

1^{ères} Rencontres de l'Observatoire des EnR et de la Biodiversité

Vers une transition énergétique en harmonie avec la biodiversité, les sols et les paysages

Modifications des régimes hydrologiques par les installations hydroélectriques : principaux impacts et mesures de réduction

Zoom sur les tronçons court-circuités

Sylvain RICHARD, Dominique COURRET, Olivier MERCIER, Pierre SAGNES, Sylvie TOMANOVA

Pôle R&D écohydraulique OFB-IMFT-Pprime



Sommaire

Rappel : rôle structurant des débits

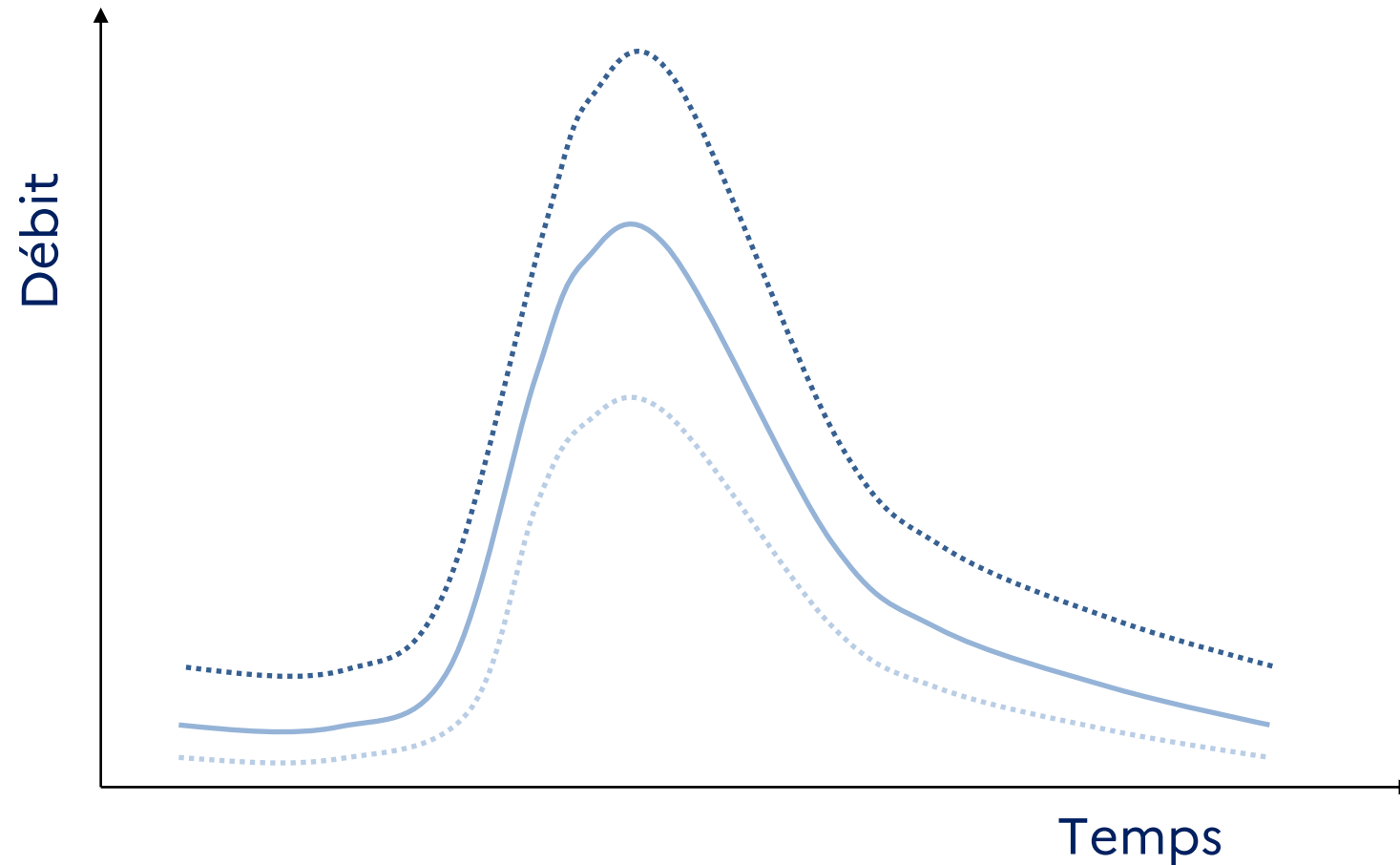
Principaux impacts des modifications hydrologiques dans les tronçons court-circuités

Une démarche d'évaluation des impacts et de proposition de mesures correctives

Conclusions - perspectives



Le débit et ses variations : clés de voute du fonctionnement de l'hydrosystème



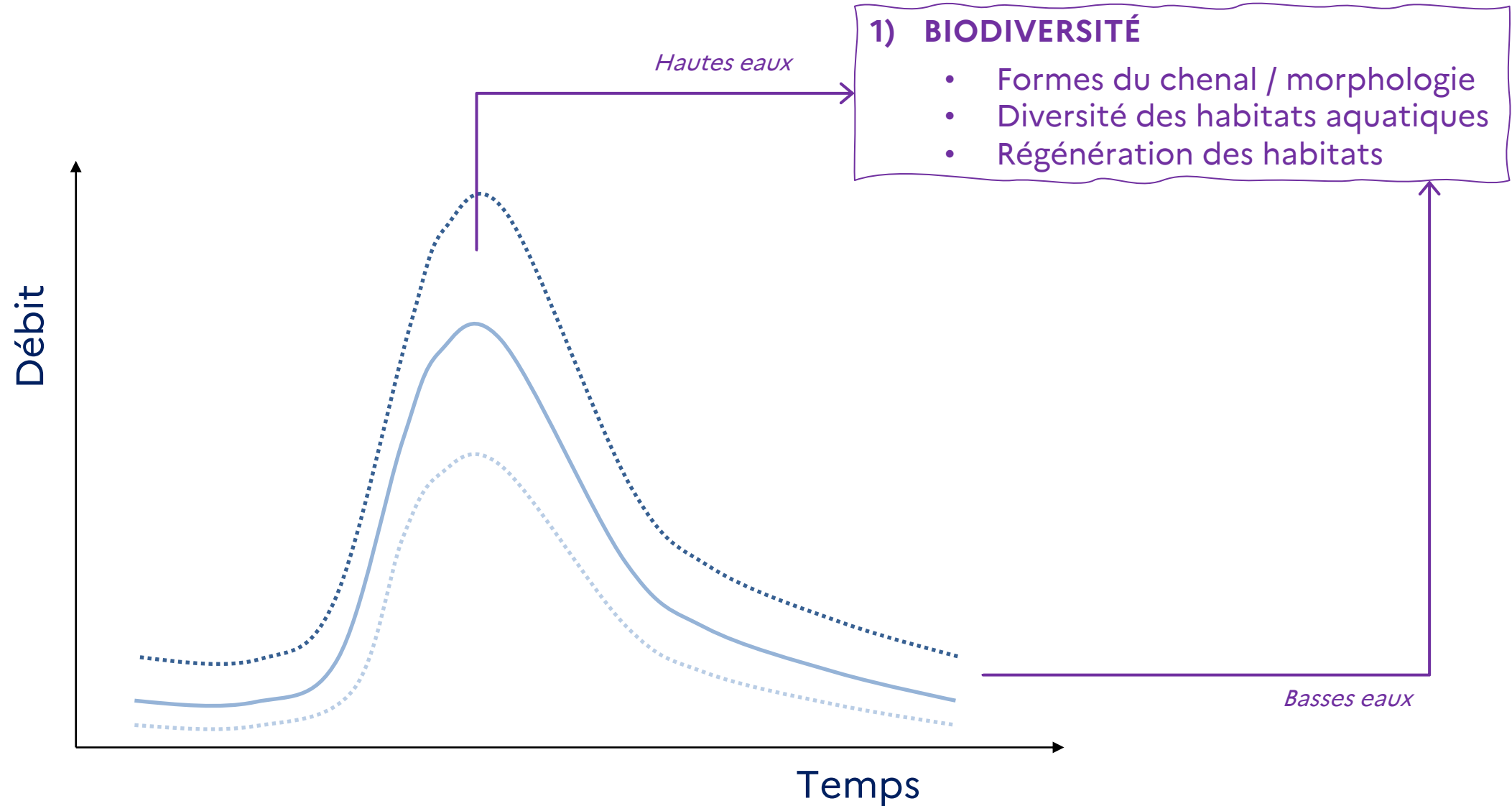
Poff et al., 1997 (<https://www.jstor.org/stable/i256208>)

Bunn & Arthington, 2002 (DOI: [10.1007/s00267-002-2737-0](https://doi.org/10.1007/s00267-002-2737-0))

Baran, 2008 (<https://doi.org/10.1051/lhb:2008068>)

Stanford et al., 1996 ([https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1646\(199607\)12:4/5%3C391::AID-RRR436%3E3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1646(199607)12:4/5%3C391::AID-RRR436%3E3.0.CO;2-4))

Le débit et ses variations : clés de voute du fonctionnement de l'hydrosystème



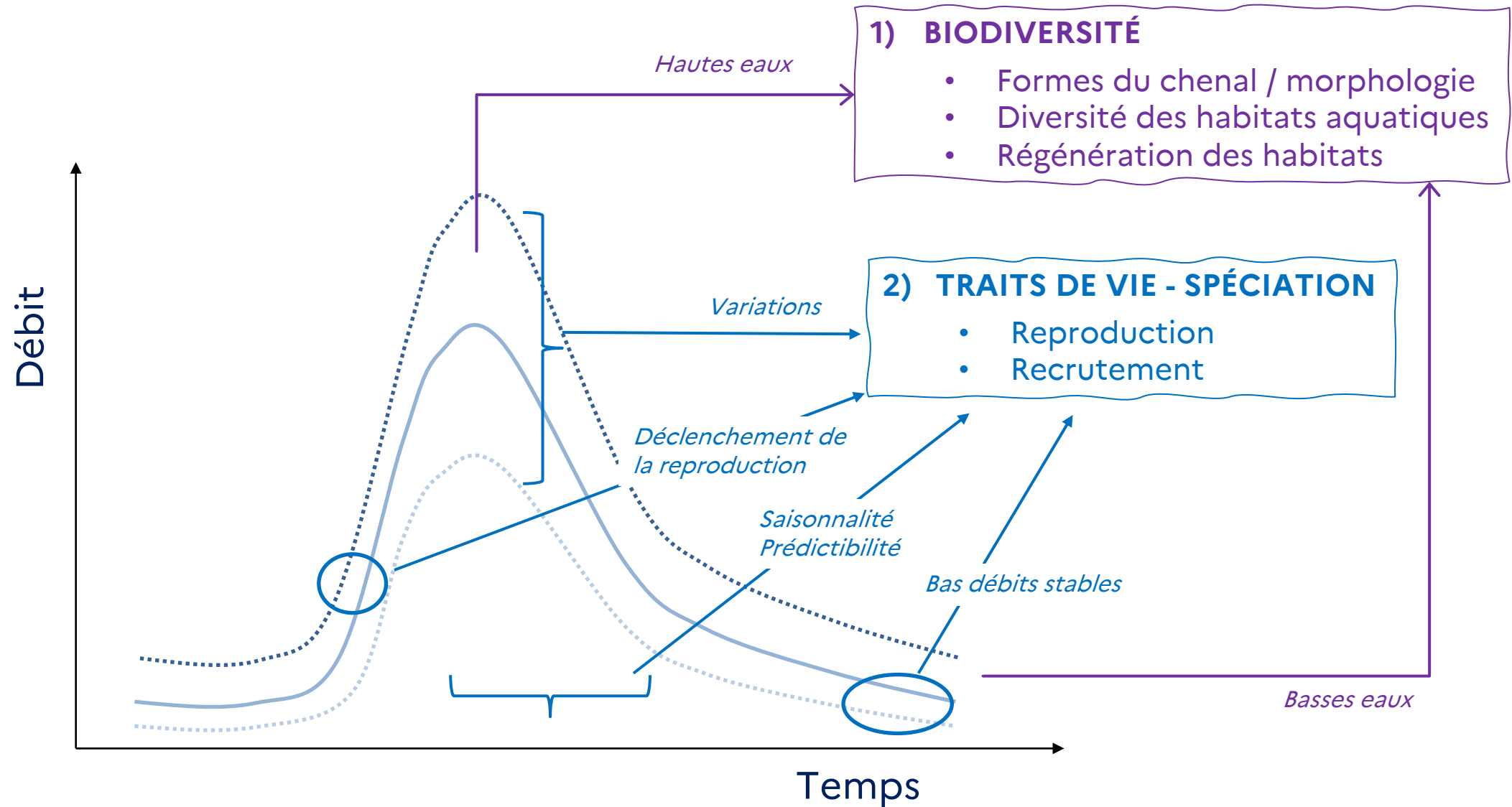
Poff et al., 1997 (<https://www.jstor.org/stable/i256208>)

Bunn & Arthington, 2002 (DOI: 10.1007/s00267-002-2737-0)

Baran, 2008 (<https://doi.org/10.1051/lhb:2008068>)

Stanford et al., 1996 ([https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1646\(199607\)12:4/5%3C391::AID-RRR436%3E3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1646(199607)12:4/5%3C391::AID-RRR436%3E3.0.CO;2-4))

