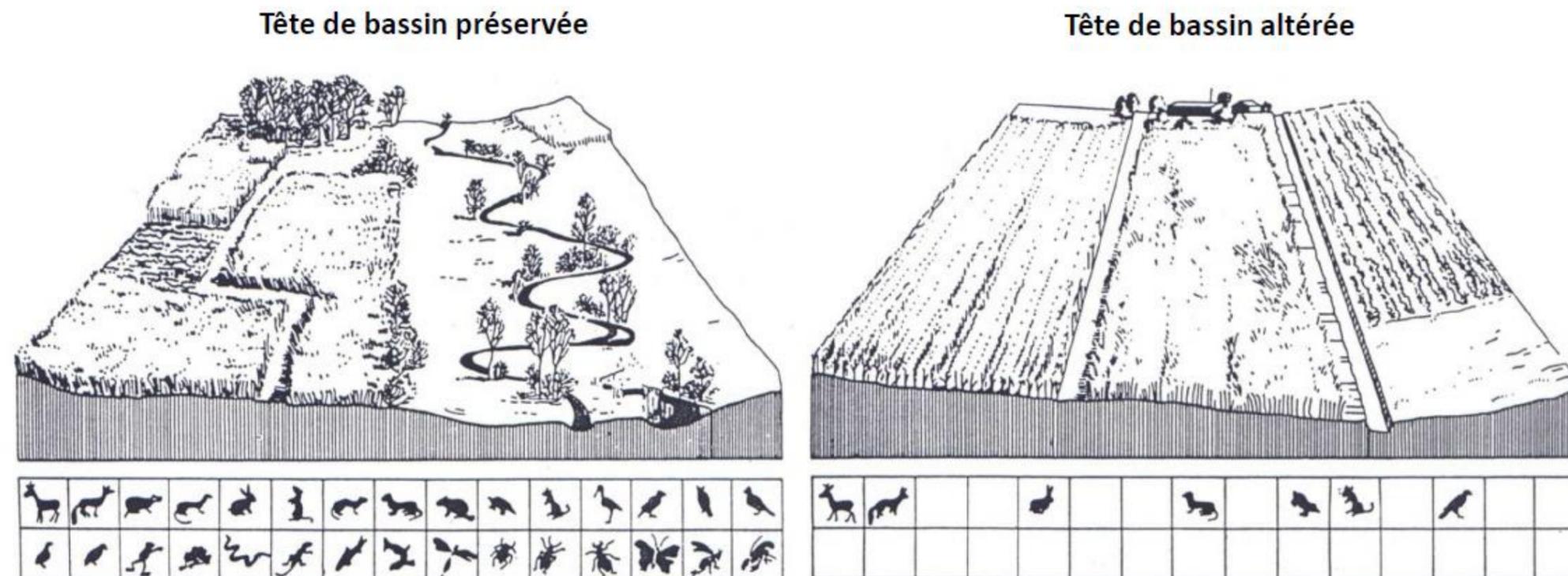
❑ Fonctionnalités écologiques

- Les travaux scientifiques récents ont mis en avant un panel de **services écosystémiques** rendus par ces écosystèmes et *in fine* leur rôle dans le **fonctionnement des hydrosystèmes aval** :
- **Capital hydrologique & régulation des flux** : 50 à 70 % des flux d'eau (socle) dans les hydrosystèmes proviennent des têtes de bassin (Alexander et al; 2007). Rôle dans la régulation saisonnière des régimes hydrologiques par absorption d'eau lors des événements pluvieux (Mc Cartney et al; 1998) et relargage lors des périodes d'étiages / atténuation des pics de crues (Gomi et al; 2022).
- **Moteur de diversité biologique** : Compte tenu de la diversité des spécificités physiques de ces secteurs (zones d'interface terre / eau / milieux humides) et de fonctionnement (intermittence) → **Mosaïque d'habitats très riches (faune / flore)**. Les TBV sont également des **zones de refuges** compte tenu de la fraîcheur des eaux de source (Matthieu; 2010) et de génération de matière organique (ripisylve et milieu environnant) qui conditionne la chaîne alimentaire aval (Henner; 2013)
- **Contrôle de l'hydromorphologie** : Zones de production sédimentaire (pentes), car situées en amont des premières zones de sédimentation (dépôts) : premier maillon de la chaîne de régulation de l'équilibre dynamique ($Q_{liquide}$ vs Q_{solide}) des cours d'eau aval.

Principaux facteurs d'altération

Une multitude de **pressions** peuvent altérer les **fonctionnalités naturelles** de ces écosystèmes et contribuent à la dégradation des milieux aquatiques aval :

- Dégradation et destruction des zones humides ;
- Pressions liées à l'activité de sylviculture : l'implantation d'essences inadaptées et le drainage fragilisent le bon état de ces zones ;
- Les activités agricoles notamment en lien avec la diminution des haies bocagères, l'augmentation de la surface des parcelles et drainage et le piétinement des animaux sur les petits cours d'eau ;
- Les perturbations liées à l'urbanisation (*imperméabilisation, chenalisation, recalibrage,.*) ;
- L'altération de la continuité écologique par la présence d'obstacles à l'écoulement (*seuils, buse de pont...*).



Choix des secteurs de têtes de bassin

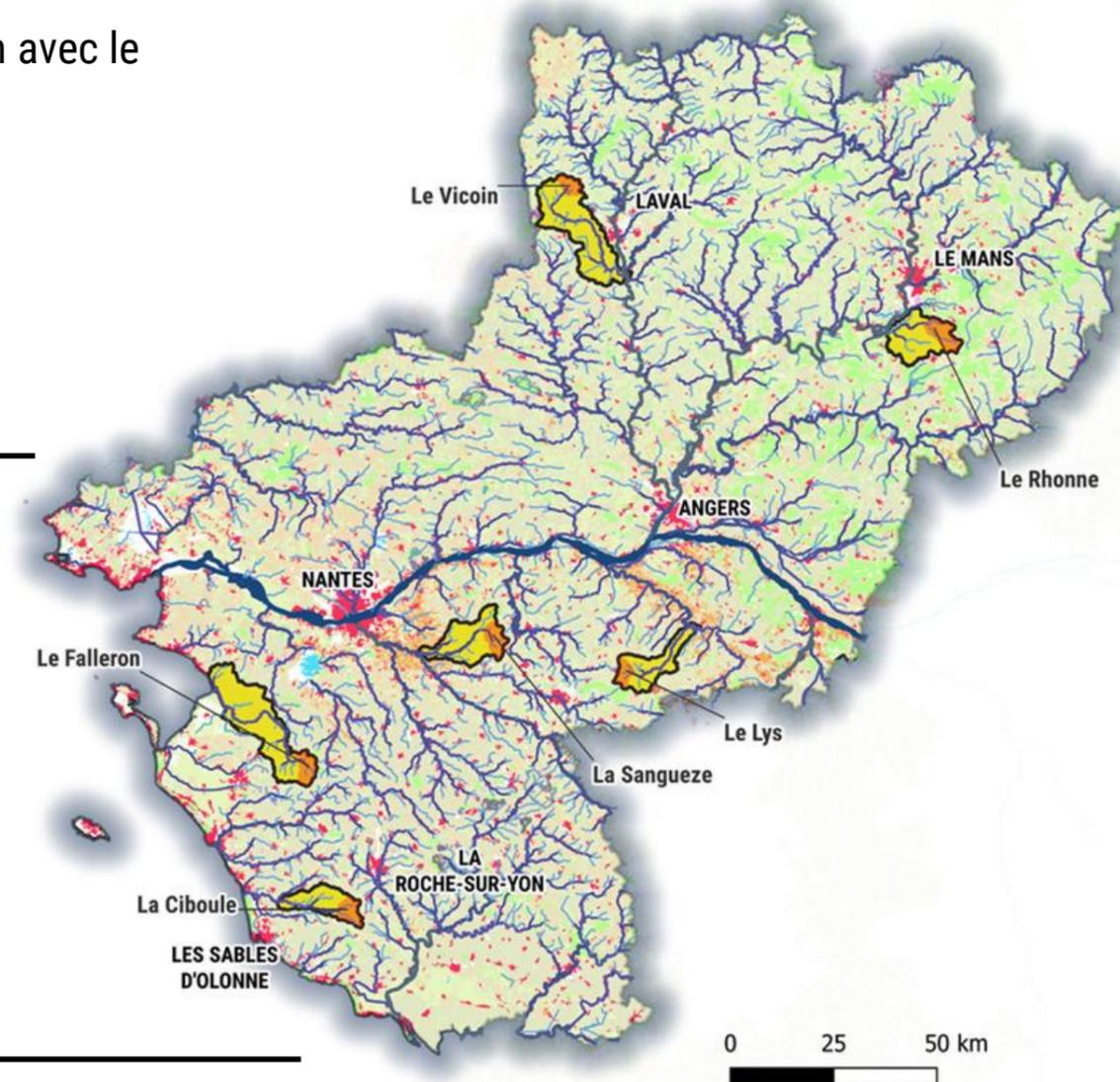
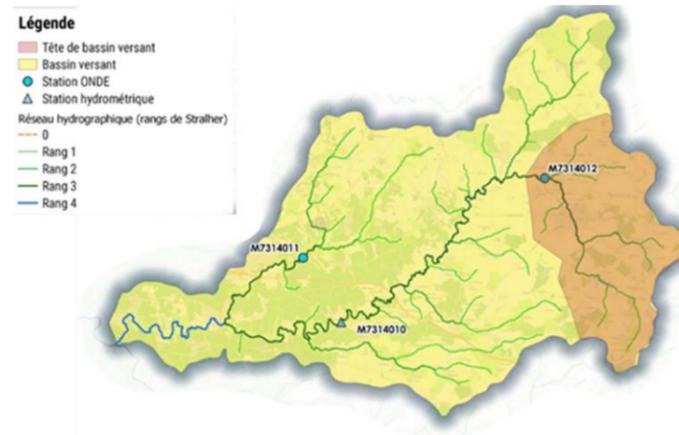
- Choix de **secteurs** représentatifs de la **variabilité de contextes** du territoire traduits par :
 - Facteurs de **contrôle** : géologie, climat
 - Pressions** : niveau de pression global (DCE)
 - Hydrologie**: Intensité, Typologie des étiages, Fréquences des assèchements amont (si ONDE) et aval (station hydro)

- 6 secteurs** retenus en concertation avec le Comité de Pilotage :

- Ciboule
- Falleron
- Sanguèze
- Lys
- Vicoïn
- Rhonne

Délimitation des secteurs

- Méthode géomatique (QGIS / GRASS) basée sur les caractéristiques du **réseau hydrographique, l'altimétrie** et l'orientation des pentes (MNT) et la **surface**.
- Prise en compte des principaux éléments de définition de la bibliographie (rang de Stralher, surface) **réinterprétés** pour pouvoir **doubler les sites de suivis** (ONDE / Banque Hydro) implantés sur les secteurs identifiés.



