



NOTE DE SYNTHÈSE

Étude des différentes solutions techniques permettant d'optimiser la capacité du Karst de La Rochefoucauld à soutenir le fleuve Charente en étiage

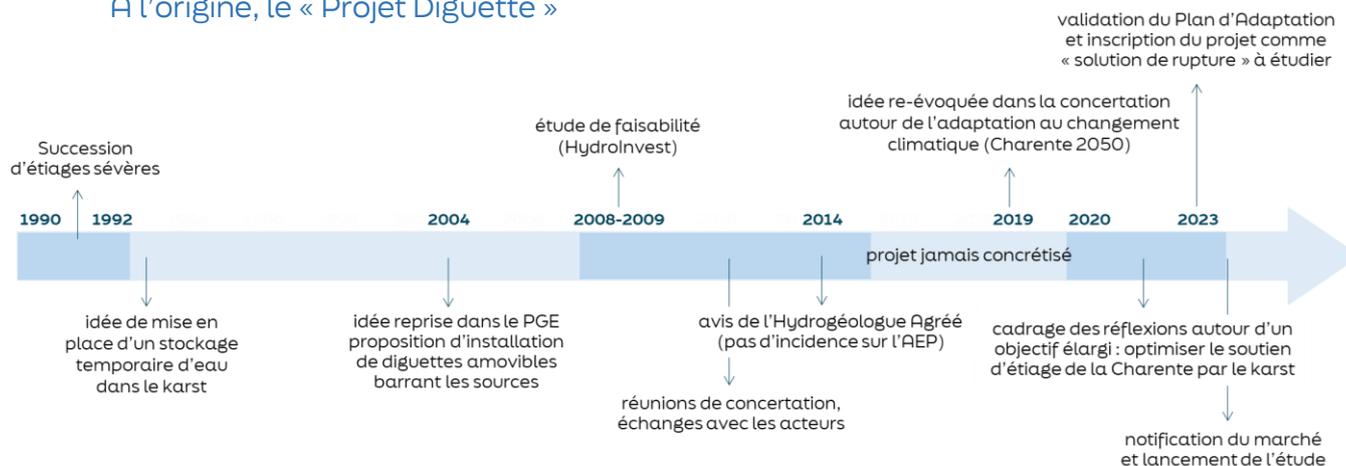


Étude réalisée avec le soutien financier de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, du Département de la Charente et du Département de la Charente-Maritime.



Quelques rappels de contexte

A l'origine, le « Projet Diguette »



Une première phase pour étudier le champ des possibles

Les objectifs de l'étude :

- Inventorier **l'ensemble des solutions** qui pourraient permettre de répondre à **l'objectif élargi** (optimiser le soutien d'étiage de la Charente par le karst)
- Documenter chacune des solutions (efficacité, impacts, coût, risques...) via une recherche de retours d'expérience et l'avis d'experts hydrogéologues
- Répondre au mieux à l'ensemble des interrogations et inquiétudes exprimées par les acteurs du territoire (soit par des éléments concrets, soit par l'identification des sources d'incertitudes, des investigations complémentaires qui seraient nécessaires)
- Fournir des éléments d'**aide à la décision** pour s'orienter vers une ou plusieurs **solutions à privilégier** pour la suite des réflexions

 Cette étude ne fournit pas un avant-projet ni une étude d'impact complète pour chaque solution.

Une étude basée sur la concertation

➤ des acteurs locaux

L'ensemble des parties prenantes a été rencontré : producteurs d'eau potable, syndicats de rivière, profession agricole, piscicultures, fédération de pêche, association de protection de l'environnement, élus locaux, préservation du patrimoine, spéléologues.

➤ d'experts hydrogéologues

Ayant travaillé sur des thématiques similaires en France ou à l'étranger, ils ont alimenté l'étude de leurs avis et retours d'expérience, fourni des références bibliographiques.



Téléchargez le rapport complet : www.fleuve-charente.net/domaines/le-plan-de-gestion-etiage/projet/agir-sur-la-ressource/projet-experimental-karst

Optimiser la ressource du karst en étiage : pourquoi ?