Le débit et ses variations : clés de voute du fonctionnement de l'hydrosystème



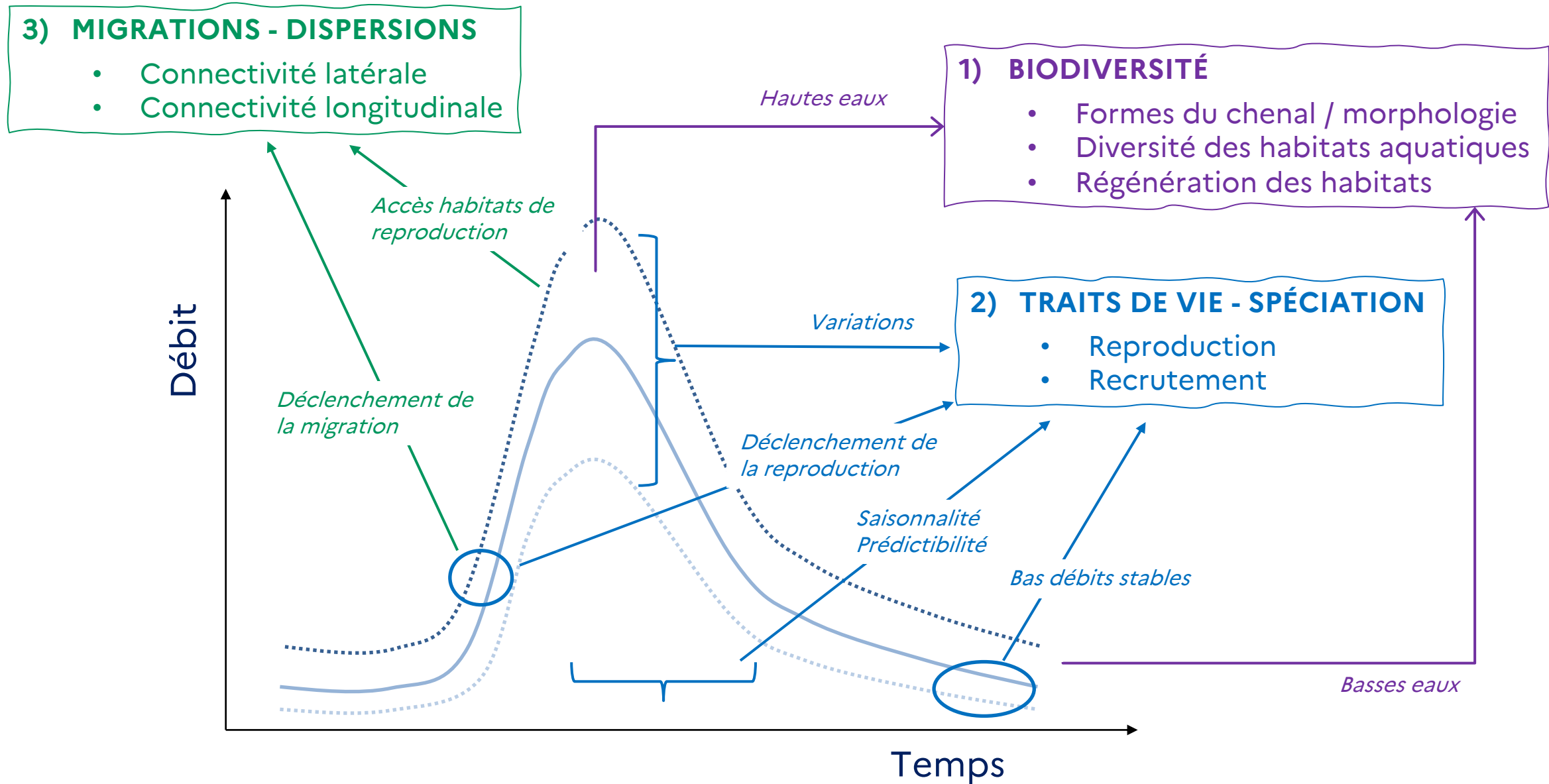
Poff et al., 1997 (<https://www.jstor.org/stable/i256208>)

Bunn & Arthington, 2002 (DOI: 10.1007/s00267-002-2737-0)

Baran, 2008 (<https://doi.org/10.1051/lhb:2008068>)

Stanford et al., 1996 ([https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1646\(199607\)12:4/5%3C391::AID-RRR436%3E3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1646(199607)12:4/5%3C391::AID-RRR436%3E3.0.CO;2-4))

Le débit et ses variations : clés de voute du fonctionnement de l'hydrosystème



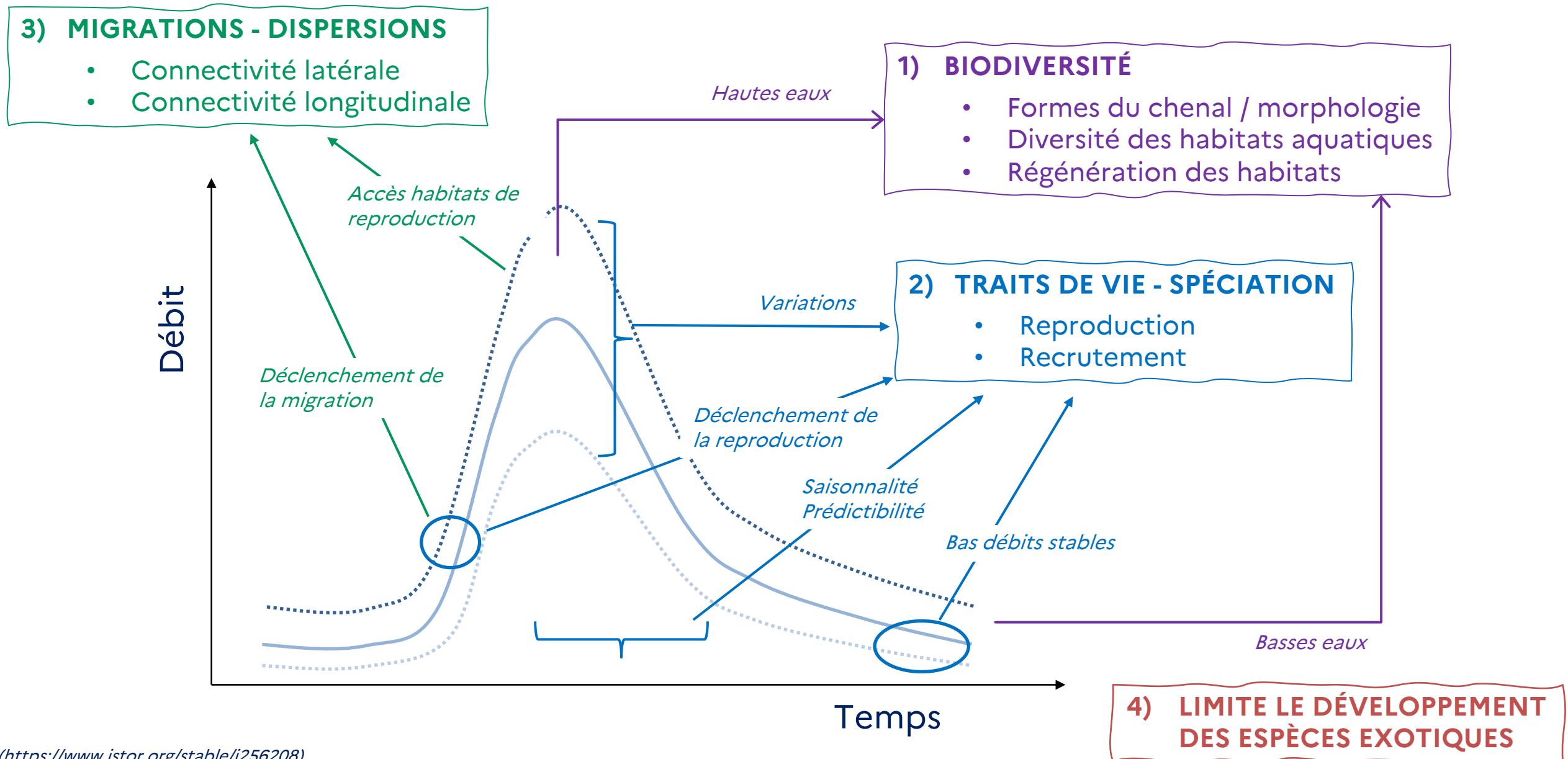
Poff et al., 1997 (<https://www.jstor.org/stable/i256208>)

Bunn & Arthington, 2002 (DOI: 10.1007/s00267-002-2737-0)

Baran, 2008 (<https://doi.org/10.1051/lhb:2008068>)

Stanford et al., 1996 ([https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1646\(199607\)12:4/5%3C391::AID-RRR436%3E3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1646(199607)12:4/5%3C391::AID-RRR436%3E3.0.CO;2-4))

Le débit et ses variations : clés de voute du fonctionnement de l'hydrosystème



Poff et al., 1997 (<https://www.jstor.org/stable/i256208>)

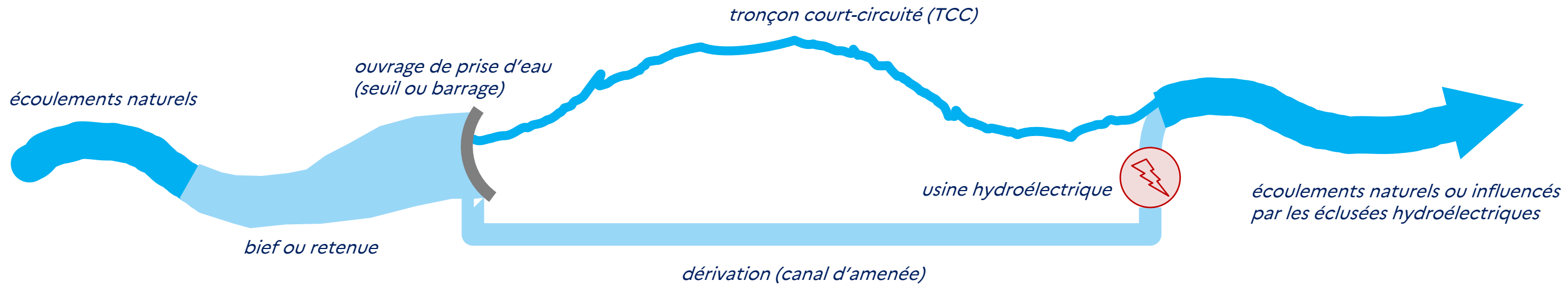
Bunn & Arthington, 2002 (DOI: 10.1007/s00267-002-2737-0)

Baran, 2008 (<https://doi.org/10.1051/lhb:2008068>)

Stanford et al., 1996 ([https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1646\(199607\)12:4/5%3C391::AID-RRR436%3E3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1646(199607)12:4/5%3C391::AID-RRR436%3E3.0.CO;2-4))

Modifications hydrologiques induites par les aménagements hydroélectriques

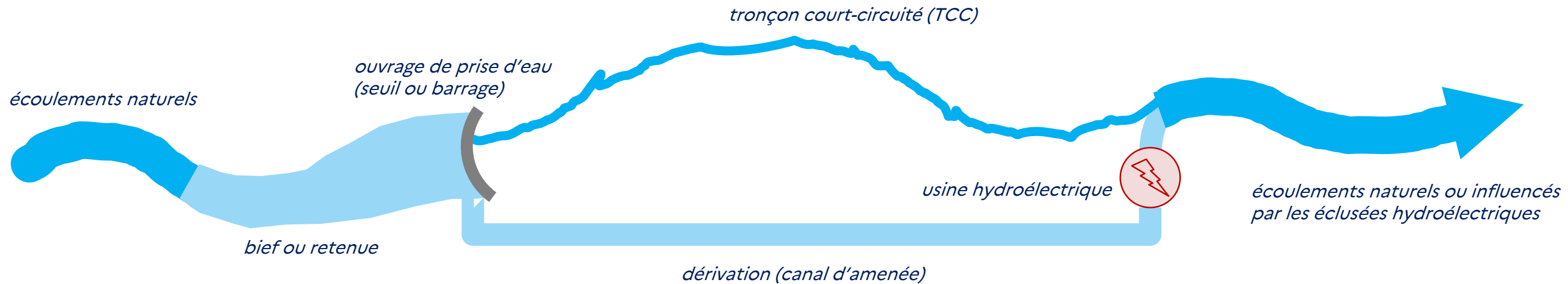
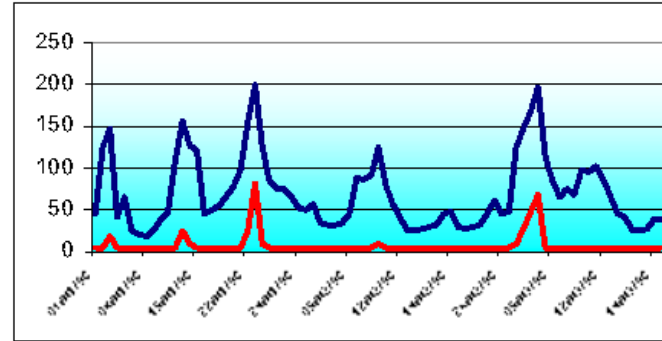
→ Fonctionnement en dérivation – restitution



Modifications hydrologiques induites par les aménagements hydroélectriques

→ Fonctionnement en dérivation – restitution

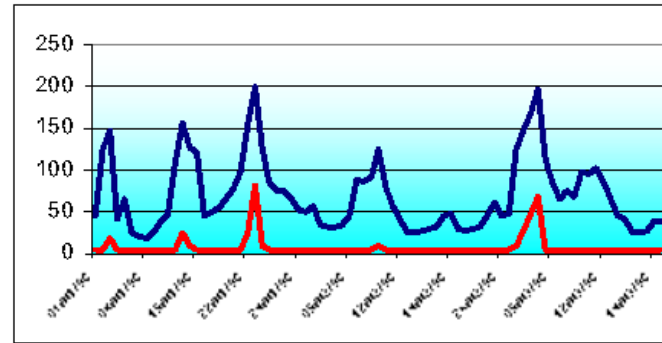
Pour tous les aménagements en dérivation :
Dans le TCC → réductions \pm importantes
du débit