Caractérisation des têtes de bassin

- Analyse à partir de « données référentielles ».
- Deux objectifs principaux :
 - Dimensionnement** du réseau de points d'observation
 - Caractérisation** la plus fine possible du contexte pour l'analyse des résultats de terrain

- Hydrographie** (densité du réseau, % intermittent)
- Occupation du sol** (urbaine, agricole, naturelle, zone protégée / classée)
- Sources de pressions** (points de prélèvements, forage, STEP, axes routiers, plans d'eau sur cours, sites industriels ...)

Légende

- | | | | |
|------------------------|---|---|---|
| Tête de bassin versant | ■ | Occupation du sol | ■ |
| Bassin versant | ■ | Cultures permanentes | ■ |
| Réseau hydrographique | — | Forêts | ■ |
| | | Prairies | ■ |
| | | Terres arables | ■ |
| | | Zones agricoles hétérogènes | ■ |
| | | Zones humides intérieures | ■ |
| | | Zones industrielles ou commerciales et réseaux de communication | ■ |
| | | Zones urbanisées | ■ |

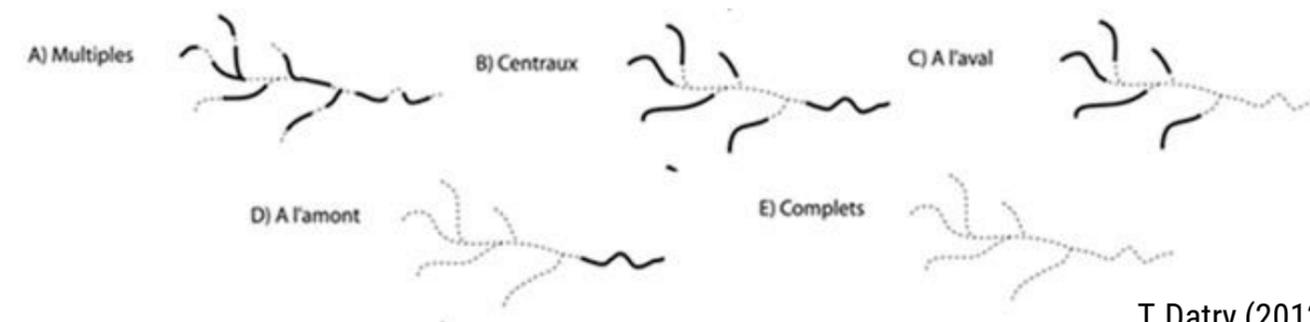
Protocole de terrain

Objectifs des campagnes de terrain

- **Densifier le réseau ONDE** sur la tête de bassin afin de **cartographier finement l'évolution spatio-temporelle** des modalités d'écoulements sur la période d'étiage (mai - octobre) en se basant sur le protocole existant (résultats compatibles ONDE / Enquêt'eau)
- Relever des **paramètres complémentaires (physico-chimie, hauteur d'eau ...)** susceptibles d'apporter des éléments de compréhension (comparaison entre les secteurs.) sur les **patterns d'assèchement** lors de la phase d'analyse

Les patterns d'assèchement

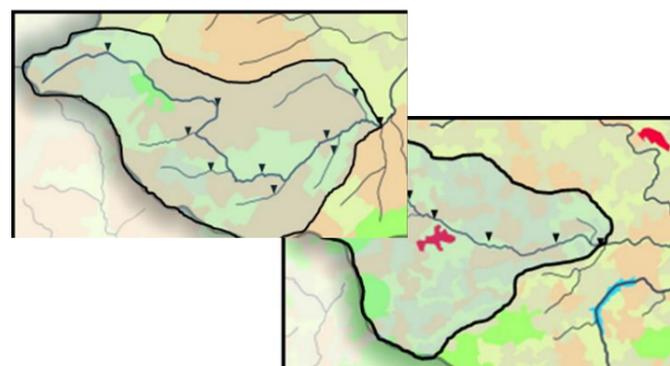
Cartographie du schéma d'évolution de l'assèchement sur le réseau hydrographique d'une tête de bassin.



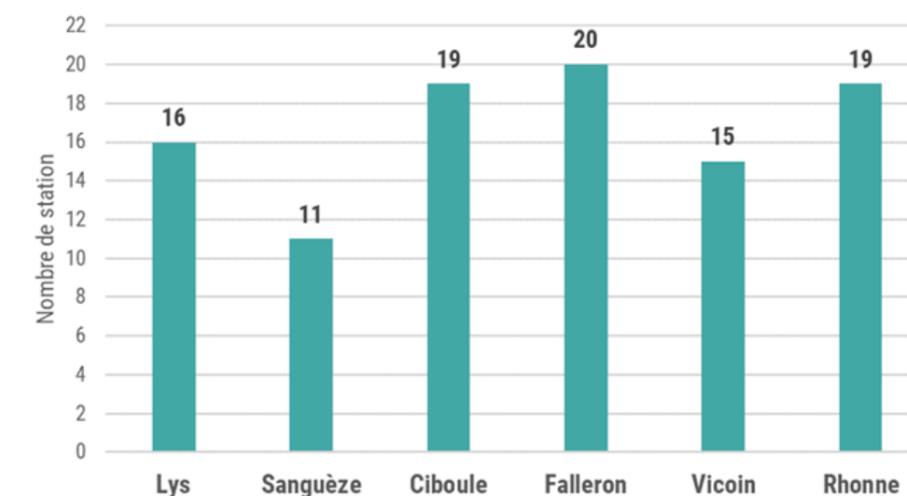
Définition & positionnement des stations

- Une station / point d'observation = un linéaire prospectable de 30 à 50 mètres selon la largeur du cours d'eau
- L'approche de positionnement : être le plus **représentatif** en positionnant un **maximum de point** pour une journée de prospection.

- Principaux **critères de positionnement** :
 - réseau hydrographique (longueur / confluence)
 - source de pression potentielle (occupation du sol, point de prélèvement, plan d'eau)



- **100 stations** d'observations positionnées sur les 6 secteurs soit entre 10 et 20 par tête de bassin



Contenu du protocole

- Protocole composé de 2 phases complémentaires :

- 1) **Description** de chaque **station d'observation** positionnée sur les têtes de bassin réalisée lors de la **première campagne de terrain** (juin 2021).

- 2) **Relevé de terrain** qui vise à observer et consigner les **modalités d'écoulement** pour chaque station positionnée ainsi que les **paramètres complémentaires**

- Saisie sur tablette et bancarisation automatique des observations grâce à l'application **SURVEA** développée par ANTEA GROUP

05/01/2023 16:59 Survea - fiche prélèvement finale

fiche prélèvement finale

Caractéristiques du point d'observation

SELECTIONNER VOTRE BASSIN VERSANT

Ciboule Falleron Lys
 Sangueze Rhonne Vicoin

SELECTIONNER LE NUMÉRO DE VOTRE POINT

DATE DE RELEVÉ :
yyyy-mm-dd hh:mm

MÉTÉO :

Soleil Soleil couvert Nuageux
 Pluie courte ou bruine Pluie

Conditions d'écoulement

MODALITÉ D'ÉCOULEMENT :

Débordement
 Visible
 Visible faible
 Non visible
 Assec
 Hyporhéique

PHOTO ÉCOULEMENT AMONT
Cliquez ici pour téléverser un fichier. (< 20MB)

PHOTO ÉCOULEMENT AVANT
Cliquez ici pour téléverser un fichier. (< 20MB)

<https://survea.geo-hyd.net/form/x/PyNUF8mp>

05/01/2023 16:59 Survea - fiche prélèvement finale

PHOTO ÉCOULEMENT MILIEU

Cliquez ici pour téléverser un fichier. (< 20MB)

ASSECHÈMENT DU LINEAIRE :

Pas d'assèchement
 < 25 %
 25 - 50 %
 50 - 75 %
 > 75 %

OBSERVATION(S) COMPLÉMENTAIRE(S) :

Qualité de l'eau

PHOTO LOCALISATION DE LA MESURE
Cliquez ici pour téléverser un fichier. (< 20MB)

TEMPÉRATURE (°C) :

OXYGÈNE DISSOUS (MG/L) :

CONDUCTIVITÉ (MS/CM) :

OBSERVATIONS COMPLÉMENTAIRES :

PROFIL	DISTANCE DE LA STATION (M)	HAUTEUR MOUILLÉE (M)	LARGEUR MOUILLÉE (M)	SUBSTRAT DOMINANT	PRÉLÈVEMENT : DISTANCE DE LA BERGE
RADIER					
MOUILLE					

<https://survea.geo-hyd.net/form/x/PyNUF8mp>

05/01/2023 16:59 Survea - fiche prélèvement finale

PHOTO PROFIL EN LONG (AVEC MÈTRE)

Cliquez ici pour téléverser un fichier. (< 20MB)

Caractéristiques des habitats

	Totale	Partielle	Exondation
PERTE DE CONNECTIVITÉ DES HABITATS DE SURVIE :	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
PERTE DE CONNECTIVITÉ DES HABITATS SOUS BERGES :	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ASSECHÈMENT DES FOSSES :	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ASSECHÈMENT DES RADIER :	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ASSECHÈMENT HYPORHÉIQUE :	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
COMMENTAIRES HABITATS			



<https://survea.geo-hyd.net/form/x/PyNUF8mp>

Les modalités observées



Calendrier des campagnes & premiers éléments de contexte

- Deux campagnes annuelles (2021 / 2022) réalisées entre les mois de mai et d'octobre
- 1087 observations** réalisées sur cette période sur les **100 stations d'observation**
 - 510 relevés en 2021
 - 577 en 2022
- Deux équipes de terrain associées aux mêmes secteurs
 - ANTEA : Ciboule / Falleron / Vicoïn / Rhonne
 - SARL RIVE : Lys / Sanguèze