Sécurisation des milieux et des usages de l'eau sur le karst et la Touvre

Eau potable : environ 10 Mm³ par an dont 7 à 8 Mm³ pour le captage du Bouillant
Pas de besoin supplémentaire : la ressource n'est pas en tension y compris en étiage sévère, peu d'enjeux liés à l'évolution de la population ou au changement climatique. Enjeu de **sécurisation** (pouvoir de dilution du karst, confort d'exploitation).

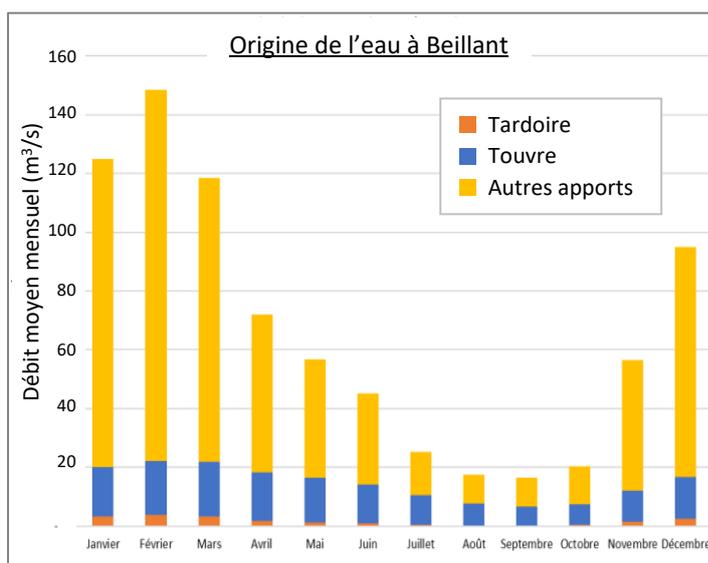
Irrigation : entre 4 et 7 Mm³ par an en eaux souterraines (karst)
Volonté de **maintien** des activités agricoles, mais pas de besoin de volume supplémentaire (sur le karst, le volume consommé est bien inférieur au volume autorisé malgré peu de restrictions).

Tourisme : la Touvre est attractive, notamment au travers de la pratique de la pêche et du canoë-kayak

Biodiversité : la Touvre abrite des écosystèmes de grande qualité mais particulièrement sensibles (truites fario, anguilles, aigle pêcheur...) qui dépendent du maintien des débits et de la qualité de l'eau.

Pisciculture : adaptent leur activité à la ressource disponible, pas besoin de volume supplémentaire

Sécurisation des milieux et des usages de l'eau sur l'aval du fleuve Charente



Sécurisation quantitative :

Les apports de la Touvre au fleuve sont relativement réguliers dans l'année. En étiage, ils sont déterminants : 42% en août en moyenne (et plus de 60% en étiage sévère). Cette régulation hydrologique est primordiale pour la sécurisation des usages de l'eau du fleuve : captages pour l'eau potable (env. 18 Mm³ par an pour Coulonge et Saint-Hippolyte), irrigation (8 à 10 Mm³ pour les périmètres Charente Aval 16 et 17), activités conchylicoles... A l'horizon 2050, Eau17 identifie un déséquilibre besoin-ressource probable en pointe estivale sur le réseau Littoral.

Sécurisation qualitative : Les sources bénéficient d'une qualité d'eau préservée et d'une température stable. Les apports de la Touvre contribuent ainsi à la sécurisation des captages dans le fleuve en aval, mais aussi des captages souterrains qui sont dilués avec l'eau du fleuve.