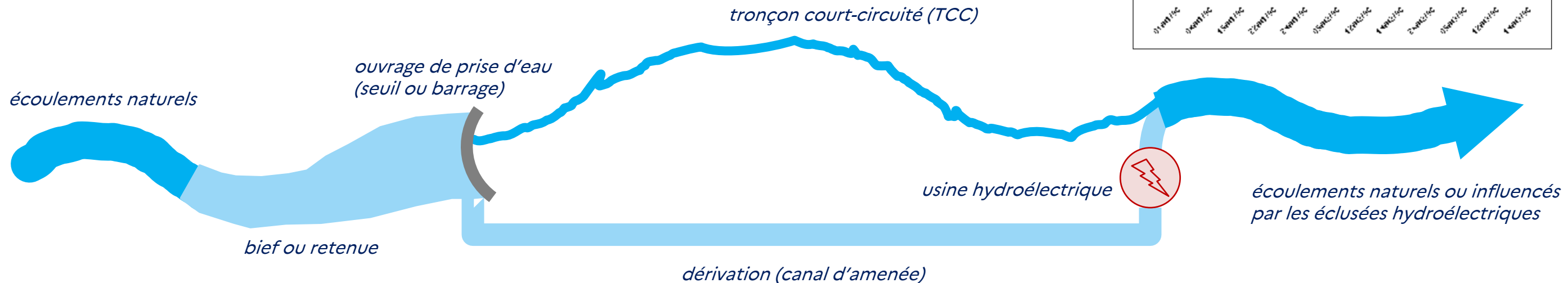
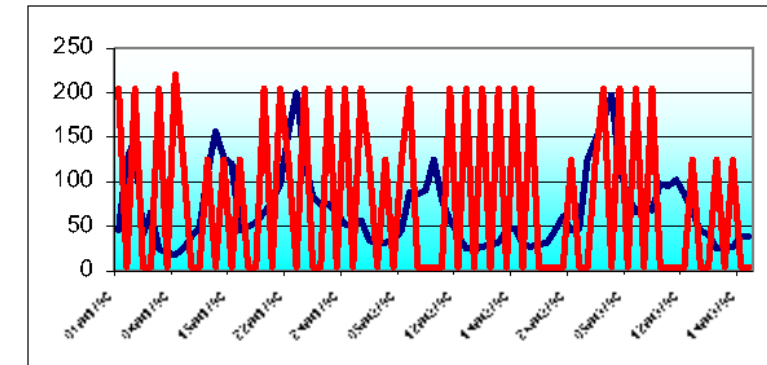
Modifications hydrologiques induites par les aménagements hydroélectriques

→ Fonctionnement en dérivation – restitution

Pour tous les aménagements en dérivation :
Dans le TCC → réductions ± importantes du débit



Si fonctionnement par écluses :
En aval de la restitution → variations brutales (hausses et baisses) de débits selon les mises en route et arrêts des turbines

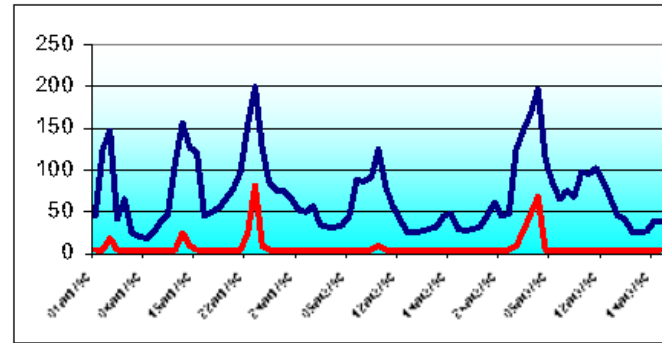


→ Hydroélectricité « de pointe » : capacité de stockage et turbinages ciblés dans le temps (écluses) pour ajuster production et consommation (forte modularité)

Modifications hydrologiques induites par les aménagements hydroélectriques

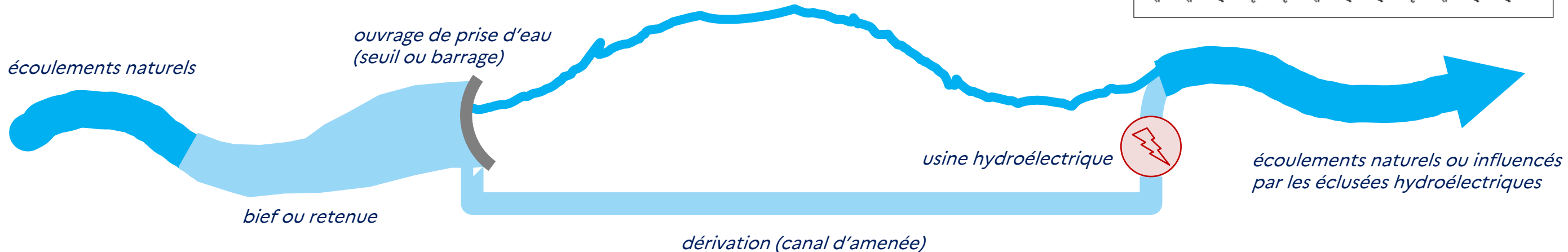
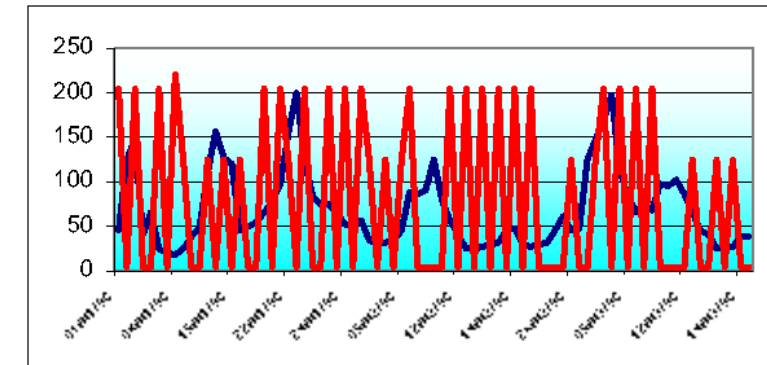
→ Fonctionnement en dérivation – restitution

Pour tous les aménagements en dérivation :
Dans le TCC → réductions ± importantes du débit



tronçon court-circuité (TCC)

Si fonctionnement par écluses :
En aval de la restitution → variations brutales (hausses et baisses) de débits selon les mises en route et arrêts des turbines



→ Hydroélectricité « de pointe » : capacité de stockage et turbinages ciblés dans le temps (écluses) pour ajuster production et consommation (forte modularité)

→ Cumul des modifications à l'échelle des bassins versants

Dans les tronçons court-circuités (entre la prise d'eau et la restitution)



1. Modifications du régime hydrologique

- Toutes les métriques peuvent être modifiées (valeurs, durée, stabilité, saisonnalité)
- **Intensité des modifications hydrologiques selon le débit d'équipement des installations par rapport aux débits moyens naturels**

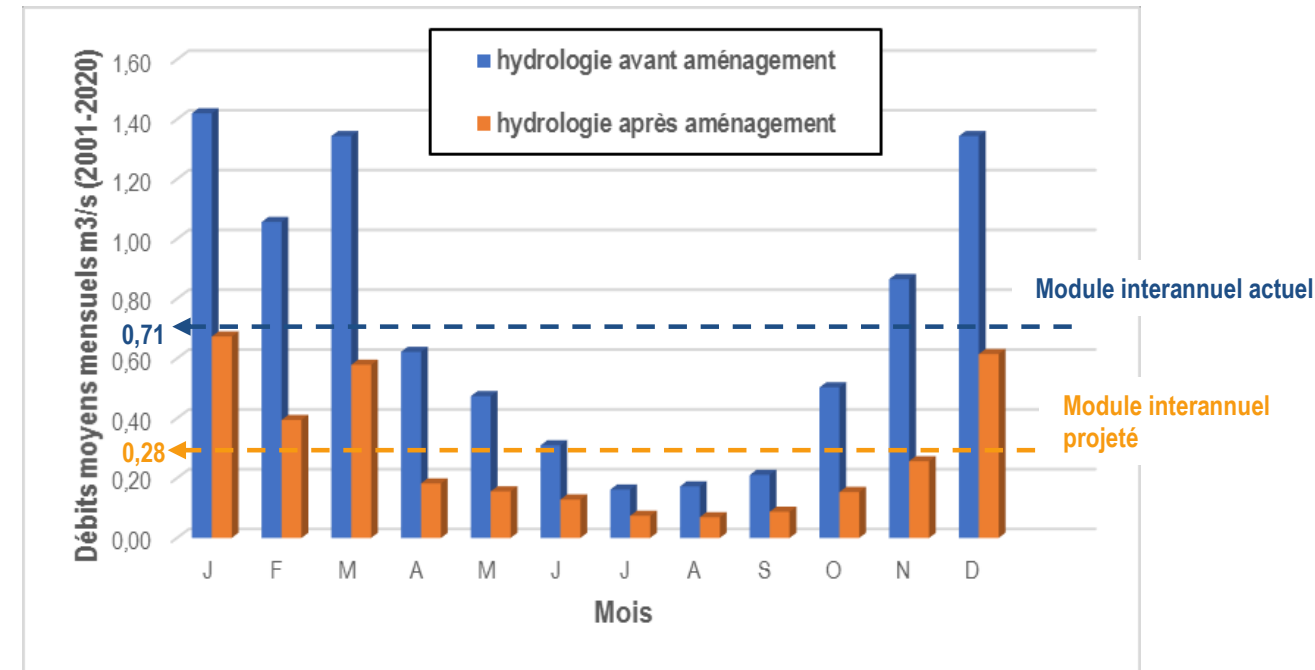
Dans les tronçons court-circuités (entre la prise d'eau et la restitution)

1. Modifications du régime hydrologique

- Toutes les métriques peuvent être modifiées (valeurs, durée, stabilité, saisonnalité)
- **Intensité des modifications hydrologiques selon le débit d'équipement des installations par rapport aux débits moyens naturels**

Exemple aménagement : débit d'équipement de 1.35 m³/s, module du cours d'eau de 750 L/s

- Débits moyens mensuels réduits de 50 à 70%
- Module du TCC réduit de 60%
- Durée de maintien des bas débits :
 - Situation naturelle : 22% du temps sur l'année (soit 80 jours par an)
 - Situation influencée : 70% du temps annuel (soit plus de 250 jours par an)



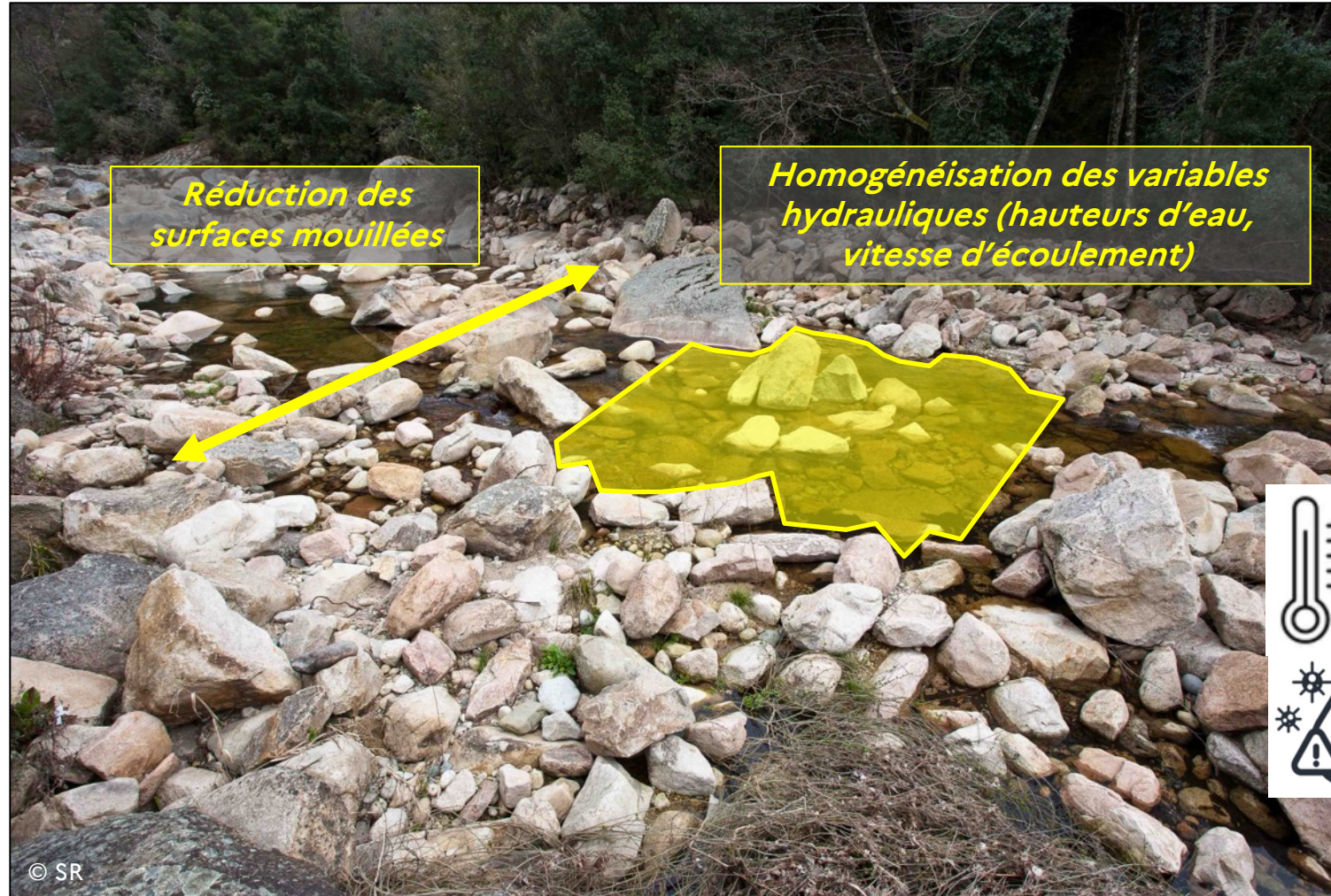
Dans les tronçons court-circuités (entre la prise d'eau et la restitution)