Campagne de 2021 :

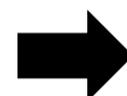
Tête de bassin	Equipe	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
Lys	SARL	-	7/06	5/07	2/08	6/09	4/10
Sanguèze	RIVE	-	8/06	6/07	3/08	7/09	5/10
Ciboule	ANTEA	-	8/06	6/07	3/08	7/09	5/10
Falleron		-	9/06	7/07	4/08	8/09	6/10
Vicoïn		-	10/06	9/07	5/08	9/09	7/10
Rhone		-	11/06	9/07	6/08	10/09	8/10

Campagne de 2022 :

Tête de bassin	Equipe	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
Lys	SARL	25/05	28/06	22/07	25/08	27/09	25/10
Sanguèze	RIVE	24/05	27/06	22/07	25/08	27/09	25/10
Ciboule	ANTEA	30/05	4/07	1/08	29/08	4/10	7/11
Falleron		31/05	5/07	2/08	30/08	5/10	8/11
Vicoïn		1/06	6/07	3/08	31/08	6/10	9/11
Rhone		2/06	7/07	4/08	1/09	7/10	10/11

Identification de postes météo & analyse des données

- Pour chaque tête de bassin, un poste météo jugé représentatif selon deux critères principaux est sélectionné :
 - **L'emprise disponible des chroniques de pluies** (au moins 30 ans) et la **robustesse** des données
 - La **localisation par rapport à la de tête de bassin**
- L'analyse de l'évolution des cumuls précipités est réalisée à partir de chroniques de pluies associées à ces sur les 30 dernières années et à différents pas de temps :
 - Annuelle
 - Mensuelle
 - Décadaire



Objectif : Vérifier l'existence de relation entre modalités d'écoulement et cumuls de pluies à ces différentes échelles temporelles

Tête de bassin	Nom du poste météo	Code poste	Distance centroïde (km)	Chronique disponible	Chronique exploitée
Ciboule	Les Achards	85152001	15.2	1940 – 2022	1989 - 2022
Falleron	Palluau	85169002	11.2	1950 – 2022	
Lys	Lys Haut Layon	49373001	17.8	1950 – 2022	
Rhone	Le Mans	72181001	14.1	1950 – 2022	
Sanguèze	Begrolles-en-Mauges	49027001	17.5	1967 – 2022	
Vicoïn	Launay Villiers	53129001	12.2	1975 – 2021*	



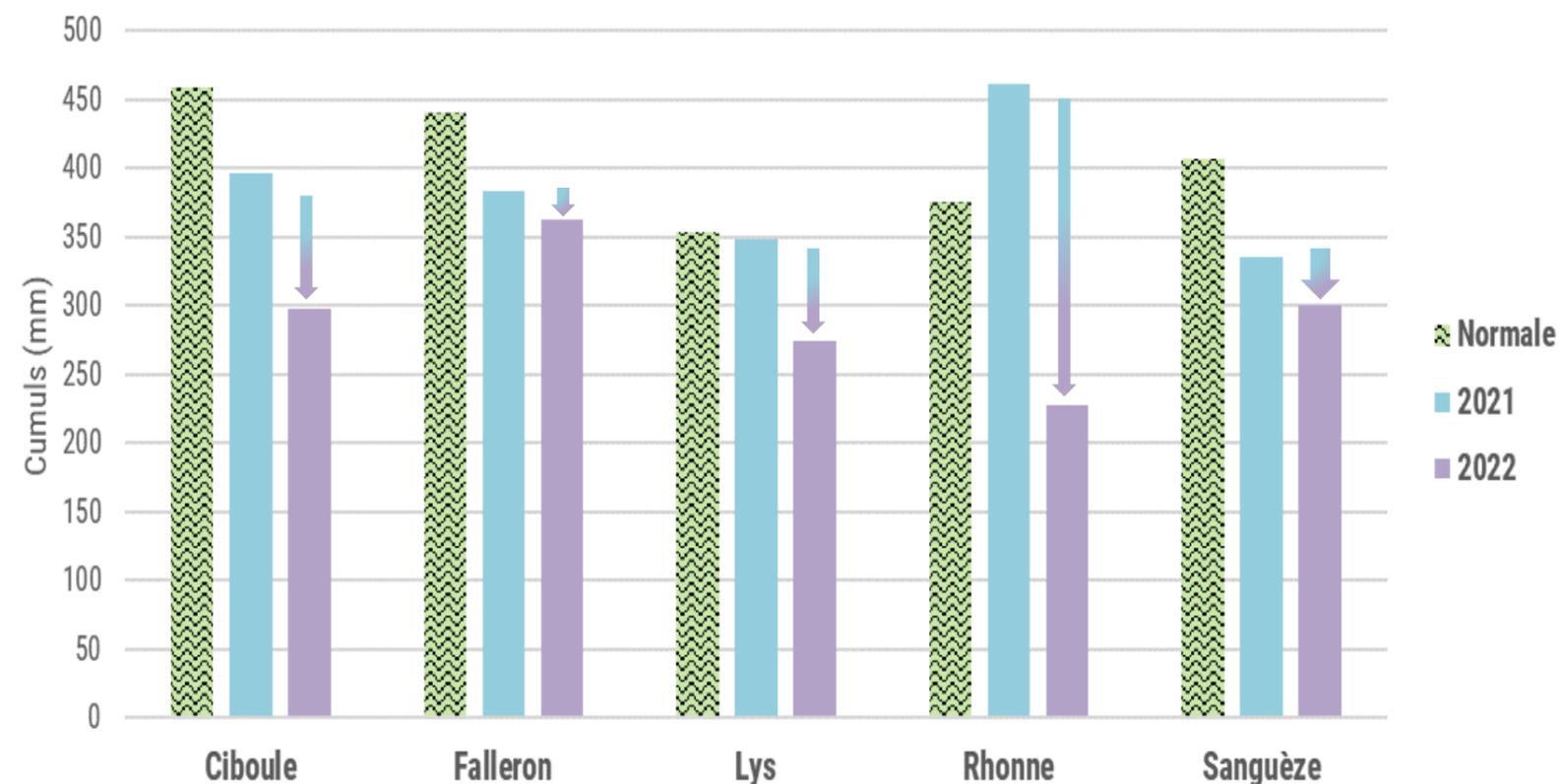
L'indice des Pluies Standardisé (SPI) »:

Indice de probabilité calculé sur 30 ans permettant de mesurer la sécheresse météorologique à partir des précipitations.

☐ Analyse annuelle

- Analyse des cumuls sur les **périodes de prospection terrain** (avril – octobre) sur la chronique **1989 – 2022**
- Cette période est **globalement sèche** sur les **2 années**, bien que **proche de la normale** (au global) selon la méthode de classification du SPI (Esther, BRGM)
- La période de prospection 2022 **est plus sèche que celle de 2021**. Cette variation entre les 2 années est variable selon les secteurs :
 - peu marquée sur le Falleron ou la Sanguèze
 - très marquée sur le Rhonne et la Ciboule.

Cumuls annuels et normales sur la période de prospection



☐ Analyse mensuelle

■ 2021 :

- Les **mois printaniers** sont relativement **humides** en 2021 (mai-juin) malgré un mois d'avril relativement sec (la Ciboule, du Falleron et de la Sanguèze).
- **La période estivale** est relativement **sèche** avec un pic situé sur les **mois d'août et de septembre** sur l'ensemble des bassins. Cette sécheresse semble **plus marquée** sur les bassins de la **Sanguèze** et du **Falleron**.

■ 2022 :

- Les mois printaniers plus secs notamment sur le Rhonne (sécheresse décennale)
- Le mois de **juillet 2022** correspond à une situation **de sécheresse exceptionnelle** avec des **cumuls dix fois inférieurs aux normales**. Le **bassin le plus touché** est celui de la **Ciboule** (sécheresse cinquantennale).
- Les mois suivants restent secs malgré quelques épisodes pluvieux.
- Le mois d'octobre = second épisode de sécheresse qui concerne tous les secteurs (**Ciboule**) avec des cumuls deux fois inférieurs aux normales.

Tête de bassin	Année	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
Ciboule	2021	Modérément sec	Très humide	Modérément humide	Sec - Proche normale			
	2022	Sec - Proche normale		Modérément humide	Extrêmement sec	Sec - Proche normale	Modérément sec	
Falleron	2021	Modérément sec	Humide - Proche normale	Modérément humide	Sec - Proche normale			
	2022	Sec - Proche normale			Très sec	Humide - Proche normale		
Lys	2021	Modérément sec	Humide - Proche normale	Modérément humide	Sec - Proche normale			
	2022	Sec - Proche normale			Très sec	Humide - Proche normale		
Rhone	2021	Sec - Proche normale	Très humide	Modérément humide	Sec - Proche normale			
	2022	Sec - Proche normale	Modérément sec	Humide - Proche normale	Très sec	Sec - Proche normale		
Sanguèze	2021	Modérément sec	Sec - Proche normale	Très humide	Sec - Proche normale	Modérément sec	Sec - Proche normale	
	2022	Humide - Proche normale	Modérément sec	Modérément humide	Très sec	Sec - Proche normale		

Année 2021 (510 observations)