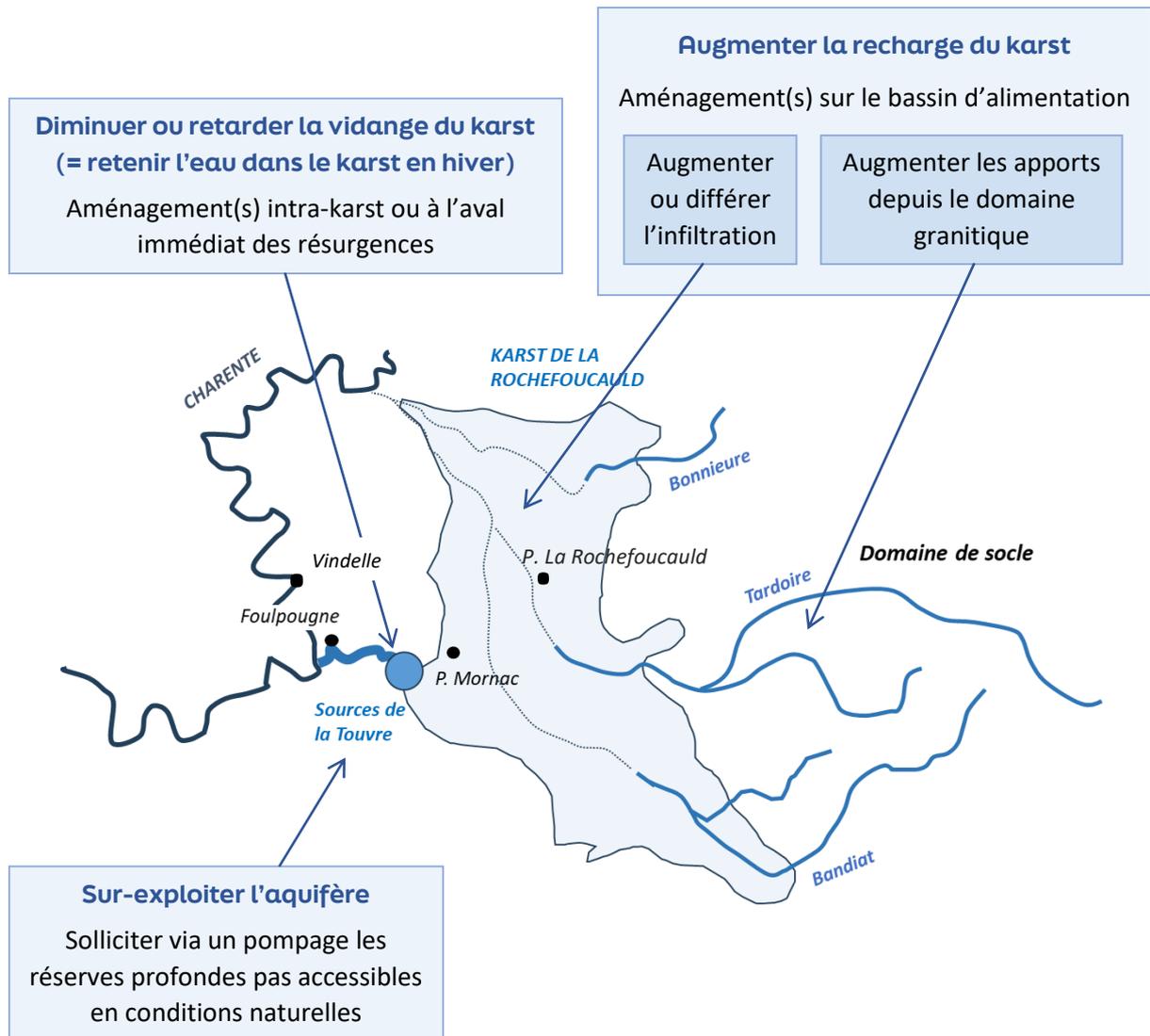
Le DOE de la Touvre est en moyenne respecté 7 années sur 10. Celui de la Charente à Beillant ne l'est qu'1 année sur 2, et le **déficit** annuel moyen **à l'estuaire** est estimé à environ 20 Mm³ (47 Mm³ en année quinquennale sèche). Ce déficit devrait s'accroître avec le changement climatique.



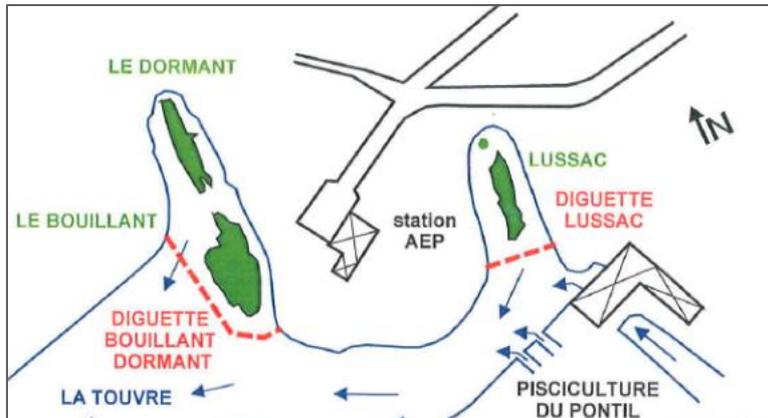
Le Plan d'Adaptation Charente 2050 repose sur un **mix de solutions** qui sont parallèlement étudiées. En particulier, sur demande de la Commission Locales de l'Eau, l'EPTB Charente est engagé dans une démarche d'optimisation de la gestion des prélèvements dans le karst.