2. Pertes de fonctionnalité des habitats de reproduction, croissance et refuge pour les organismes aquatiques



Dans les tronçons court-circuités (entre la prise d'eau et la restitution)

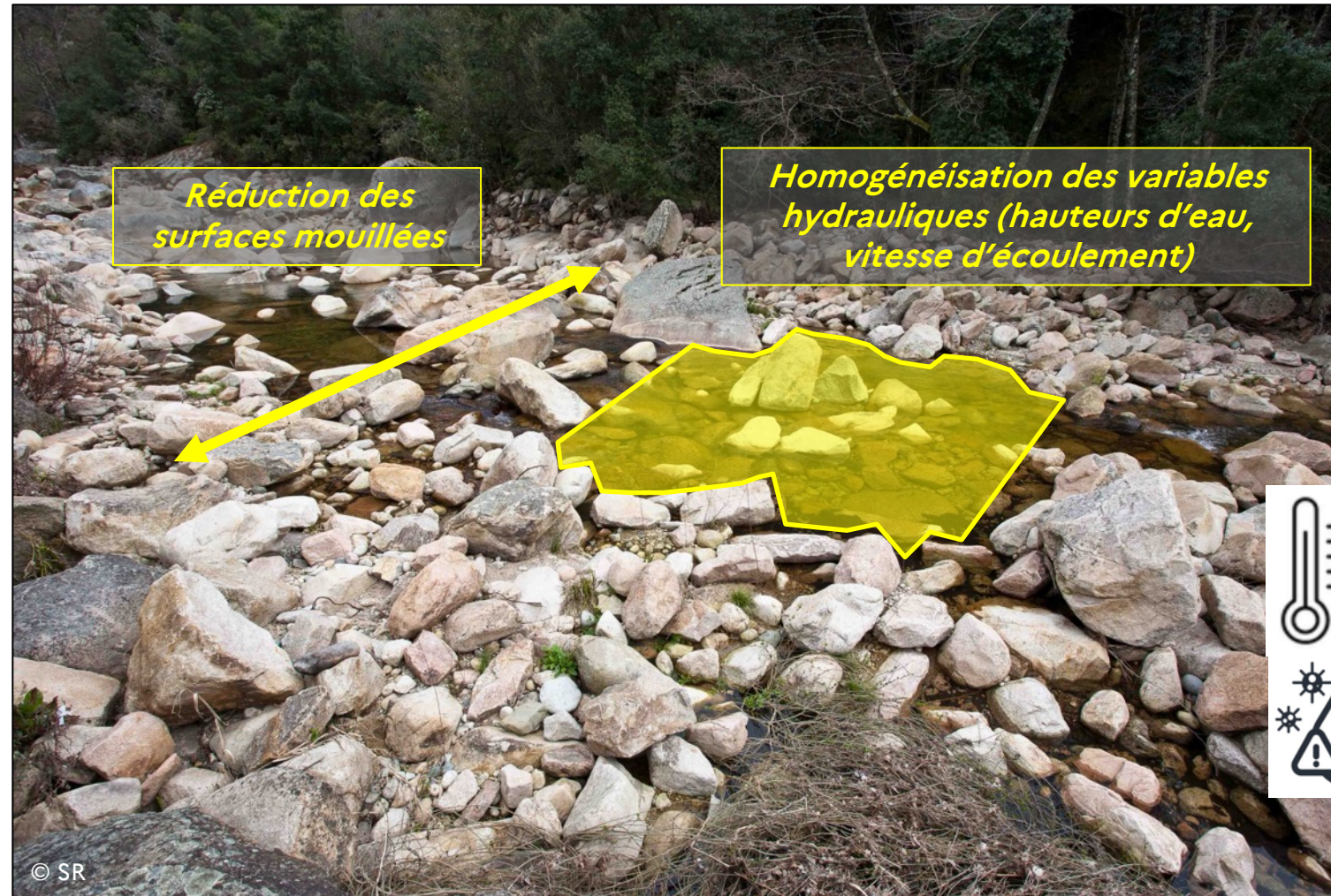
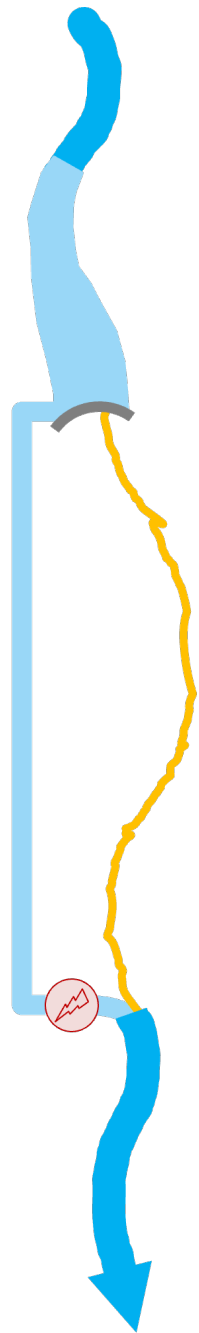
2. Pertes de fonctionnalité des habitats de reproduction, croissance et refuge pour les organismes aquatiques



*Impacts sur la qualité de l'eau
(+ T° C_{r} - dilution)*

Dans les tronçons court-circuités (entre la prise d'eau et la restitution)

2. Pertes de fonctionnalité des habitats de reproduction, croissance et refuge pour les organismes aquatiques



*Impacts sur la qualité de l'eau
(+ T° C,- dilution)*

→ Intensité des modifications selon les caractéristiques morphologiques du tronçon (pente, largeurs, profondeurs, formes du lit) et le niveau de perturbation hydrologique

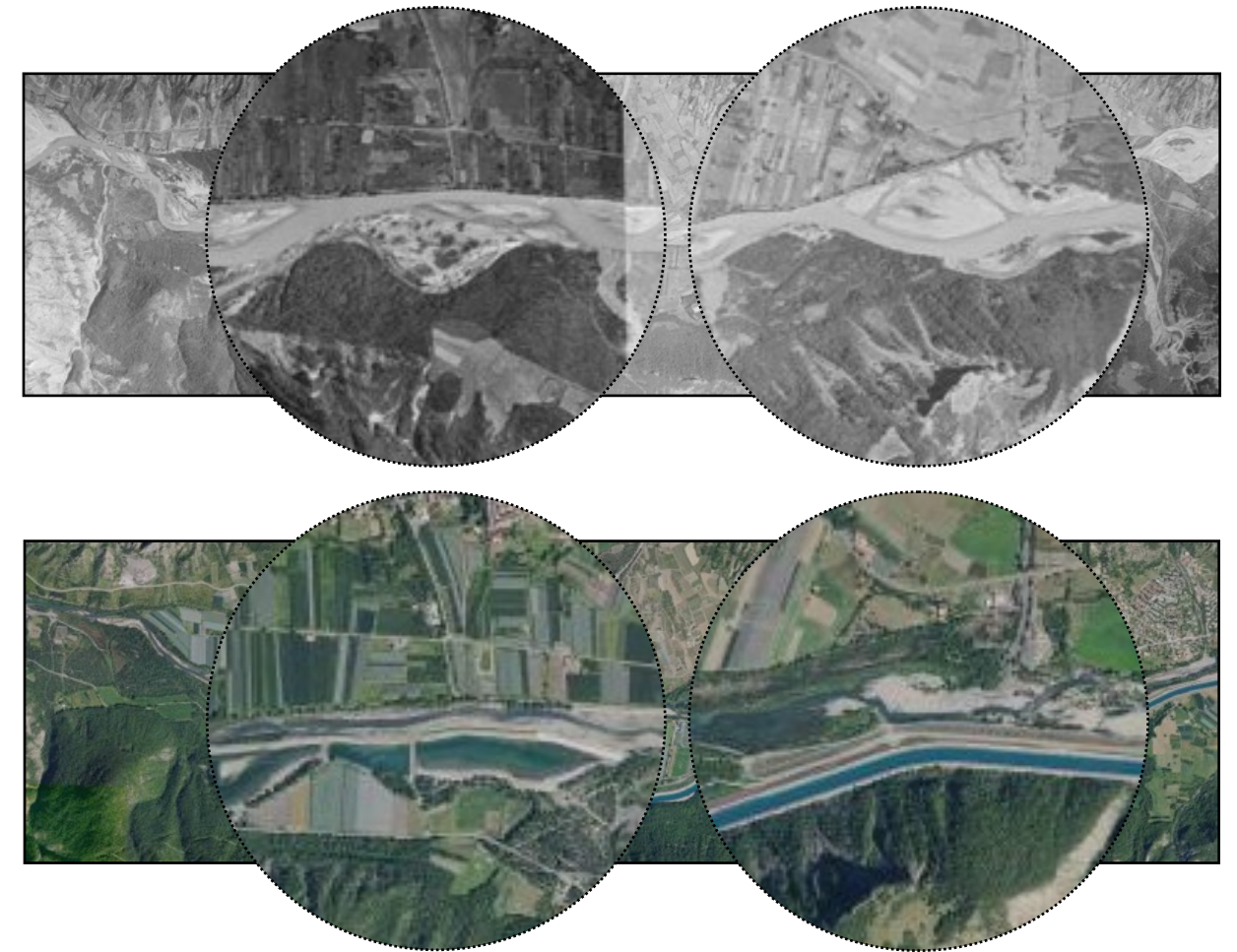
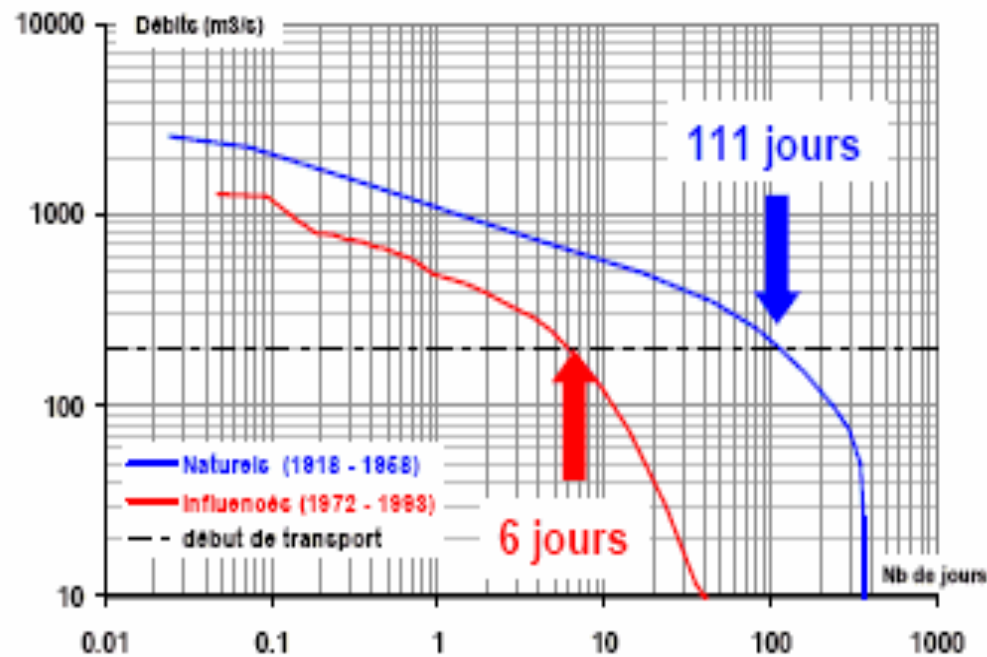
Dans les tronçons court-circuités (entre la prise d'eau et la restitution)

2. Pertes de fonctionnalité des habitats de reproduction, croissance et refuge pour les organismes aquatiques

→ De profondes modifications morphologiques lorsque les barrages réduisent fortement la fréquence des crues

Durance à Rochebrune en aval de Serre-Ponçon en 1953 (haut) et aujourd'hui (bas)

Exemple : la Durance en aval de Serre-Ponçon



Dans les tronçons court-circuités (entre la prise d'eau et la restitution)

3. Réponses des communautés aquatiques aux modifications des habitats

- La réduction des débits peut fortement modifier les peuplements aquatiques (pas uniquement les poissons)
- Intensité des réponses biologiques selon la sensibilité écologique des espèces / stades vis-à-vis des conditions hydrauliques



Dans les tronçons court-circuités (entre la prise d'eau et la restitution)

3. Réponses des communautés aquatiques aux modifications des habitats

- La réduction des débits peut fortement modifier les peuplements aquatiques (pas uniquement les poissons)
- Intensité des réponses biologiques selon la sensibilité écologique des espèces / stades vis-à-vis des conditions hydrauliques