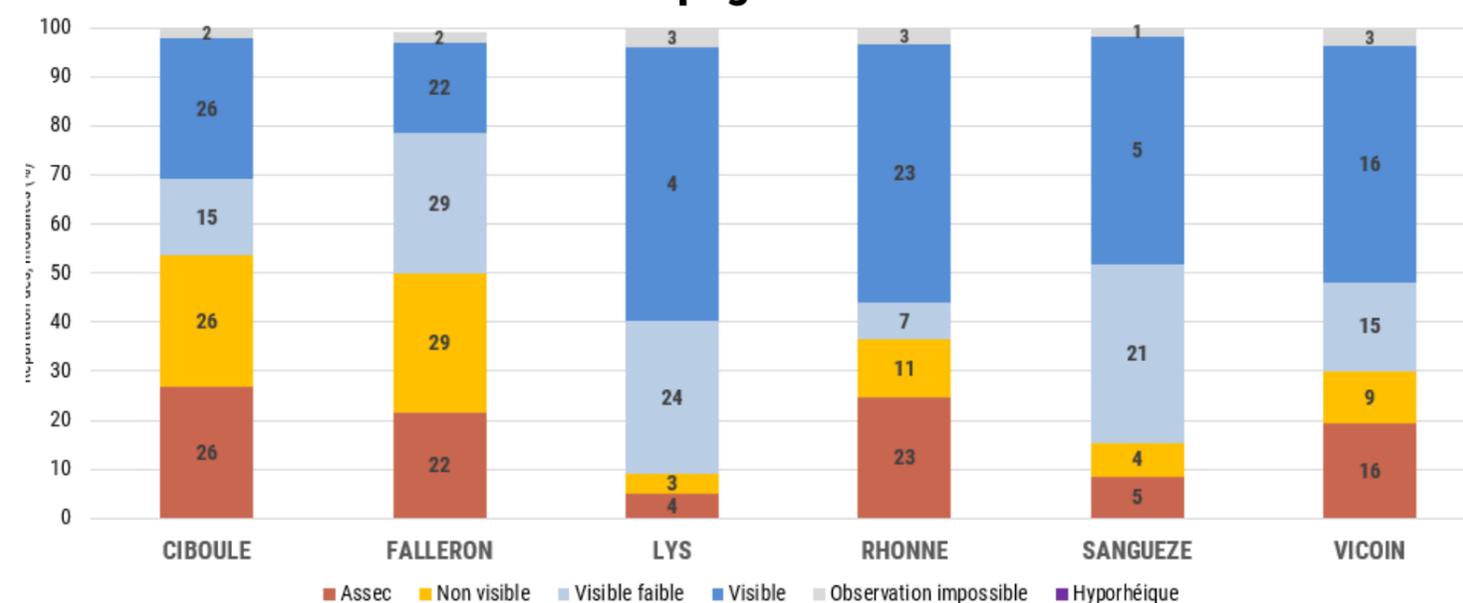
- Distinction de 2 groupes de tête de bassin :
 - **Lys, Sanguèze, Vicoin, Rhonne*** : modalité d'écoulement visible dominante (visible / visible faible)
 - **Ciboule & Falleron** : proportions d'écoulements non visibles et d'assecs plus importantes

* Rhonne se situe entre les deux groupes

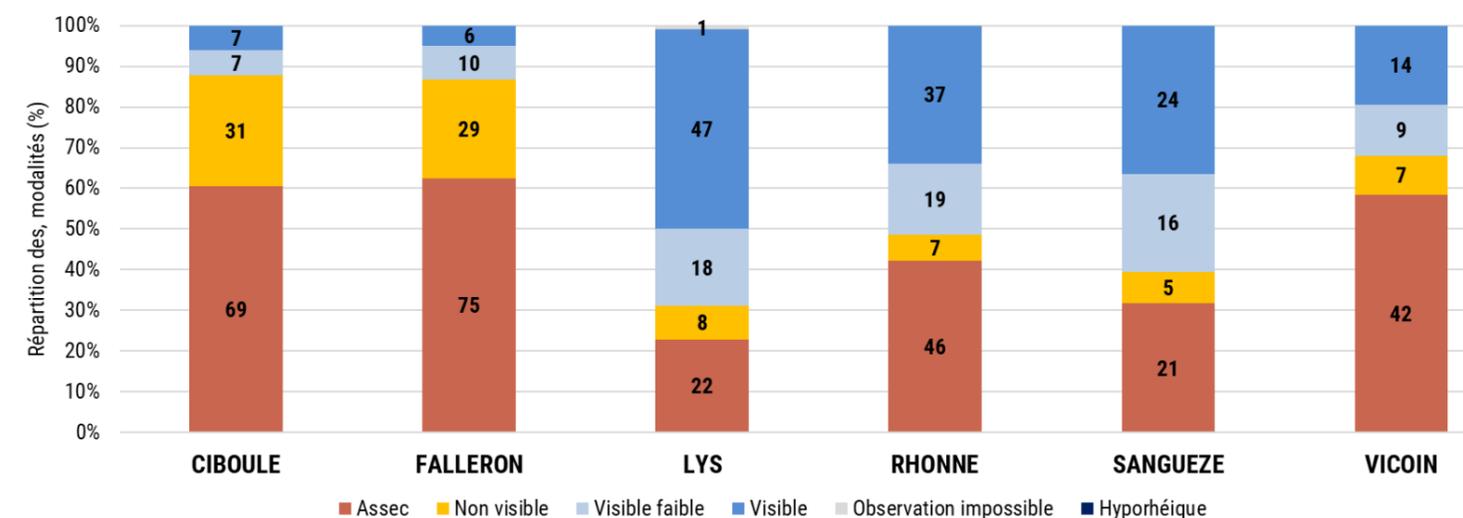
Année 2022 (577 observations)

- Répartition des modalités d'écoulement très différente par rapport à 2021 avec une **proportion d'assèchement observé 3 fois supérieure** en moyenne.
- Les observations **d'assec** représentent jusqu'à 60 % des observations réalisées sur les têtes de bassin du **Falleron**, de la **Ciboule** et du **Vicoin** avec une proportion très faible d'écoulement visible observé.
- Sur les autres bassins (Lys, Rhonne et Sanguèze), la **proportion d'assecs** observés est plus faible
- Sur le bassin du Lys qui semble le moins impacté par la sécheresse de l'été 2022, on note néanmoins une augmentation importante (facteur 4) de cette proportion par rapport à 2021.

Campagne 2021



Campagne 2022

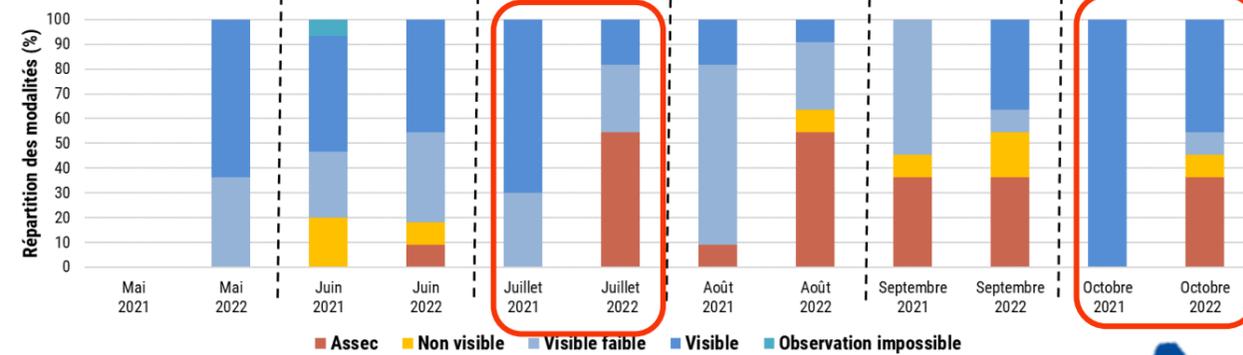


Impact direct de la sécheresse de 2022 sur l'hydrologie des têtes de bassin versant avec une proportion d'assecs multipliée par 3 en moyenne par rapport à 2021. Néanmoins, certains secteurs ont été plus impactés que d'autres (Ciboule, Falleron, Vicoin).

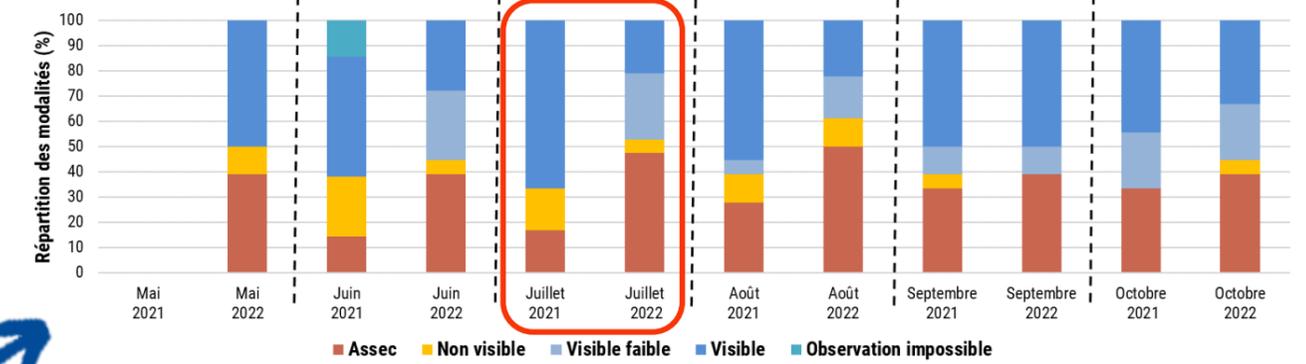
Résultats : Analyse mensuelle des modalités d'écoulement

Phase 3 : Comportement des têtes de bassin versant

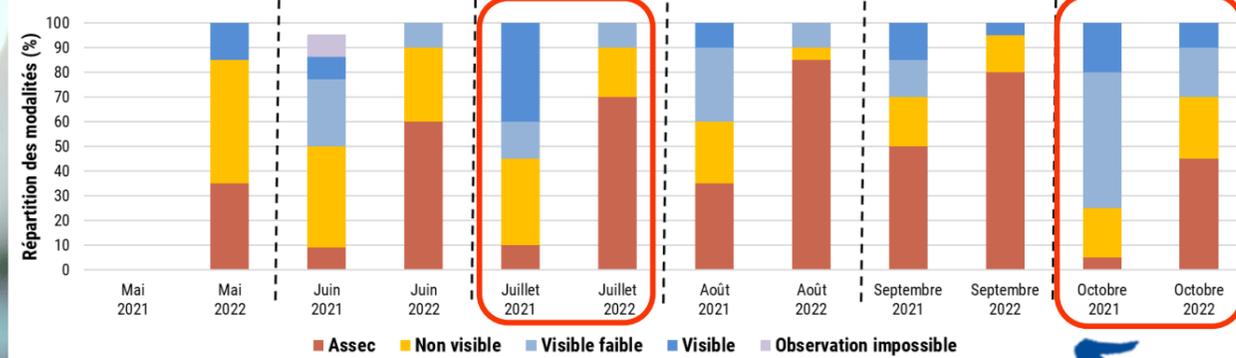
Evolution 2021 - 2022 de la répartition mensuelle des modalités sur **le Vicoin**