Optimiser la ressource du karst en étiage : comment ?

Différentes solutions (qui peuvent se combiner) :



Solution 1 : surélévation du fil d'eau à l'aval immédiat des résurgences au moyen de diguettes amovibles



C'est la solution développée par le « Projet Diguette ». Elle consiste à mettre en place deux **diguettes amovibles** (Bouillant-Dormant et Font de Lussac), afin de mettre en charge la zone noyée du karst en période de hautes eaux. Il s'agit ensuite de restituer l'eau stockée dans le milieu souterrain en période estivale, en abaissant ou retirant les diguettes.

Pour cela, 2 solutions techniques sont proposées : une solution A de type seuil poids (inspirée de la proposition initiale d'HydroInvest) et une solution B de type barrière souple amovible (WaterGate) qui épouse le fond du lit et est rapide à déployer/replier.

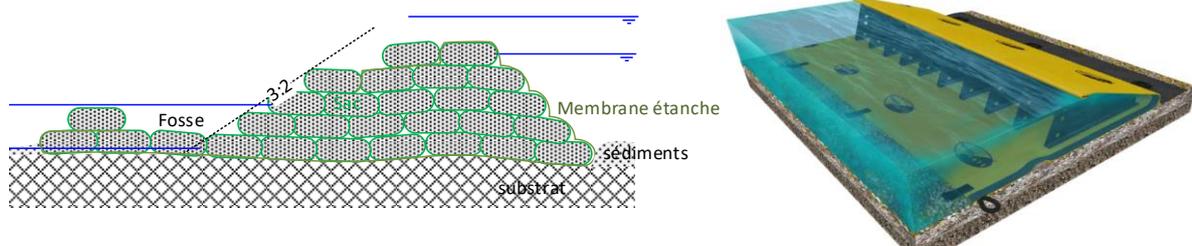


Figure 1 : Coupe transversale du seuil en mur poids (à gauche) et illustration et d'une barrière amovible (à droite, WaterGate© - MegaSecure)

Avantages

solution réversible, démontable
 solution modulable (rehausse progressive du niveau) et pilotable depuis les berges
 influence sur la hauteur de la zone noyée mais pas sur le débit
 impact limité sur l'AEP et usages en aval
 Nombreux exemples en France et à l'étranger avec plusieurs typologies d'ouvrages

Inconvénients

ouvrage visible
 précautions à prévoir en phase chantier pour limiter l'impact sur le lit et berges
 surveillance de la sédimentation amont, entretien régulier
 stabilité de l'ouvrage à garantir en crue
 Très peu de REX car aménagements assez anciens ou en cours d'expérimentation

Incertitudes

périmètre d'influence et capacité de stockage non quantifiables sans expérimentation (incertitudes liées à l'hétérogénéité et la complexité du karst)

Éléments complémentaires pour consolider un avant-projet :

- Bathymétrie, campagne géotechnique, essais... (profondeur des alluvions, propriétés du substrat, épaisseur de sédiments, appréhension de l'érosion en pied de chute de seuil)
- Inventaire faune flore et impact environnemental de la rehausse du niveau.

Solution 2 : surélévation du fil d'eau via des solutions fondées sur la nature à l'aval immédiat des résurgences

(2A) Gestion des herbiers aquatiques

Un effet de frein hydraulique et d'augmentation du niveau du plan d'eau lié à la pousse saisonnière (printemps et été) d'un important herbier est historiquement observé sur le site. A l'inverse, le faucardage régulier organisé par les pisciculteurs en dégagant des couloirs libres, guidant les écoulements vers les prises d'eau, se traduit par un abaissement du niveau. D'une année sur l'autre, la diversité et l'étendue du cortège floristique varie très fortement, selon plusieurs facteurs (conditions météorologiques, turbidité, qualité de l'eau...).

Un pilotage contrôlé de la croissance des herbiers pourrait aider à stabiliser le niveau d'eau, puis le faucardage permettrait de piloter la vidange du karst à une période contrôlée.