Exemple : petite centrale hydroélectrique sur Lhomme (Belgique)
[débit moyen naturel : 1.78 m³/s, débit d'équipement : 1.86 m³/s, longueur TCC : 1.2 km]

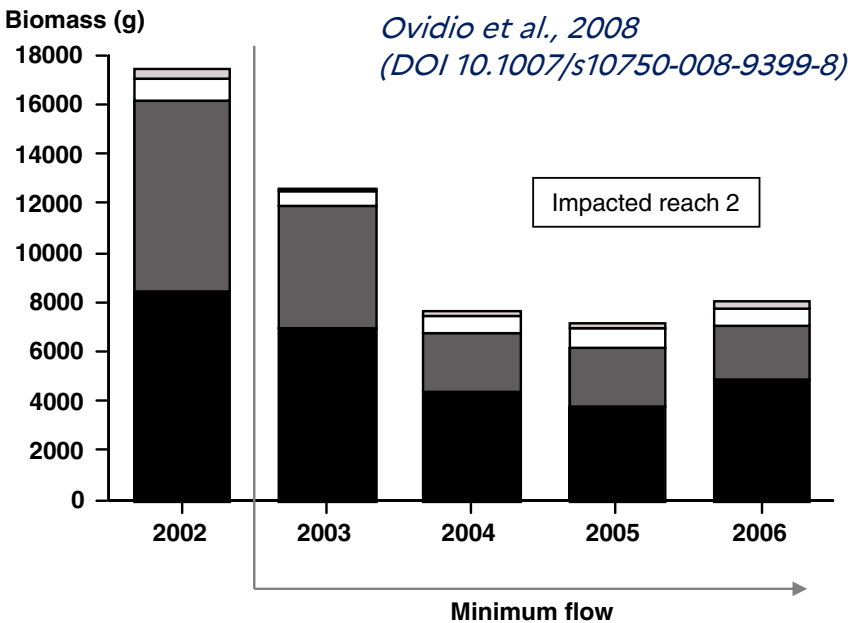
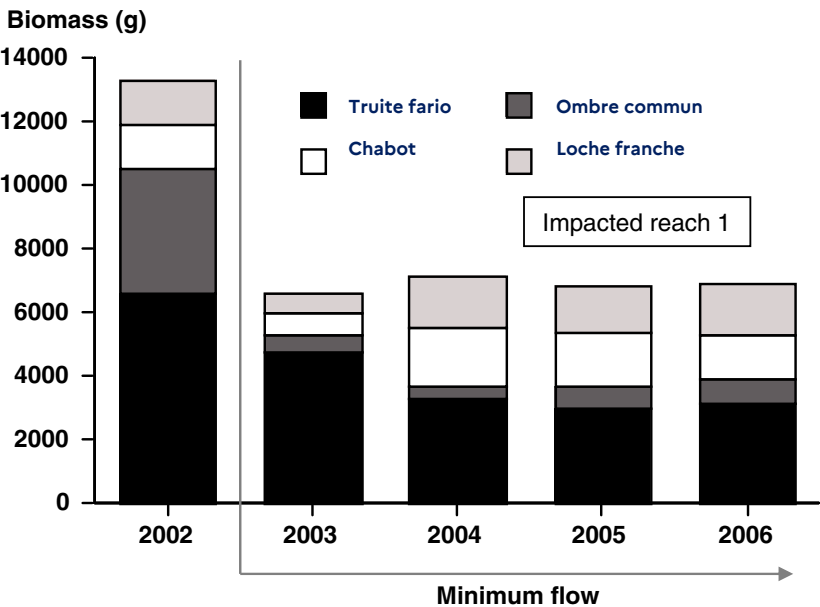
- Augmentation de la durée des bas débits : 148%
- Baisse de 50% de la biomasse totale



- Ombre commun**
- Effectifs : -60%
 - Biomasses : -76%
 - Moins d'adultes



- Truite fario**
- Biomasses : -50%
 - Moins d'adultes (-70%)

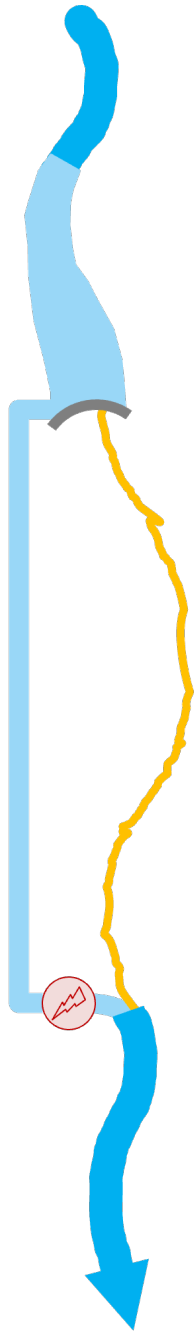


Corriger les impacts de la réduction des débits dans les tronçons court-circuités

→ Une mesure de réduction des impacts imposée par la loi : le débit minimum biologique (article L.214-18 du code de l'environnement)



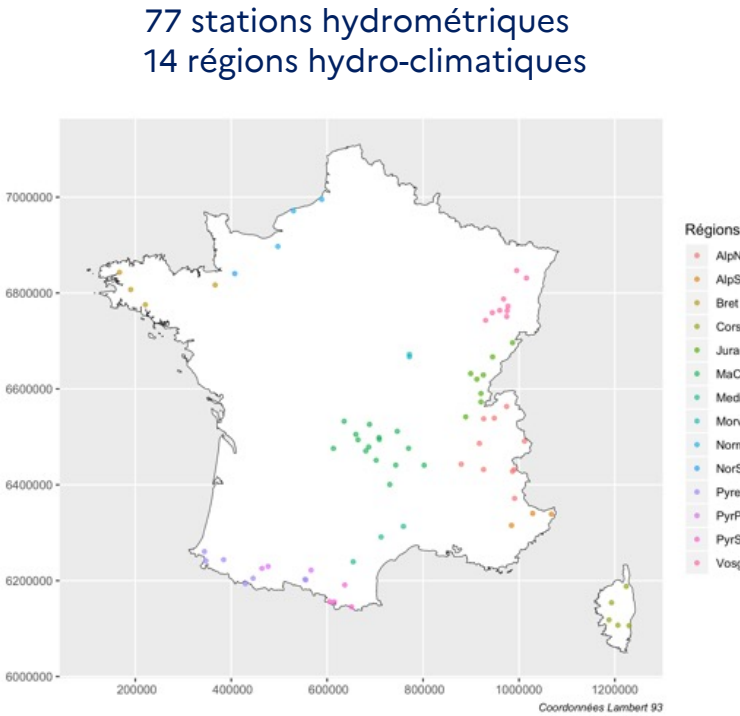
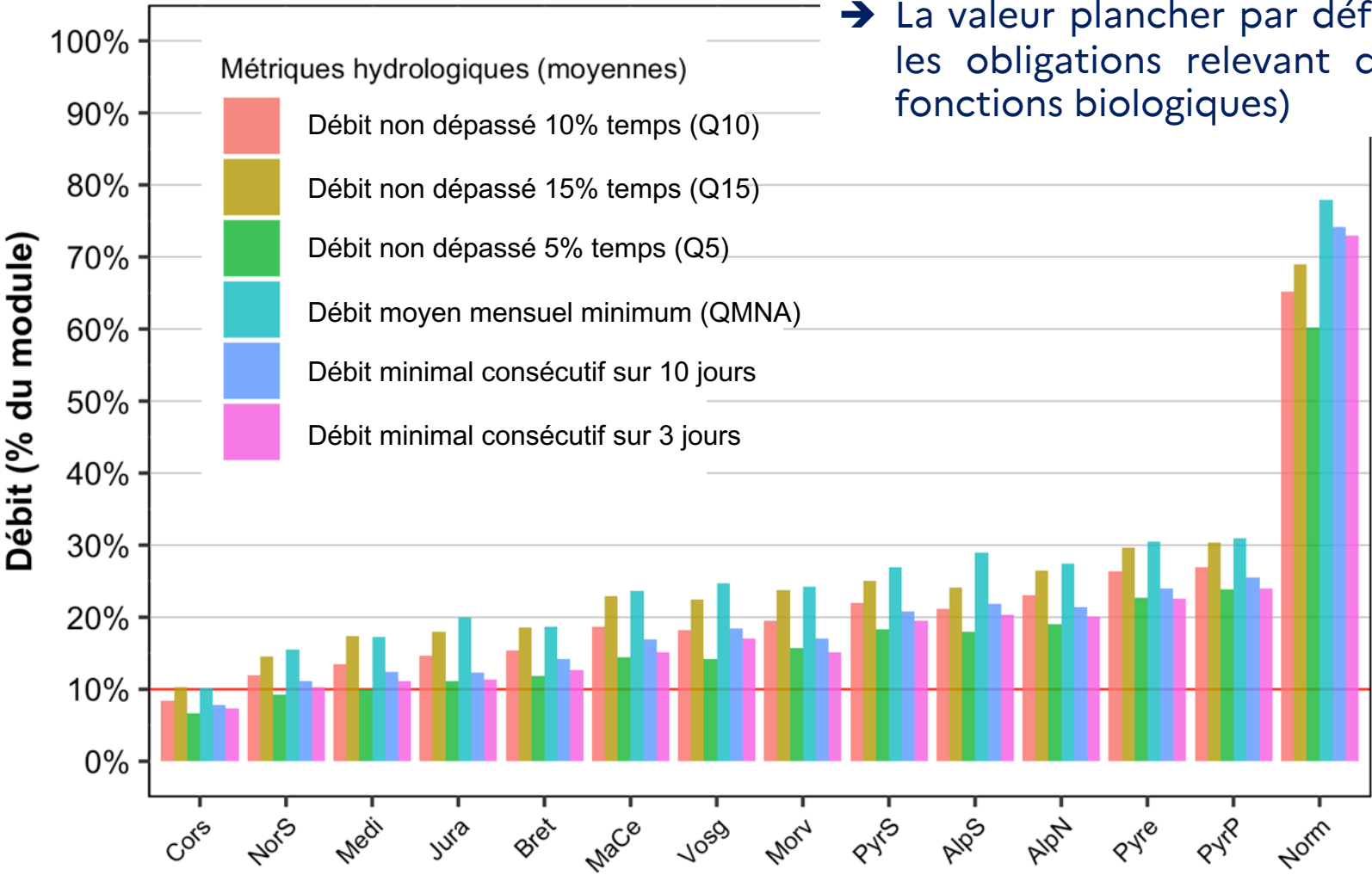
Corriger les impacts de la réduction des débits dans les tronçons court-circuités



- **Une mesure de réduction des impacts imposée par la loi : le débit minimum biologique** (article L.214-18 du code de l'environnement)
 - Obligation de **garantir en permanence** un débit minimal permettant **la vie, la circulation et la reproduction des organismes aquatiques**, en aval immédiat de l'ouvrage de prise d'eau
 - Des **valeurs minimales planchers** fixées par rapport au débit moyen naturel :
 - Cas général : **1/10^{ème} (10%) du module naturel**
 - Si module > 80 m³/s ou si ouvrage pour la production « de pointe » (décret 2010-13-91 du 12/11/2010) : **1/20^{ème} (5%) du module naturel**
 - Des **valeurs de débit minimal supérieures aux planchers réglementaires peuvent être fixées** pour respecter les obligations relatives à la garantie en permanence des fonctions biologiques mentionnées
 - Dérogations possibles (1) si fonctionnement hydrologique atypique (R.214-11 CENV), ou (2) pour moduler le débit minimal selon les périodes de l'année

Corriger les impacts de la réduction des débits dans les tronçons court-circuités

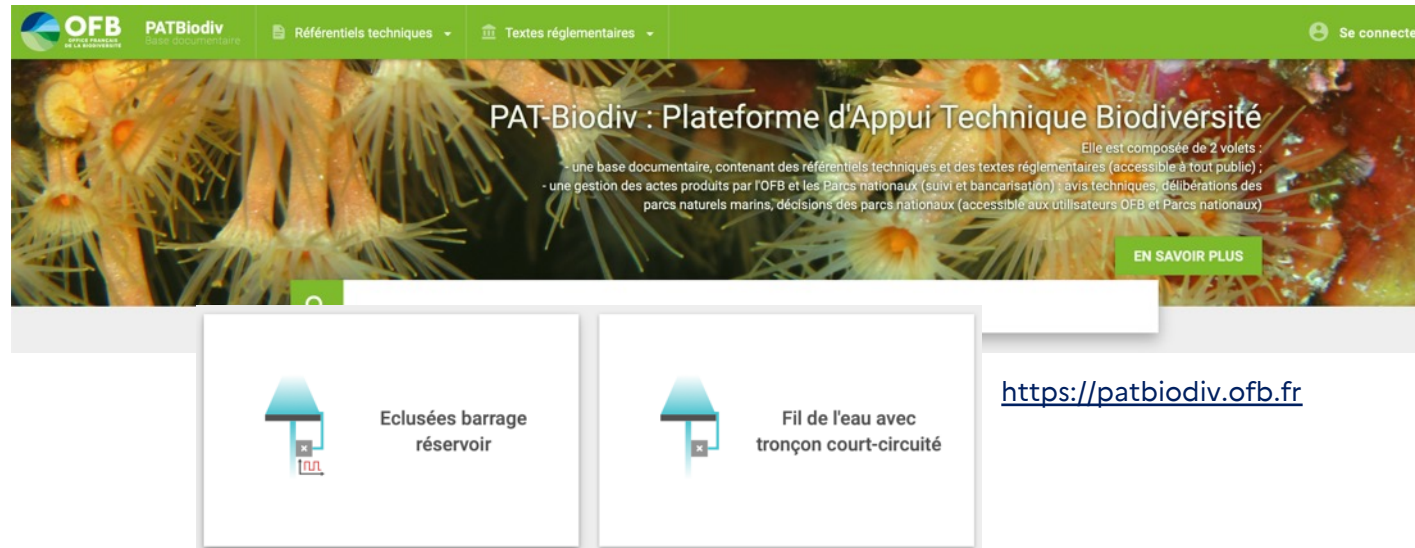
- ➔ Mise en perspective du plancher du 1/10^{ème} du module avec les étiages naturels en France hexagonale
- ➔ Les débits caractéristiques d'étiages naturels ne sont pas fréquemment inférieurs à 10% du module, voire très au dessus
- ➔ La valeur plancher par défaut ne permet pas forcément d'assurer les obligations relevant de la loi (garantir en permanence les fonctions biologiques)