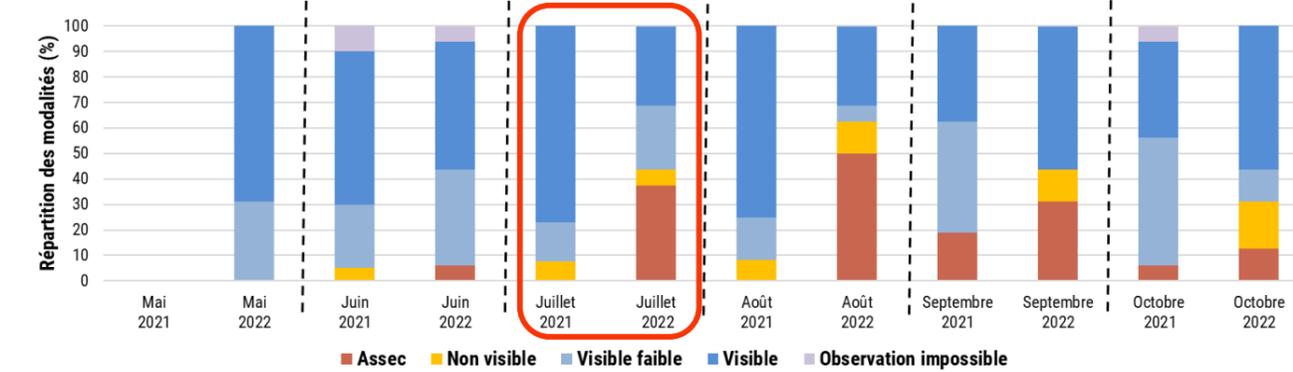
Evolution 2021 - 2022 de la répartition mensuelle des modalités sur **le Rhonne**



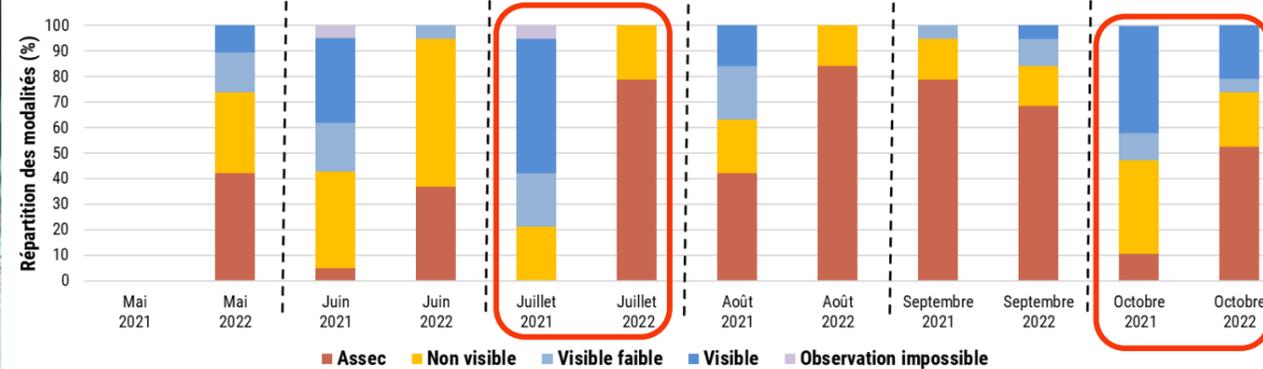
Evolution 2021 - 2022 de la répartition mensuelle des modalités sur **le Falleron**



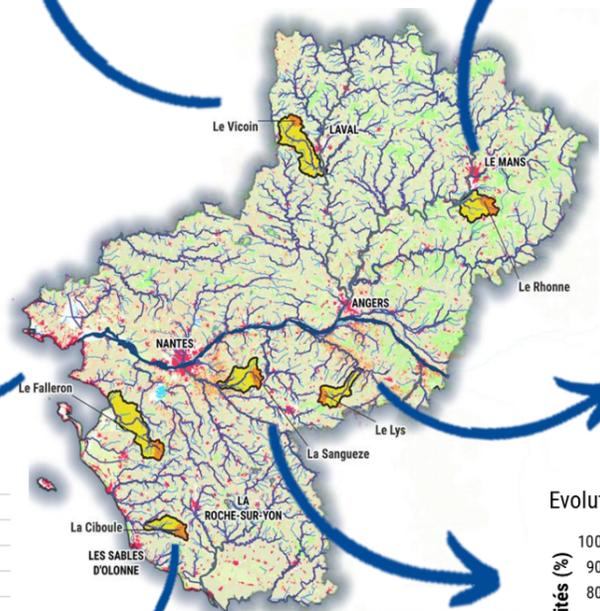
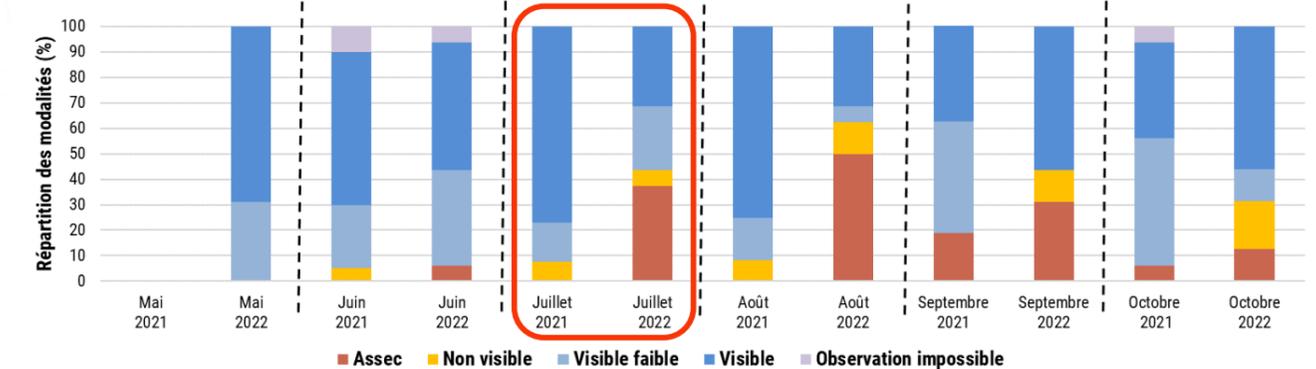
Evolution 2021 - 2022 de la répartition mensuelle des modalités sur **le Lys**



Evolution 2021 - 2022 de la répartition mensuelle des modalités sur **la Ciboule**



Evolution 2021 - 2022 de la répartition mensuelle des modalités sur **la Sanguèze**

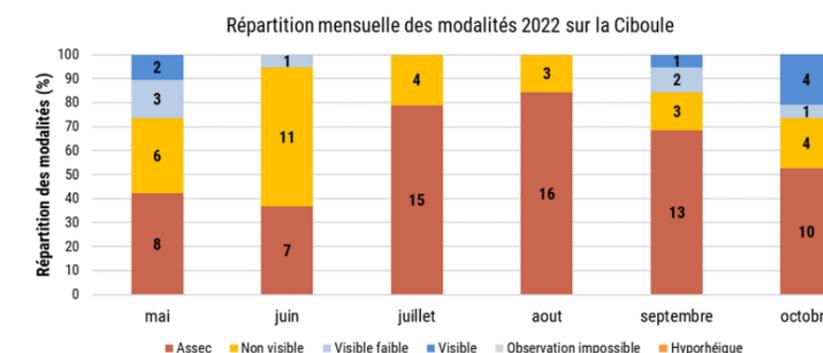
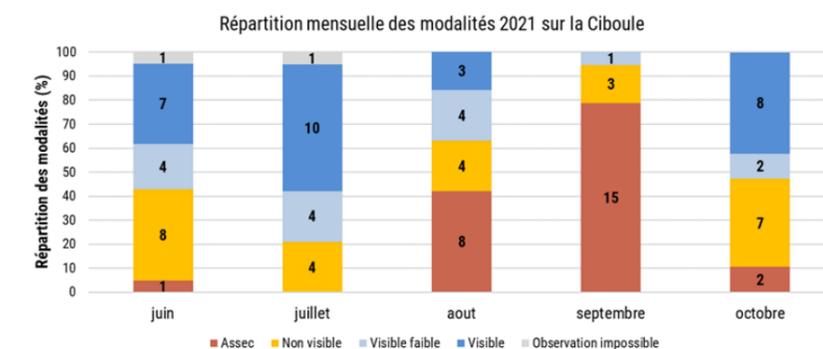
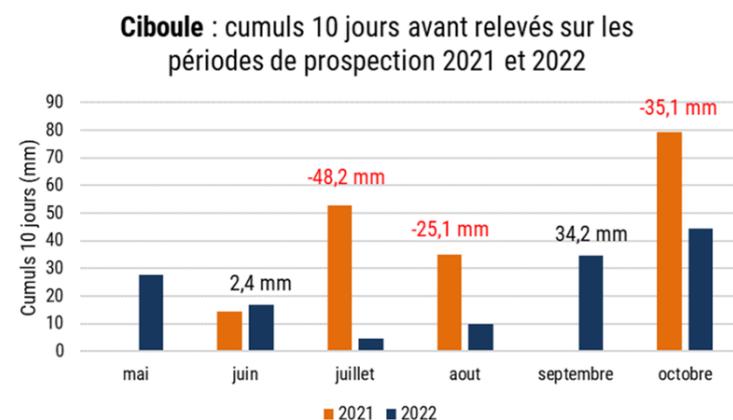


- ➔ L'année 2022 plus sèche que l'année 2021 avec des conséquences visibles sur l'hydrologie des têtes de bassin versant
- Sur les deux années, la sécheresse survient à la même période : 2021 (août / septembre) et 2022 (juillet / octobre) avec néanmoins quelques variations (plus longues sur le Rhonne, plus courtes sur le Lys)
- L'impact de la sécheresse sur les côtiers vendéens (Ciboule, Falleron) semble plus important que sur les autres bassins : facteur 2 à 3 sur les taux d'assèchement.

☐ Analyse des liens avec la météo

- Calcul des **cumuls sur les 10 jours** précédant l'observation
- Visualisation plus fine de l'impact de la sécheresse sur l'écoulement et de la variation interannuelle des cumuls avant relevé.
- Croisement confirme les **relations fortes entre cumuls et modalités d'écoulement**.
- Certaines têtes de bassins sont plus résilientes à la sécheresse (Lys, Sanguèze).