Avantages

solution naturelle
solution réversible
peu d'impacts sur les usages
solution *a priori* peu coûteuse et facile à mettre en place

Inconvénients

succès non garanti (compréhension imparfaite du cycle de développement des herbiers)
gain difficilement quantifiable mais jugé bien inférieur à une surélévation artificielle du fil d'eau
quid si nécessité d'une régulation des cygnes (espèce protégée) ?

Incertitudes

gains difficilement quantifiables, maîtrise d'œuvre à discuter et pilotabilité à imaginer

Éléments complémentaires pour consolider un avant-projet :

- Observations naturalistes régulières, photographies aériennes (améliorer la compréhension de la dynamique de croissance des herbiers et de leur impact hydraulique)
- Modélisation hydraulique de l'impact des herbiers (besoin de données bathymétriques)

(2B) Recharge granulométrique de la Touvre

Il s'agirait ici de réhausser le fond du lit entre les sources et les premiers seuils.

La haute vallée de la Touvre est une zone de dépôt alluvionnaire plutôt plane, sans terrasses alluviales significatives et emboîtées ni de lit mineur incisé. Il s'agit de la situation la plus favorable qui soit vis-à-vis de l'effet recherché, et elle est naturelle (l'un des rares secteurs de la Touvre amont qui n'ait pas été touché par les travaux de curage et recalibrage des années 80).

Avantages

peu d'impact sur le captage AEP

Inconvénients

artificialisation forte du lit pour un gain jugé nul
solution non réversible, non pilotable, ne répond pas à l'objectif à elle seule (pour mobiliser un « stock supplémentaire » en été, il faudrait pomper)
quantité de matériau importante au vu de la largeur du lit (opération coûteuse)
gestion forte des fines pour ne pas impacter les piscicultures

Solution 3 : surélévation du fil d'eau par la rehausse du seuil existant

Le principe est le même que pour la solution « diguette » (même mécanisme physique recherché : hausse et contrôle du niveau d'eau de la Touvre), seule la position du seuil diffère. Il s'agit ici de s'appuyer sur un ouvrage existant, localisé à 400-500m en aval des sources : le seuil de la Tracherie. A ce titre, la réponse est identique, avec une incertitude augmentée puisque la pente hydraulique entre le seuil et les sources doit être prise en compte.



La régulation du niveau d'eau via un dispositif pilotable serait nécessaire pour s'adapter aux fluctuations de débit. Cependant, cela impliquerait des travaux lourds, tels que la reconstruction du seuil et l'intégration de systèmes de gestion de niveau, entraînant des problématiques de gouvernance et de gestion technique et perturbant le fonctionnement des piscicultures *a minima* pendant la durée des travaux (construction de batardeaux, dérivation temporaires, turbidité).

Avantages

impact sur les sources minimisé
(par rapport à la solution 1)
permet de ne pas artificialiser
un site naturel
solution modulable (dispositifs de
régulation du débit retenu/lâché)

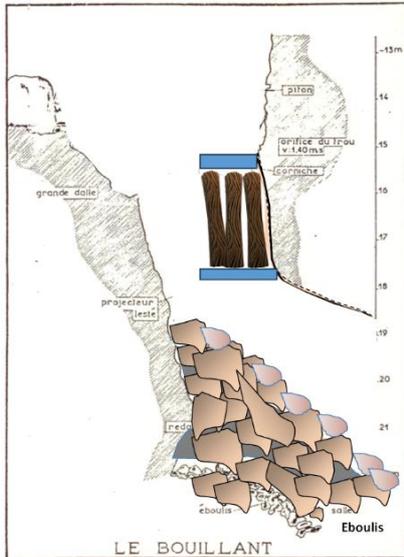
Inconvénients

gain difficilement quantifiable mais efficacité
probablement réduite (par rapport à la solution 1)
solution coûteuse et non réversible (travaux lourds
pour reconstruire le seuil)
gros impacts sur les piscicultures notamment pendant
la phase de travaux
risque d'un exhaussement durable du fond élevé
(accumulation sédimentaire en amont)

Incertitudes

périmètre d'influence et capacité de stockage non quantifiables sans expérimentation
(incertitudes liées à l'hétérogénéité et la complexité du karst)
+ absence de données bathymétriques et topographiques fiables : impossible de convertir la
hausse de niveau potentielle au niveau du seuil en hausse de niveau au niveau des sources

Solution 4 : obstruction des conduits karstiques



Plusieurs effondrements ont été constatés au niveau du siphon du Bouillant, augmentant sa section et provoquant *a priori* une diminution des pertes de charge, des cycles de vidange plus rapides et des étiages plus longs et plus sévères. Cette solution repose donc sur l'obturation partielle de certains passages étroits des siphons, dans le but de rétablir les sections d'origine et de ralentir la vidange. Une modification des pertes de charge dans le conduit (réduction de la section, comblement) aura un effet immédiat sur le débit de l'ensemble sourcier.