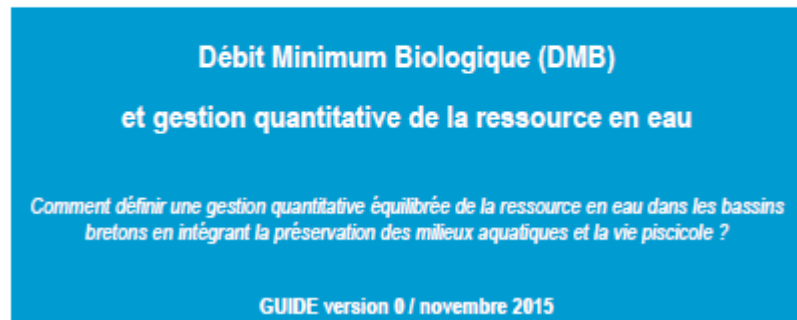
Corriger les impacts de la réduction des débits dans les tronçons court-circuités

→ Une démarche structurée pour caractériser les modifications hydrologiques et leurs effets sur les processus hydrologiques

<https://circabc.europa.eu/sd/a/ac80a686-229d-49d9-914d-cfd6af8301d6/Guidance%20No%2031%20-%20Ecological%20flows%20FR%20version.pdf>



<https://patbiodiv.ofb.fr>



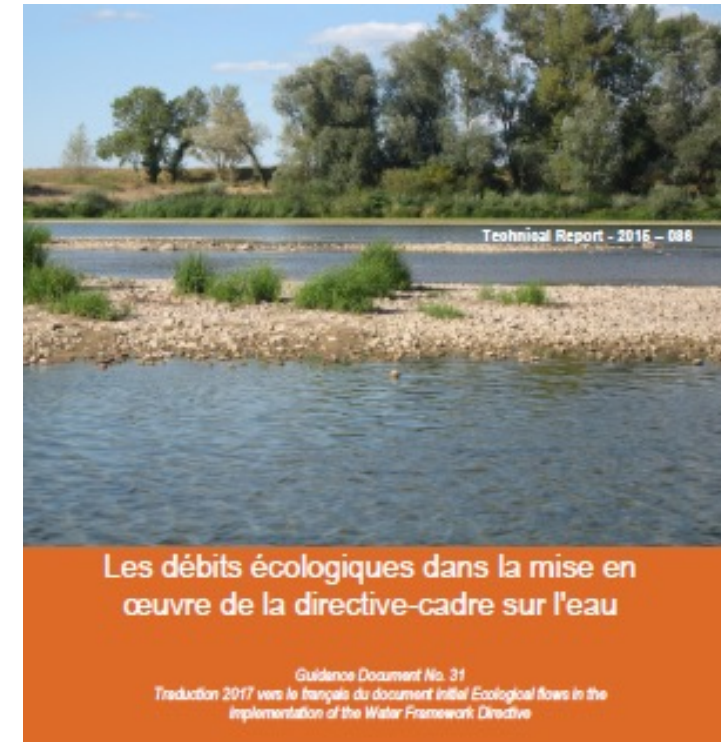
https://www.creseb.fr/voy_content/uploads/2015/11/dmb-gestion-quantitative-ressource-en-eau_guide_creseb_2015.pdf

Hydroécol. Appl.
© EDF, 2016
DOI: 10.1051/hydro/2016004

Débits écologiques : la place des modèles d'habitat hydraulique dans une démarche intégrée

Ecological flows: the role of hydraulic habitat models within an integrated framework.

N. Lamouroux¹, B. Augeard², P. Baran³, H. Capra¹, Y. Le Coarer⁴,
V. Girard⁵, V. Gouraud⁶, L. Navarro⁷, O. Prost⁴, P. Sagnes⁸, E. Sauquet⁹,
L. Tissot⁶

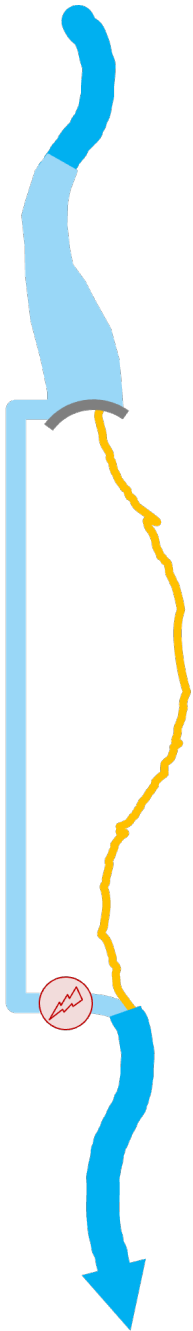


<https://www.hydroecologie.org/articles/hydro/pdf/2018/01/hydro160004.pdf>

Corriger les impacts de la réduction des débits dans les tronçons court-circuités

→ Une démarche structurée pour caractériser les modifications hydrologiques et leurs effets sur les processus hydrologiques

1. État initial de la situation préexistante



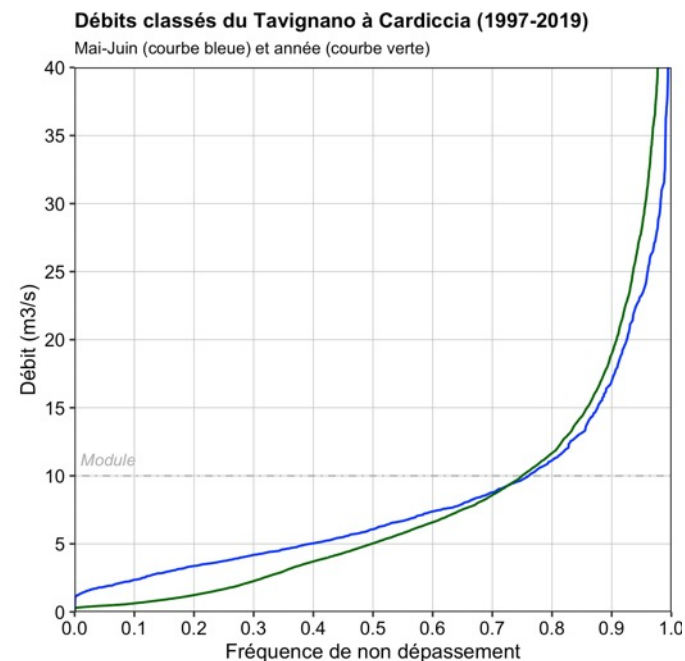
Corriger les impacts de la réduction des débits dans les tronçons court-circuités

→ Une démarche structurée pour caractériser les modifications hydrologiques et leurs effets sur les processus hydrologiques

1. État initial de la situation préexistante

Hydrologie naturelle ou reconstituée au droit du projet

- Données structurantes indispensables
- Métriques caractéristiques des étiages et courbe des débits classés



A diagram of a curved beam, likely a cantilever, shown in a light blue color. The beam is curved upwards. A yellow crack is shown on the inner surface of the curve. A red circle with a jagged line inside is located on the outer surface of the curve, indicating a point of interest or a specific type of loading. A blue arrow points downwards from the end of the beam, indicating the direction of an applied load.

➔ Une démarche structurée pour caractériser les modifications hydrologiques et leurs effets sur les processus hydrologiques

1. État initial de la situation préexistante

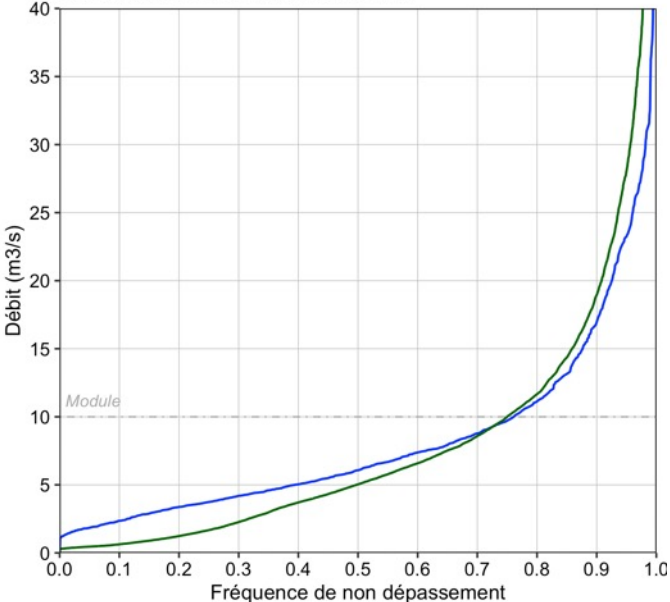
Hydrologie naturelle ou reconstituée au droit du projet

- Données structurantes indispensables
- Métriques caractéristiques des étiages et courbe des débits classés

Morphologie et habitats aquatiques sur le tronçon impacté

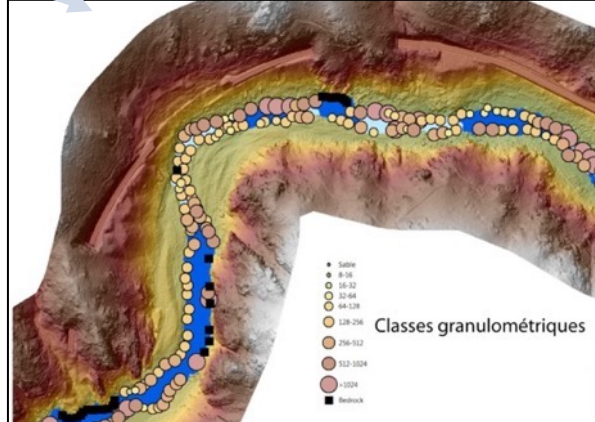
- ➔ Morphologie, répartition et abondance des habitats (reproduction, abris), connectivité
- ➔ Linéaire concerné
- ➔ Doit mettre en évidence la sensibilité du tronçon à la réduction du débit

Débits classés du Tavignano à Cardiccia (1997-2019)
Mai-Juin (courbe bleue) et année (courbe verte)



Cartographie des faciès d'écoulement

Cartographie de la granulométrie dominante



Classes granulométriques

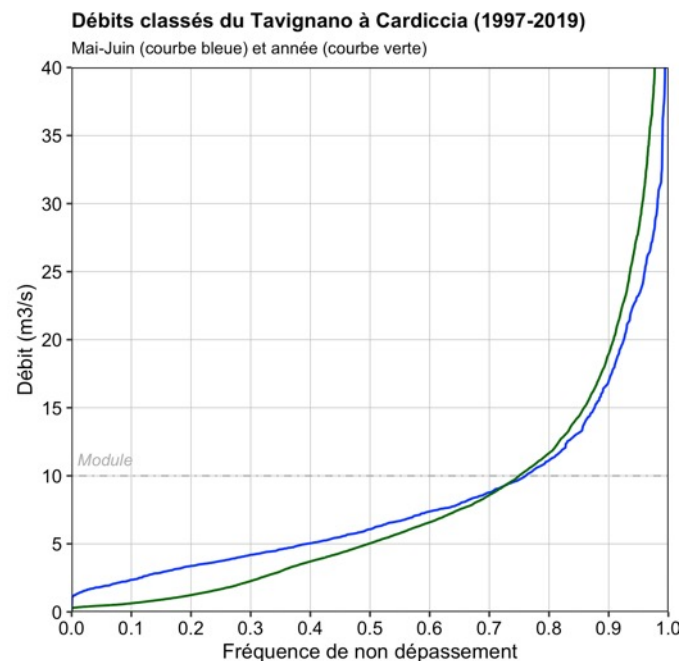
Corriger les impacts de la réduction des débits dans les tronçons court-circuités

→ Une démarche structurée pour caractériser les modifications hydrologiques et leurs effets sur les processus hydrologiques

1. État initial de la situation préexistante

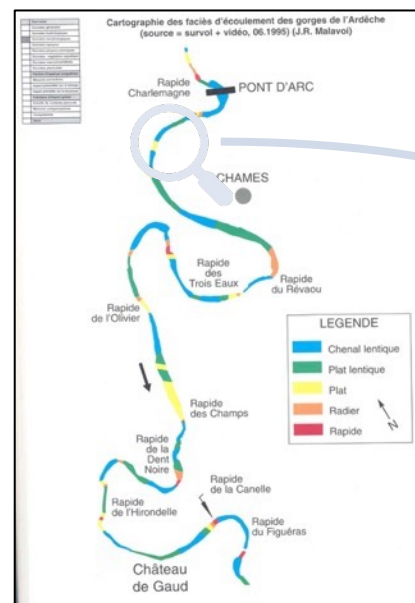
Hydrologie naturelle ou reconstituée au droit du projet

- Données structurantes indispensables
- Métriques caractéristiques des étiages et courbe des débits classés