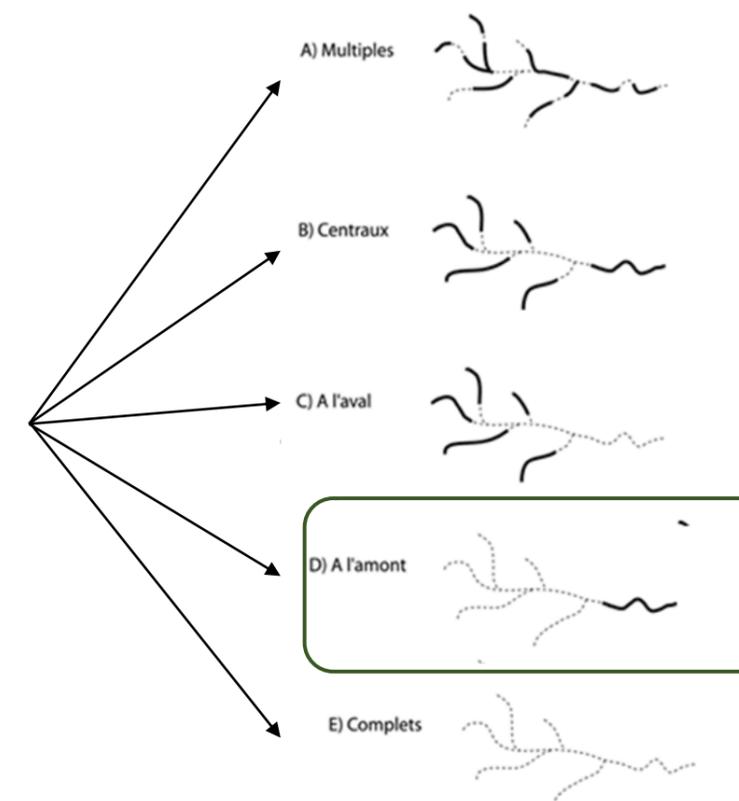
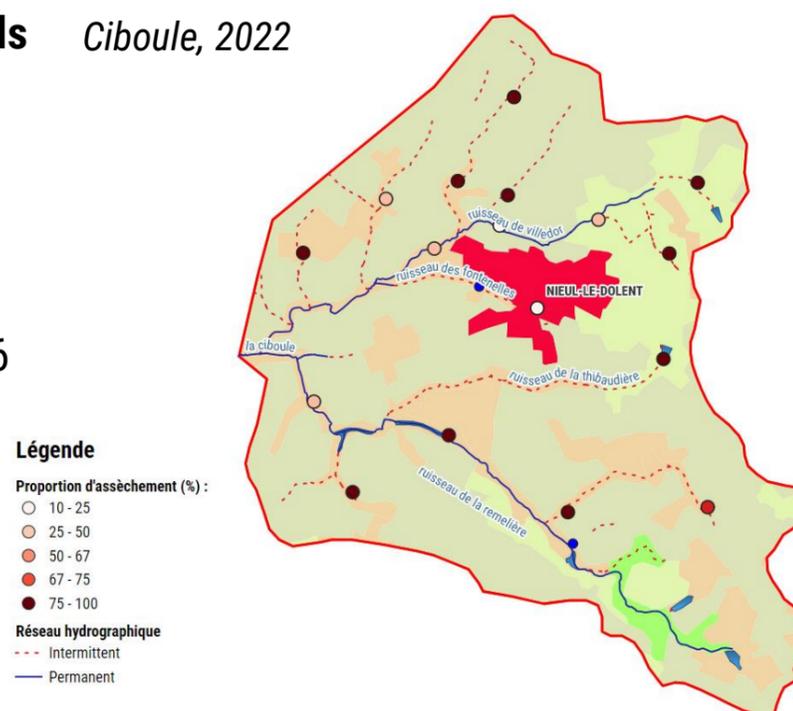
Exemple sur la Ciboule



☐ Identification des patterns d'assèchements

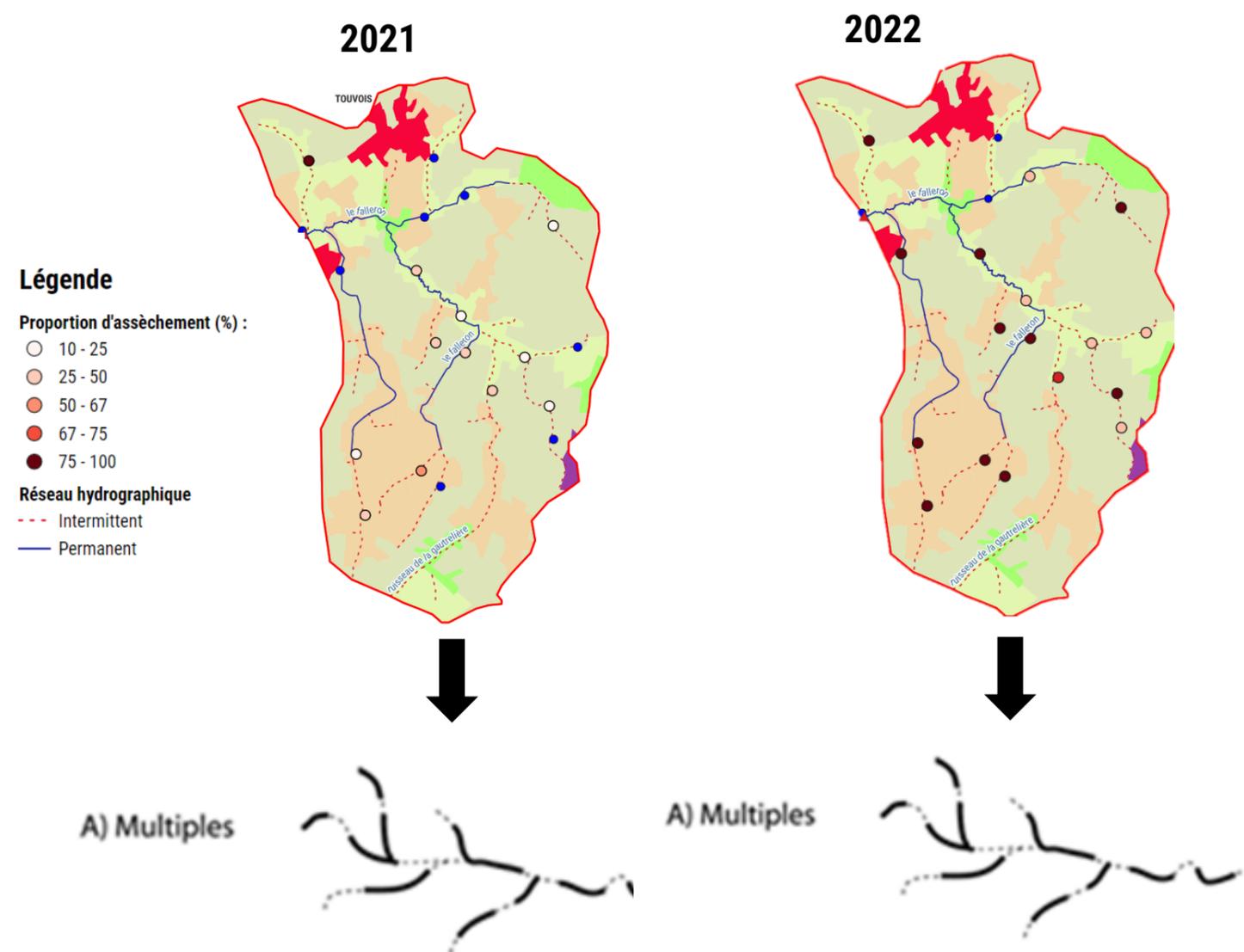
- Analyse cartographique des **taux d'assèchements moyens annuels** (%) sur les points d'observations des 6 secteurs
- Détermination du **pattern d'assèchement dominant** sur chaque tête de bassin
- **3 types de patterns d'assèchements** différents identifiés sur les 6 secteurs pouvant varier selon **l'intensité de la sécheresse** :
 - Amont (**Ciboule, Lys**)
 - Multiple (**Falleron, Sanguèze, Lys**)
 - Multipatterns (Rhonne, Vicoin)