2 solutions techniques sont proposées :

- ajout progressif d'éléments (type poutrelles) encastrés dans un butonnage
- ballons obturateurs gonflables et modulables à distance

Avantages

solution probablement la plus efficace
 solution réversible
 pas d'impact paysager
 solution modulable et progressive, pilotable depuis la surface dans le cas des obturateurs gonflables

Inconvénients

mise en place complexe (intervention de plongeurs, conditions de plongée difficiles)
 solution risquée (intervention directe sur les conduits, instabilités par augmentation des vitesses, risque de décolmatages argileux, réactivation de trop-pleins)
 impact sur le captage AEP le temps des travaux
 la réduction de la section aura un effet sur le débit (non quantifiable à ce stade)
 suivi du bon déroulé de l'expérimentation difficile (pas visible depuis la surface)
 peu de retour d'expérience
 impact sur les piscicultures : turbidité, azote, oxygène dissous à surveiller afin de contrôler leur non-variation

Incertitudes

bénéfice non quantifiable sans expérimentation (hétérogénéité du milieu karstique + dépend des pertes de charge que l'on va générer, paramètre que l'on ne sait pas évaluer à ce stade)

Éléments complémentaires pour consolider un avant-projet :

- instrumentation de l'ensemble sourcier (Font de Lussac, capteurs de pression au fond des émergences) afin de comprendre plus précisément la loi de pertes de charges
- reconnaissance subaquatique des résurgences (relevé topographique avec établissement de coupes et profils précis en travers, reportage photographique) afin de cerner la morphologie des sections qui pourraient faire l'objet d'un pilote

Solution 5 : différer l'infiltration directe, privilégier une infiltration diffuse

RAPPEL

Le karst de La Rochefoucauld est caractérisé par une alimentation binaire : il est alimenté d'une part par **infiltration diffuse des pluies** sur l'impluvium karstique et d'autre part par les **rivières** qui se perdent en partie ou en totalité au niveau de gouffres (**infiltration directe**).

- En été, très peu d'eau « échappe au karst », en témoignent les débits souvent quasi-nuls de la Tardoire à Coulgens. Augmenter les capacités d'infiltration en été n'aurait donc pas d'intérêt.
- En hiver, les pertes via les gouffres sont déjà saturées (les rivières sont pérennes) et ne pourraient donc *a priori* pas infiltrer plus. En très hautes eaux, le karst fonctionne même en trop-plein.

Il s'agit donc ici de travailler plutôt sur l'**infiltration diffuse en hiver**, afin de rechercher un **effet retard** entre l'infiltration de l'eau et son transfert vers les sources. Ainsi, la solution retenue consiste à différer l'infiltration directe (temps de transfert vers les sources ≈ 5 jours) et de privilégier une infiltration plus diffuse (le même volume d'eau s'infiltré, mais avec un **temps de transfert plus long** vers les sources).

(5A) Aménagement des pertes

Cette solution consiste à proposer des aménagements en amont des pertes afin de gérer la répartition de l'infiltration des eaux (une partie s'infiltré au niveau de la perte, une autre est **reportée vers des zones d'infiltration plus lentes**, plus capacitives).

Cette répartition peut se faire par la mise en place d'ouvrages de dérivation partielle (de type merlon de ceinturage étanche, noue enherbée de contournement, busage béton/seuil...), par des systèmes de vannes (manuelles ou automatiques) ou de trop-pleins déversant.