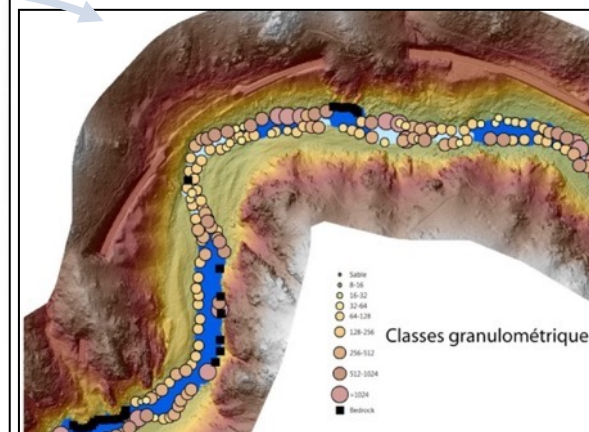
Morphologie et habitats aquatiques sur le tronçon impacté

- Morphologie, répartition et abondance des habitats (reproduction, abris), connectivité
- Linéaire concerné
- Doit mettre en évidence la sensibilité du tronçon à la réduction du débit



Cartographie des faciès d'écoulement

Cartographie de la granulométrie dominante



Données biologiques (a minima invertébrés aquatiques et ichtyofaune)

- Composition du peuplement, espèces remarquables
- Structure du peuplement et des populations cibles



Corriger les impacts de la réduction des débits dans les tronçons court-circuités

→ Une démarche structurée pour caractériser les modifications hydrologiques et leurs effets sur les processus hydrologiques

2. Prévion des impacts liés à la modification du régime hydrologique

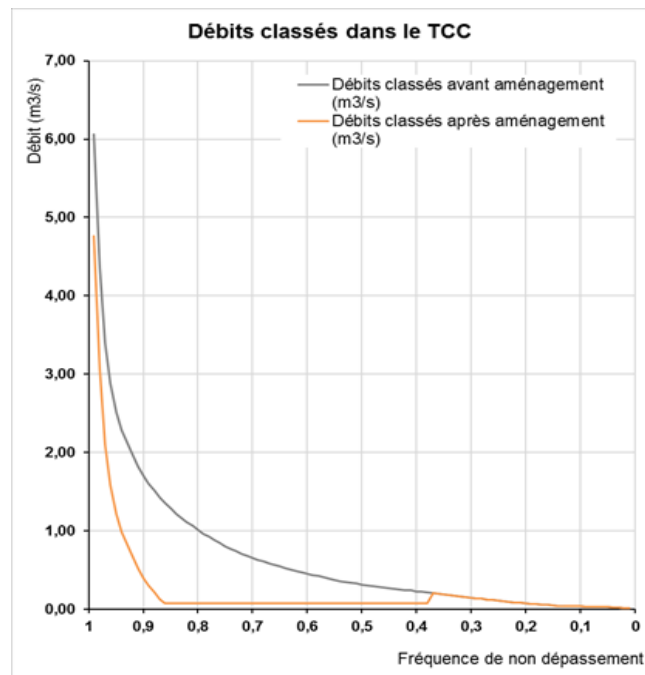
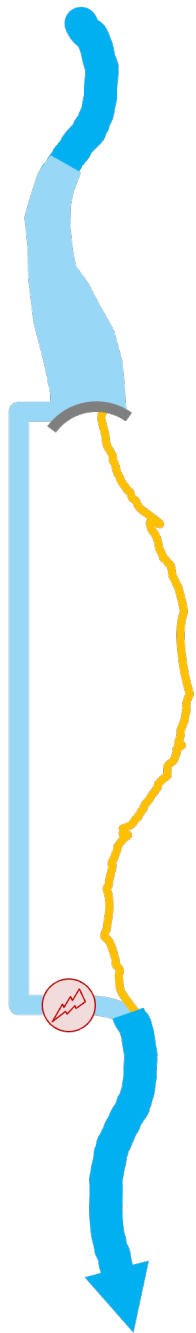


Corriger les impacts de la réduction des débits dans les tronçons court-circuités

→ Une démarche structurée pour caractériser les modifications hydrologiques et leurs effets sur les processus hydrologiques

2. Prédiction des impacts liés à la modification du régime hydrologique

- Nouveau régime hydrologique dans le tronçon court-circuité par la prise d'eau
- Sur la base des débits minimum et maximum turbinés et de(s) débit(s) minimum biologique(s) envisagé(s)

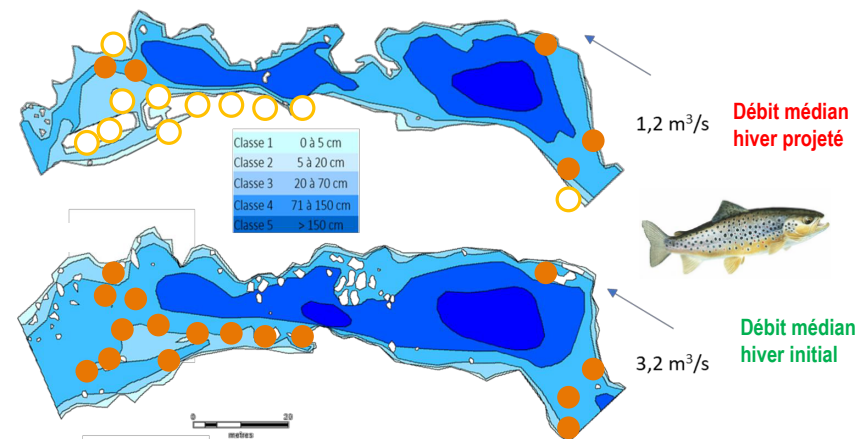
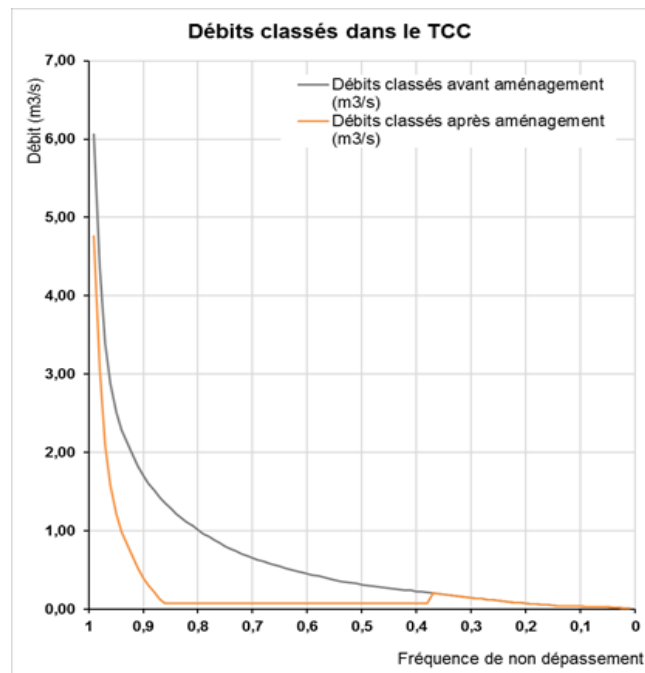
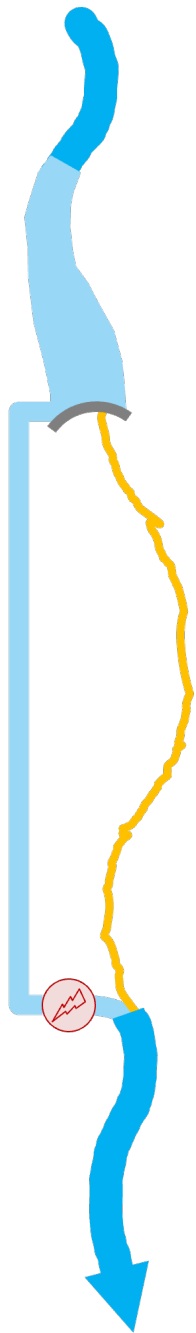


Corriger les impacts de la réduction des débits dans les tronçons court-circuités

→ Une démarche structurée pour caractériser les modifications hydrologiques et leurs effets sur les processus hydrologiques

2. Prédiction des impacts liés à la modification du régime hydrologique

- Nouveau régime hydrologique dans le tronçon court-circuité par la prise d'eau
- Sur la base des débits minimum et maximum turbinés et de(s) débit(s) minimum biologique(s) envisagé(s)
- Identifier quels paramètres ou métriques seront les plus impactés : habitats de reproduction et/ou de refuge, connectivité, durée des hauts débits et risques de colmatage, etc... - liens avec l'alimentation des dispositifs de franchissement ou autres impacts (éclusées)

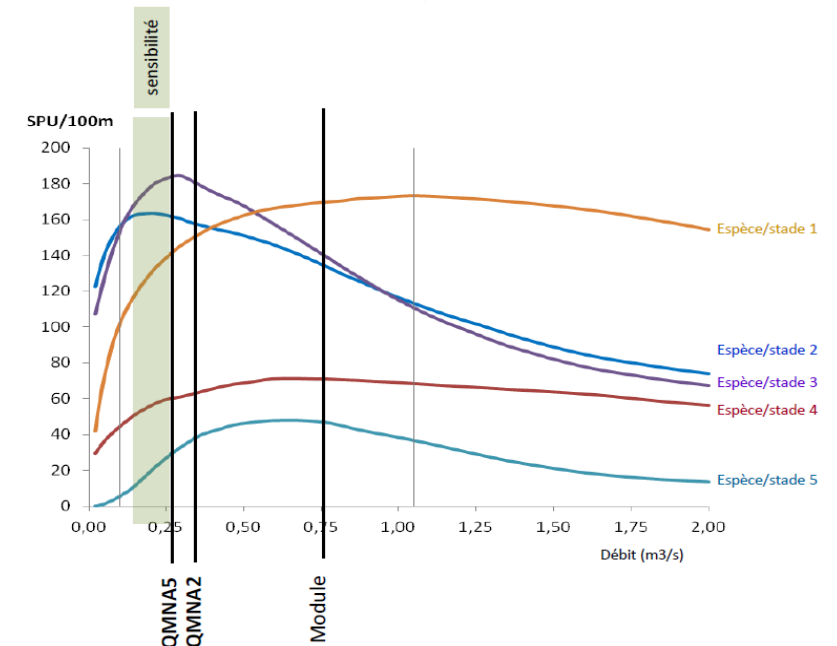
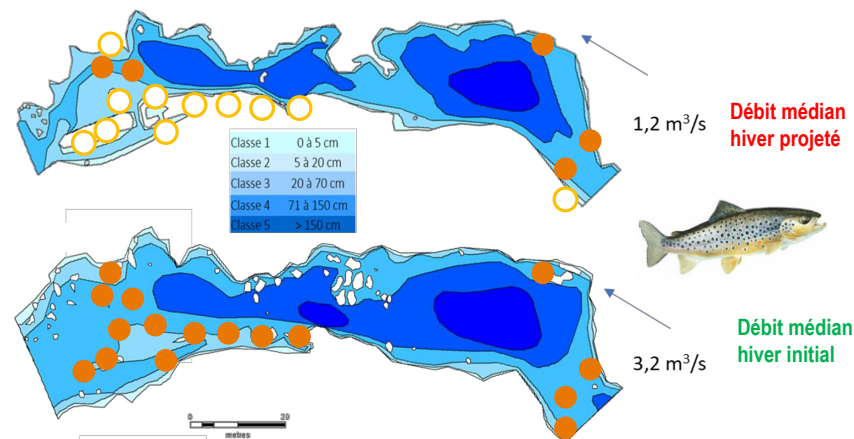
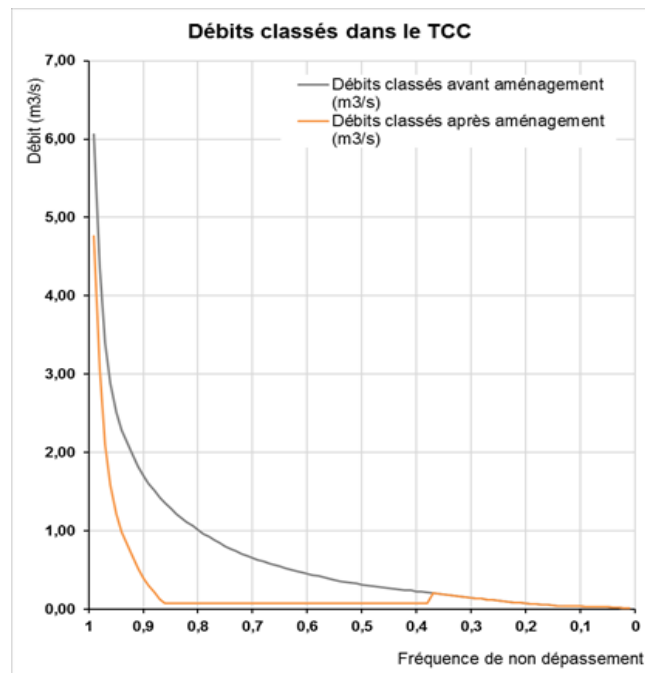
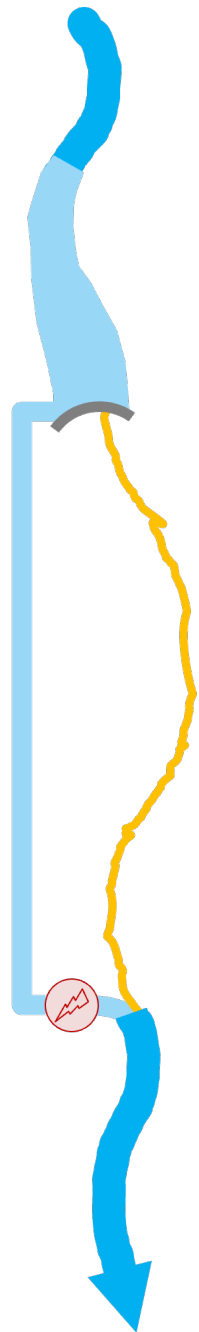