Ciboule, 2022

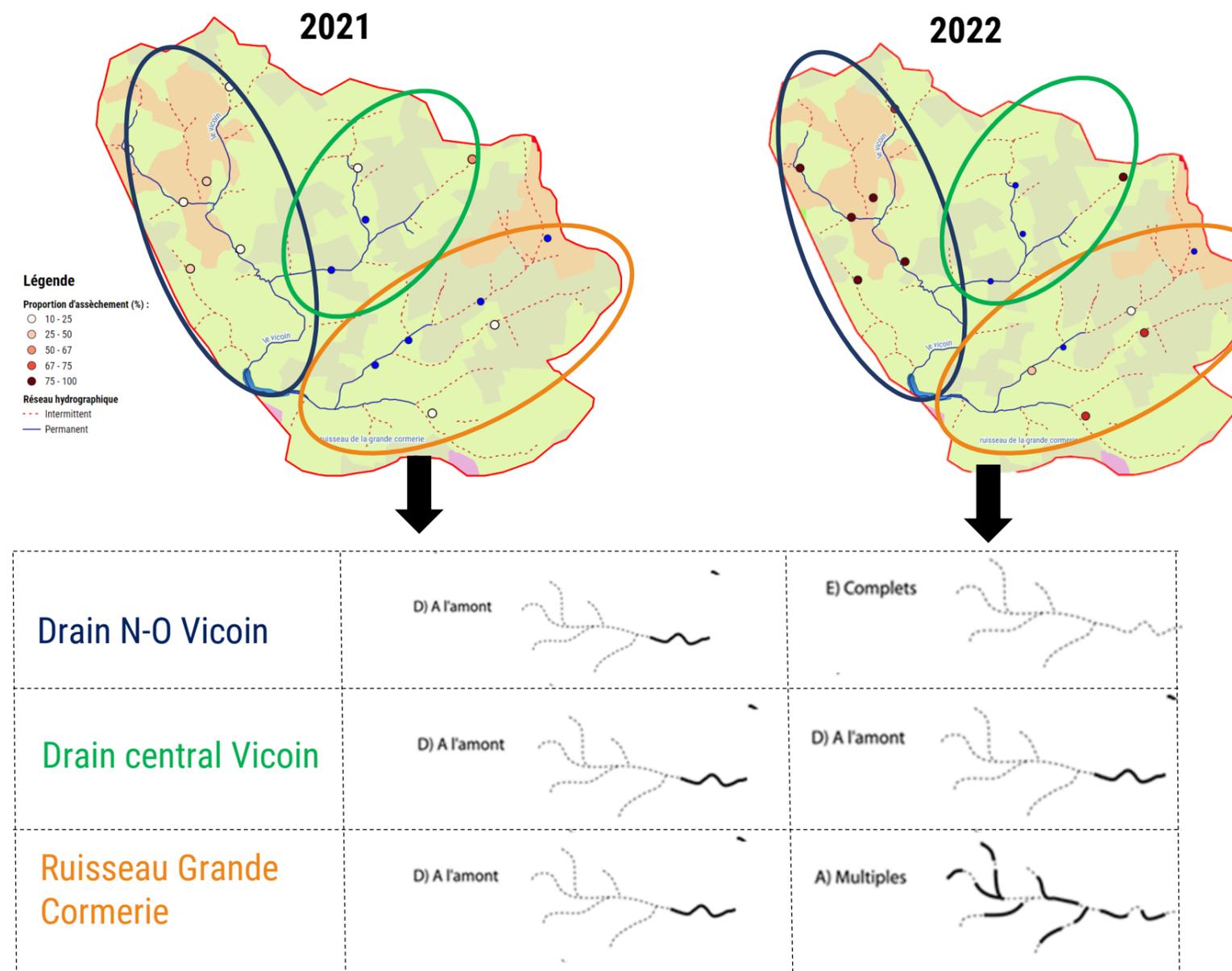


☐ Identification des patterns d'assèchements

■ Cas du Falleron : Pattern « Multiple »

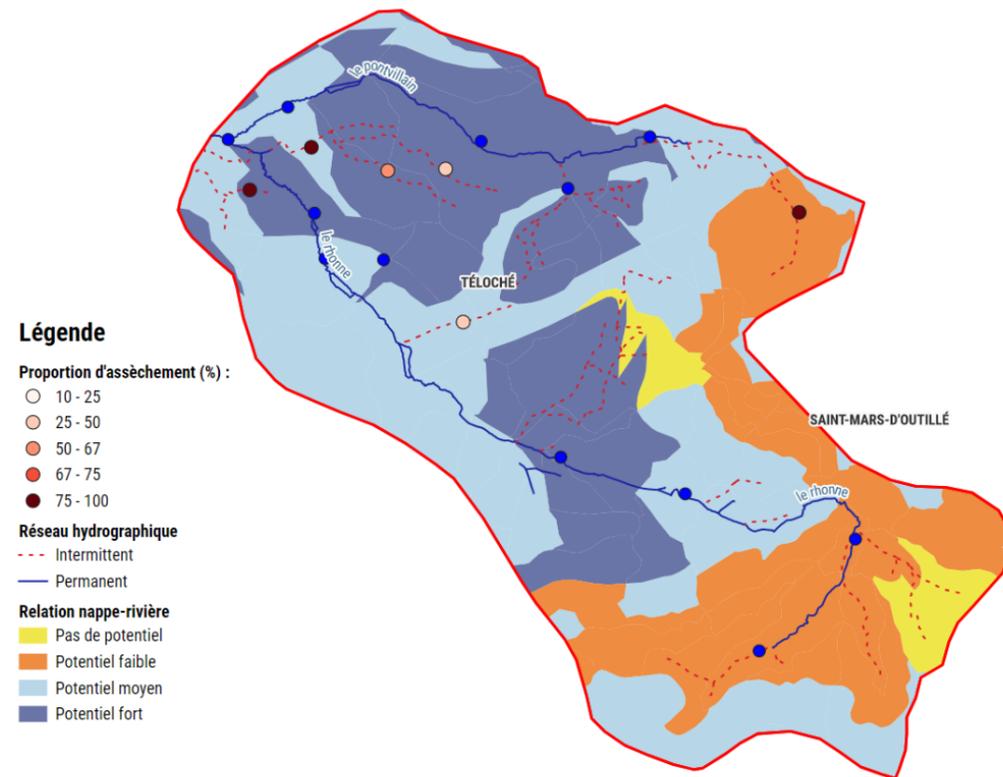


■ Cas du Vicoin : « Multi-patterns »



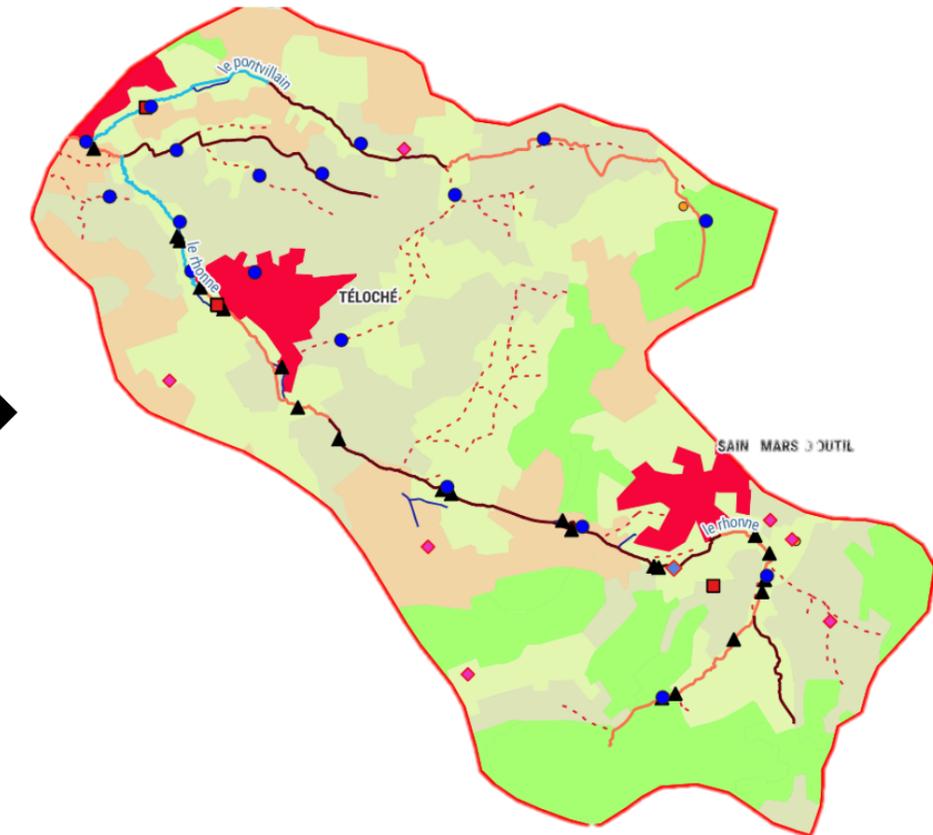
☐ Recherche de facteurs explicatifs liés à l'anthropisation

Hydrographie



Est-ce les taux d'assèchements / patterns peuvent être expliqués, localement, par des variables traduisant des contextes physiques particuliers et des pressions anthropiques ?

Pressions



Légende

- Sites de suivis hydro
- ▲ Station hydrométrique
 - Station ONDE
 - Point d'observation TBV
- Hydrographie
- Tête de bassin versant
 - Plan d'eau

Réseau hydrographique (BD TOPO) :

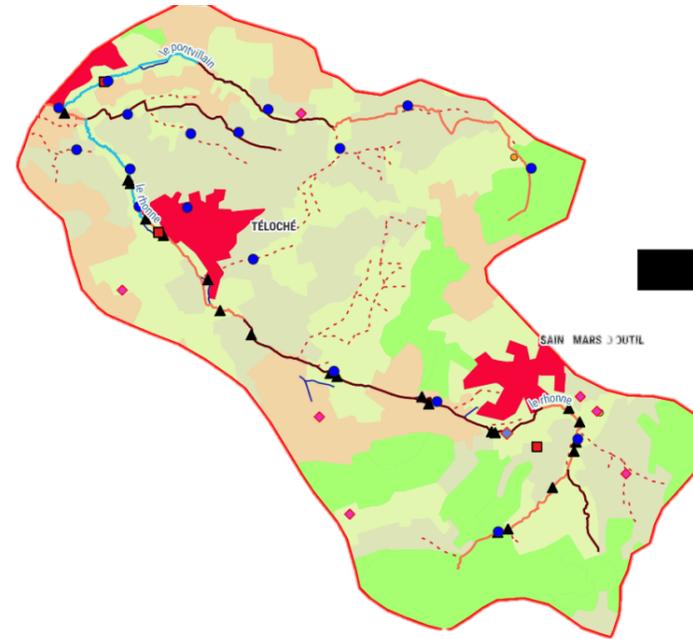
- - - Intermittent
- Permanent

Relation potentielle nappe -rivière (BRGM)

- Pas de potentiel
- Potentiel faible
- Potentiel moyen
- Potentiel fort

❑ Caractérisation des « micro-contextes »