Avantages

aménagements simples, qui ne nécessitent en général aucune gestion particulière
mécanisme modulable (piloté en fonction des débits) envisageable
impact positif sur la rivière en aval, facilite la circulation des eaux superficielles
REX existants (Aveyron, Slovénie, Bosnie)

Inconvénients

aménagements en général fixes, non réversibles facilement (mais démontables)
génie civil : artificialisation d'une perte
impact visuel/paysager
problématique du foncier
vigilance : impact géotechnique (ouverture de nouvelles pertes, instabilité...), hydraulique (débordement, érosion...) ou écologique

Incertitudes

Efficacité difficile à quantifier (compréhension imparfaite de la recharge du système karstique en hautes eaux : l'alimentation par les pertes participe-t-elle à la recharge via des alimentations latérales vers les zones capacitives ?)

Éléments complémentaires pour consolider un avant-projet :

- identifier les pertes qui pourraient faire l'objet d'aménagements et les zones capacitives vers lesquelles les flux pourraient être reportés : caractériser le fonctionnement et le rôle dans l'alimentation du système des zones d'infiltration (temps de transfert vers les sources...)

(5B) Réalimentation artificielle à partir d'anciennes gravières

Le principe consiste à dévier une partie de l'eau de la Tardoire vers d'anciennes gravières, situées en rive gauche, comme zones d'infiltration diffuse des eaux, afin d'éviter qu'elle ne se perde dans un gouffre situé dans le lit mineur de la rivière en aval. L'effet retard introduit par une infiltration diffuse à partir du plan d'eau et d'un transfert d'eau vers l'aquifère.

Cette solution repose sur les hypothèses suivantes, qui doivent être vérifiées :

- ces anciennes gravières sont connectées au système de la Touvre
- l'infiltration se fait de manière diffuse et différée

Plusieurs gravières ont été identifiées en amont de La Rochefoucauld et pourraient faire l'objet d'études de faisabilité. Ces gravières présentent des superficies de plusieurs hectares et des volumes potentiellement stockables supérieurs à 500 000 m³.

En 2015, la Communauté de Communes La Rochefoucauld Porte du Périgord a porté le réaménagement de l'une de ces carrières, le site de Landaudrie à Rancogne (gravière abandonnée en avril 1992), et la remise en état de l'ancienne prise d'eau au droit de la Tardoire afin d'alimenter la carrière. Le plan d'eau couvre une emprise d'environ 16 ha. Le projet consistait à recréer un lieu de biodiversité et de promenade des habitants du secteur.

Avantages

capacité de stockage intéressante (0,5 - 1Mm³) au vu de la superficie et de la profondeur importantes de ces carrières (plusieurs hectares, 10-15m)

aménagements simples, permettant une répartition aisée des flux, et peu coûteux (du fait de la proximité avec la Tardoire)

possibilité de dispositifs modulables et pilotables (vannes manuelles ou automatiques), et d'ouvrages de contrôle et de régulation des flux

écrêtement des crues

co-bénéfices (récréatif, pêche)

Inconvénients

aménagements fixes, faisant appel à des techniques de génie civil (artificialisation d'une partie des berges de la rivière) et non réversibles facilement.

démontrer au préalable la non-dégradation géotechnique des berges et la non-perturbation hydraulique de la dynamique des ruisseaux en aval

Incertitudes

L'apport de ce stockage dans la recharge du système karstique est difficile à démontrer et à quantifier à ce stade (capacité d'infiltration, effet de colmatage des plans d'eau, transfert d'eau vers l'aquifère, effet retard)

Éléments complémentaires pour consolider un avant-projet :

- Bilans hydrologiques et traçages pour quantifier l'impact sur les sources
- Contrôle de la qualité des eaux stockées et son évolution
- Études hydrauliques pour quantifier l'impact sur le régime hydrologique de la Tardoire, étudier l'effet sur l'écroulement des crues

Solution 6 : augmenter les apports provenant du domaine granitique

(6A) par un travail sur les étangs et leur débit réservé (voire leur effacement)

Les 3240 retenues d'eau (tout usage confondu) recensées sur la partie cristalline du bassin d'alimentation du karst influencent l'hydrologie locale par rétention et évaporation.

Deux modalités peuvent être imaginées :

- **L'effacement des étangs** permettrait de gagner un ordre de grandeur de « consommation » d'eau par sur-évaporation d'environ 2,5 Mm³. Il est difficile d'estimer quand et comment ces 2,5 Mm³ se répartissent dans le régime hydrologique de la Touvre.
- **La mise en place de débits réservés** (dispositifs de contournement) garantirait une transparence hydraulique stricte dès que les débits chutent sous 10 % du module (soit environ 1 m³/s pour l'ensemble du bassin versant). Mis en place sur l'ensemble des plans d'eau, cet exemple apporterait 200 à 600 L/s supplémentaires au karst en étiage.