Corriger les impacts de la réduction des débits dans les tronçons court-circuités

→ Une démarche structurée pour caractériser les modifications hydrologiques et leurs effets sur les processus hydrologiques

2. Prédiction des impacts liés à la modification du régime hydrologique

- Nouveau régime hydrologique dans le tronçon court-circuité par la prise d'eau
- Sur la base des débits minimum et maximum turbinés et de(s) débit(s) minimum biologique(s) envisagé(s)
- Identifier quels paramètres ou métriques seront les plus impactés : habitats de reproduction et/ou de refuge, connectivité, durée des hauts débits et risques de colmatage, etc... - liens avec l'alimentation des dispositifs de franchissement ou autres impacts (éclusées)
- Certaines modifications liées à la réduction des débits peuvent se traduire en paramètres hydrauliques et habitationnels (méthodes des modèles d'habitats)



Corriger les impacts de la réduction des débits dans les tronçons court-circuités

→ Une démarche structurée pour caractériser les modifications hydrologiques et leurs effets sur les processus hydrologiques

3. Choix du scénario et proposition des mesures correctives



Corriger les impacts de la réduction des débits dans les tronçons court-circuités

→ Une démarche structurée pour caractériser les modifications hydrologiques et leurs effets sur les processus hydrologiques

3. Choix du scénario et proposition des mesures correctives

Métrique	Scénarii	Naturel	Actuel	Effet	Scénario	Effet
SPU TRF adulte Q80		236,18	166,55	-12%	176,01	-7%
SPU CHA Q80		223,86	99,37	-38%	144,25	-10%
SPU TRF adulte Q95		189,26	212,56	-10%	231,46	-2%
SPU CHA Q95		160,28	176,85	-21%	205,95	-8%
Nb jours/an décolmatage (> 4 m3/s)		55	10	-45	20	-35
Connexion abris	oui			non		oui
Nb jours non turbinés			103		144	
Volume tot turbiné, m3/s			2,95E+07		2,51E+07	
...						

- Travailler par scénarios de débit minimum biologique
- Comparer l'importance des modifications des métriques retenues entre les scénarios

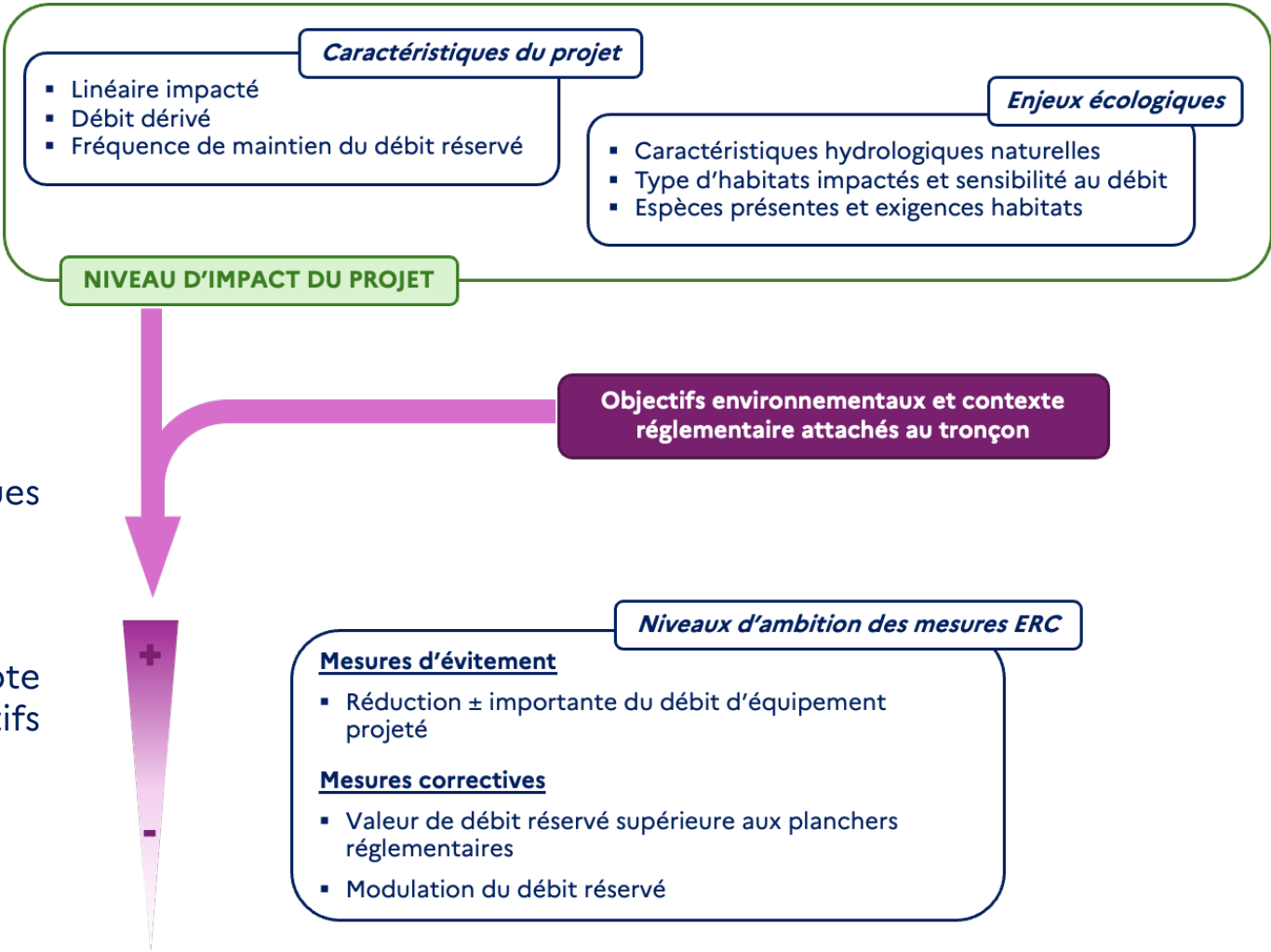
Corriger les impacts de la réduction des débits dans les tronçons court-circuités

→ Une démarche structurée pour caractériser les modifications hydrologiques et leurs effets sur les processus hydrologiques

3. Choix du scénario et proposition des mesures correctives

Métrique	Scénarii	Naturel	Actuel	Effet	Scénario	Effet
SPU TRF adulte Q80		236,18	166,55	-12%	176,01	-7%
SPU CHA Q80		223,86	99,37	-38%	144,25	-10%
SPU TRF adulte Q95		189,26	212,56	-10%	231,46	-2%
SPU CHA Q95		160,28	176,85	-21%	205,95	-8%
Nb jours/an décolmatage (> 4 m3/s)		55	10	-45	20	-35
Connexion abris	oui			non		oui
Nb jours non turbinés			103		144	
Volume tot turbiné, m3/s			2,95E+07		2,51E+07	
...						

- Travailler par scénarios de débit minimum biologique
- Comparer l'importance des modifications des métriques retenues entre les scénarios
- Choix du scénario adapté aux impacts du projet compte tenu des enjeux écologiques et des objectifs environnementaux attachés au tronçon

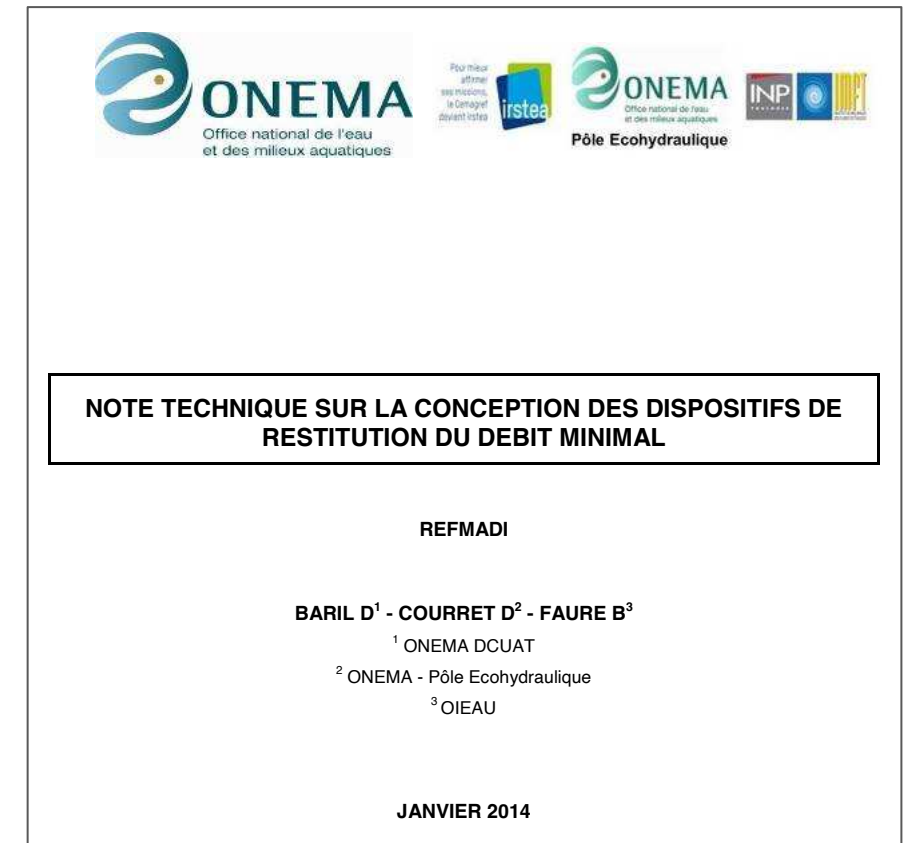


Corriger les impacts de la réduction des débits dans les tronçons court-circuités

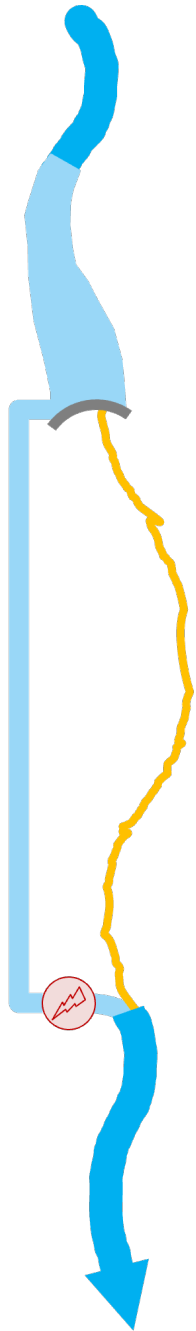
→ Une démarche structurée pour caractériser les modifications hydrologiques et leurs effets sur les processus hydrologiques

4. Dimensionnement du dispositif de restitution du débit réservé dans le TCC

- Moyens mis en œuvre pour respecter l'obligation de résultat
- Solutions à adapter selon les variations du niveau d'eau en amont de la prise d'eau et des capacités de régulation de l'installation dans la gamme des débits dérivables
- Sécurise la délivrance du débit réservé pour l'exploitant
- Facilite le contrôle du respect de la prescription par les services en charge de la police de l'eau

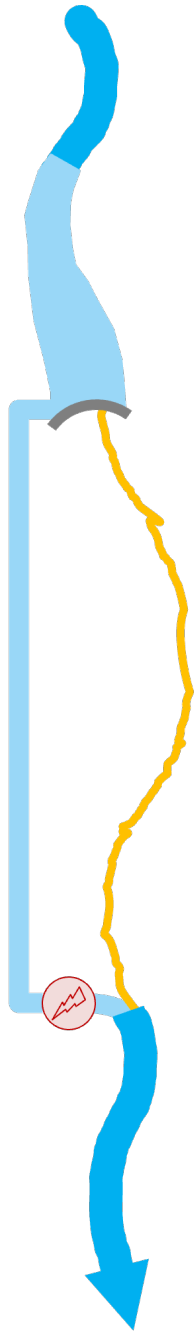


Conclusions et perspectives



- ➔ Les impacts de la réduction des débits sur la fonctionnalité écologique des tronçons court-circuités sont liés à chaque à site (caractéristiques de l'aménagement, typologie des cours d'eau)
- ➔ Une démarche diagnostique partagée est indispensable pour les évaluer et proposer des mesures correctives adaptées aux enjeux écologiques (objectifs d'état des masses d'eau et conservation des espèces) – cadre : instruction administrative

Conclusions et perspectives



- ➔ Les impacts de la réduction des débits sur la fonctionnalité écologique des tronçons court-circuités sont liés à chaque à site (caractéristiques de l'aménagement, typologie des cours d'eau)
- ➔ Une démarche diagnostique partagée est indispensable pour les évaluer et proposer des mesures correctives adaptées aux enjeux écologiques (objectifs d'état des masses d'eau et conservation des espèces) – cadre : instruction administrative
- ➔ Importance des suivis et retours d'expérience pour évaluer les réponses biologiques (ex. : cellule « débits réservés », Rhône, Doubs franco-suisse, Durance, Rhin...)
- ➔ Vers un régime réservé à termes pour certains aménagements ?
Objectif : assurer non seulement un débit minimum mais également des variations de débits régulières pour reproduire un régime hydrologique naturel dans le TCC

Merci de votre attention



1^{ères} Rencontres de l'Observatoire des EnR et de la Biodiversité – les 12 et 13 mai 2025