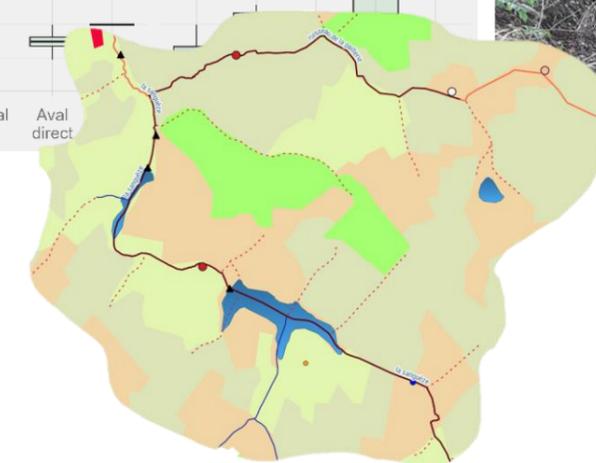
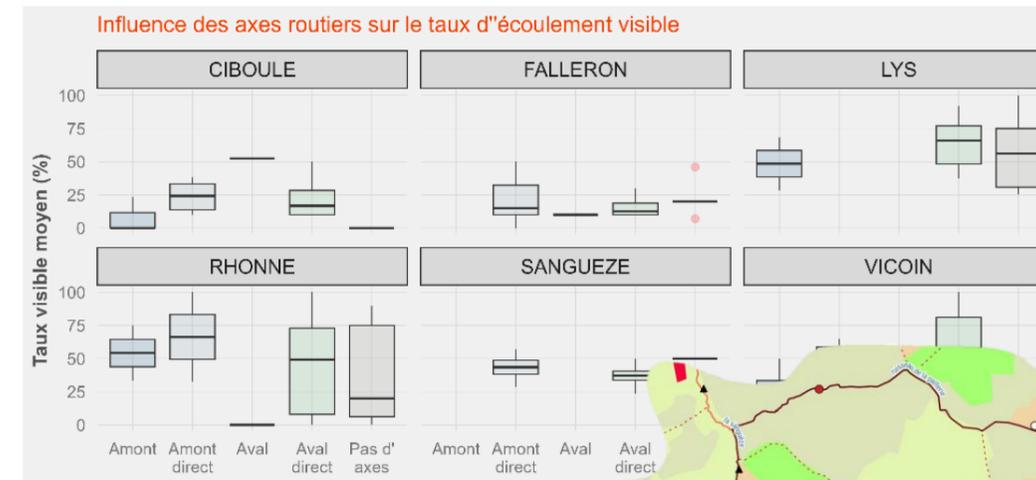
- Caractérisation du **contexte immédiat** de chaque station d'observation.
- Plusieurs variables analysées en lien avec la bibliographie / REX terrain :
 - Hydrographie
 - Relation potentielle nappe- rivière
 - Points de prélèvements
 - Plans d'eau sur cours
 - Ouvrages de franchissements routiers
 - Présence de zones naturelles (forêts, Zones humides).



idtbv	Name	régime	Plans eau	Axes routiers	Point de prélèvements	Forage	Zones naturell	STEP	potentiel relation nr
Rhone	Rhone_01	permanent	amont	aval immédiat	non	non	non	amont	moyen
Rhone	Rhone_02	intermittent	amont	non	non	non	non	non	fort
Rhone	Rhone_03	permanent	amont	amont	non	non	non	amont	moyen
Rhone	Rhone_04	intermittent	amont	non	non	non	non	non	fort
Rhone	Rhone_05	intermittent	amont	non	non	non	non	non	moyen
Rhone	Rhone_06	permanent	non	non	non	non	non	non	fort
Rhone	Rhone_07	permanent	amont	non	amont	non	non	non	moyen
Rhone	Rhone_08	intermittent	amont	non	non	non	amont	non	faible
Rhone	Rhone_09	permanent	amont immédiat	aval immédiat	non	non	non	non	faible
Rhone	Rhone_10	intermittent	aval	non	non	aval	amont	non	faible
Rhone	Rhone_11	permanent	non	aval immédiat	non	non	non	non	fort
Rhone	Rhone_12	intermittent	amont immédiat	aval immédiat	non	non	non	non	fort
Rhone	Rhone_13	permanent	non	amont immédiat	amont	non	non	non	fort
Rhone	Rhone_14	intermittent	aval	aval immédiat	non	non	non	non	fort
Rhone	Rhone_15	intermittent	amont	aval immédiat	non	non	non	non	fort
Rhone	Rhone_16	permanent	amont	amont immédiat	non	non	non	amont	fort
Rhone	Rhone_17	intermittent	non	aval	non	non	non	non	moyen
Rhone	Rhone_18	permanent	amont immédiat	amont	non	non	non	aval	moyen

❑ Analyse des relations

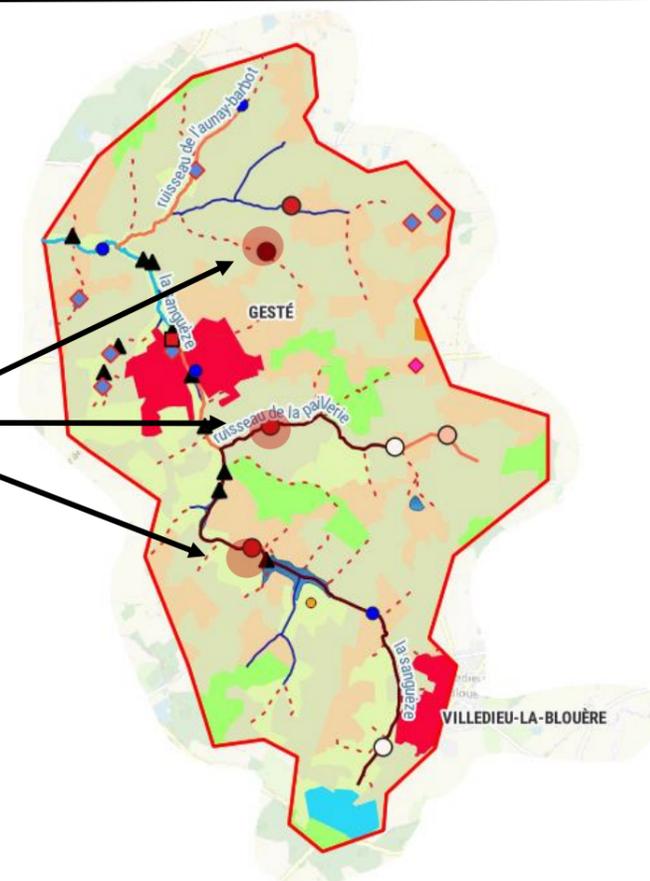
- Analyse statistique de « la corrélation » entre modalités d'écoulement et facteurs de pressions : Effet ?
- Analyse sur carte
- Analyse des photos terrain
- Croisement avec variables de phase 1 (résilience / temps de vidange, sévérité des étiages)
- Formulation d'hypothèses dans certains cas



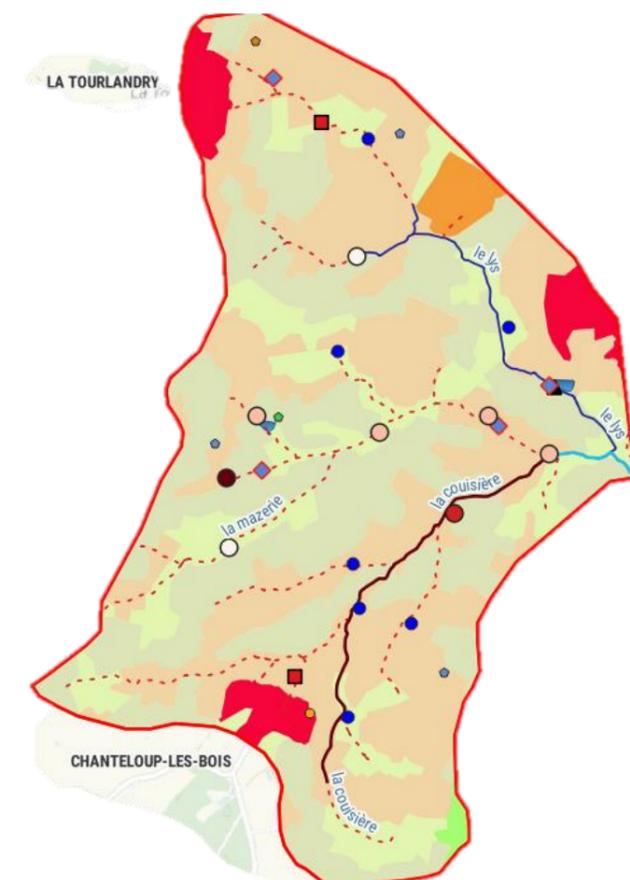
❑ Pistes d'interprétation identifiées

- **Variables en fonction des secteurs caractérisés par des contextes différents**
- Sur les **côtiers vendéens (Falleron, Ciboule)** et partiellement sur le bassin du **Rhone** : secteurs **très réactifs** à la sécheresse avec une proportion importante de **linéaires intermittents** sur lequel on observe bien une tendance à l'assèchement généralisée lors de l'étiage. Les autres facteurs (plans d'eau, axes routiers) semblent avoir un effet plus marqué sur les modalités « non visible » / « visible faible » (point de rupture de l'écoulement).

- Sur le secteur de la **Sanguèze**, le pattern multiple semble lié à la présence de **points de rupture de l'écoulement** (ouvrage de franchissement, plans d'eau) qui s'assèchent.



- Sur le secteur du **Lys**, la « résilience à la sécheresse » semble s'expliquer par la présence de 2 stations d'épuration (Toulandry : 0,2 L/s et Chanteloup : < 0,1 L/s) sur les zones de sources qui soutiennent les débits.



- Sur les 2 secteurs affichant a priori des **fonctionnements plus complexes (Rhone, Vicoïn)**, l'évolution de l'écoulement et les patterns déduits semblent être expliqués par l'effet conjoint de plusieurs facteurs (géologie, occupation des sols.) notamment sur le Rhonne.
- Le rôle des nappes (comportement très différent d'un versant à l'autre) semble avoir un effet qui n'a pas pu être démontré.



☐ Méthode

- Méthode « **ad-hoc** » construite pour répondre à la problématique initiale d'amélioration des connaissances
- **Protocole de terrain simple et répliquable**, inspiré de protocoles existants et éprouvés (ONDE, CARHYCE)
- Analyse des résultats, dépendante des données disponibles (référentiels larges échelles) parfois incomplètes ou pas assez précises

☐ Résultats

- L'étude repose **sur 6 secteurs** évoluant des contextes variés (Phase 1) sur lesquels les secteurs de têtes de bassins ont été identifiés et caractérisés
- Plus de **1000 observations** terrains ont été réalisées sur les **périodes mai – octobre** des années **2021 et 2022**
- L'analyse des résultats montre que les **modalités d'écoulements** semblent très liées **aux conditions météorologiques (pic de sécheresse météorologique = pic de sécheresse hydrologique / assec)**
- L'identification des **patterns d'assèchement** montre néanmoins que ces 6 secteurs présentent **des spécificités** qui leur sont propres (hydrographie, géologie, anthropisation) **qui semblent expliquer les résultats et coïncident avec certains indicateurs de Phase 1.**
- Cette méthode et les résultats qui en sont déduits sont améliorables (méthode de prospection terrain / connaissance des pressions pour l'analyse) constituent **une base de connaissance** sur les bassins sélectionnés.
- **Croisement de ces résultats avec les nombreuses études « têtes de bassin » réalisées ou en cours sur le territoire.**

☐ Documents consultables

- Un rapport technique et ses annexes



- Une synthèse des résultats (en construction)



- Une base de données complète (relevés, contexte, .)



Merci pour votre attention