Il est estimé qu'un volume suppl. de l'ordre de 14 Mm³ réparti sur les mois d'été permettrait d'augmenter le débit d'étiage de la Touvre de 1 à 2 m³/s (si 100% de l'eau infiltrée est restituée).

Avantages

bénéfique pour le milieu

Inconvénients

solution pragmatiquement peu envisageable pour l'ensemble des ouvrages, donc gains limités
solution non pilotable et non réversible

Incertitudes

L'impact (combien et quand) de cette recharge sur les débits de la Touvre dépend de la fonction de transfert rivière → sources de la Touvre, qui n'est pas connue avec certitude.

(6B) par la création de retenue(s)

Cette solution consiste à capter et stocker les eaux excédentaires et à libérer progressivement l'eau stockée pendant les périodes de sécheresse. Il s'agit d'un soutien d'étiage « indirect » de la Touvre : soutien d'étiage des rivières qui alimentent le karst, qui lui-même alimente la Touvre. On considère habituellement que l'on peut tenir environ 250 L/s sur 3 mois avec 1 Mm³ déstocké (bassin versant de 5 km² intercepté). Un réservoir plus important augmenterait significativement cet impact.

Avantages

géologie (socle granitique) et topographie du secteur propices au stockage
solution pilotable
impact bénéfique sur le milieu (maintien en eau relatif des rivières sur le karst)
impact touristique positif en cas de retenue multi-usages

Inconvénients

artificialisation forte, avec des enjeux politiques, sociétaux et environnementaux
solution irréversible et très coûteuse (investissement, gestion, entretien)
impact possible sur la qualité des eaux au niveau du captage des sources (cyanobactéries)

Incertitudes

fonction de transfert lâchers sur le haut bassin versant → impact sur la Touvre

Solution 7 : sur-exploitation du karst

Cette solution consiste à pomper dans l'aquifère, dans des zones productives et peu connectées au flux en étiage (qui « échappe » au système), afin de solliciter les réserves pas ou peu accessibles en conditions naturelles. Il s'agit de « sur-exploiter » l'aquifère, au-delà de ce qui est généralement admis. Le débit de pompage est supérieur au débit qui se serait naturellement écoulé.

Plusieurs solutions :

- pompage (plus profond) en complément du pompage AEP dans le Bouillant
- pompage dans un forage profond (à identifier voire à créer)
- pompage dans un regard de la zone noyée du karst (Fosse Mobile, Grande Fosse, Bois du Clos... mais éloignés de la Touvre et de toute alimentation électrique).

Comme pour les solutions précédentes, une expérimentation préalable sera nécessaire afin de dimensionner le dispositif et de tester les fonctionnalités de l'aquifère karstique et notamment l'importance des réserves. Cette expérimentation se base notamment sur la réalisation d'un essai par pompage à gros débit (plusieurs centaines de m³/h) et de très longue durée (plusieurs mois).

Avantages

mobilisation de réserves annexes,
non sollicitées actuellement

solution pilotable

REX : source du Lez (AEP de la
métropole de Montpellier)

diminution de l'intensité des crues au
début de l'automne

Inconvénients

ex : un pompage de 100 m³/h correspond à environ
30L/s, le gain paraît donc faible au regard de
l'effort de pompage

méconnaissance sur les mécanismes de recharge
(risque de non-reconstitution des réserves)

utilisation d'énergie électrique

gestion technique et financière très rigoureuse
pour encadrer le dispositif de pompage

abaissement du plan d'eau sous le niveau de
l'exutoire : risque de déséquilibre hydraulique du
karst, effets non prévisibles à ce stade

Incertitudes

La définition et quantification des impacts définir la capacité des réserves mobilisables par pompage et d'estimer l'influence d'un tel dispositif sur l'aquifère et les usages passe obligatoirement par la mise en œuvre d'un essai par pompage avec suivi de différents points d'eau. Cet essai permet également de définir le périmètre d'influence du pompage et la fonctionnalité du système (débit de réalimentation, sollicitations de réserves et interconnexion...).