

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

Comité de Pilotage – 20/02/2025



EPTB
CHARENTE

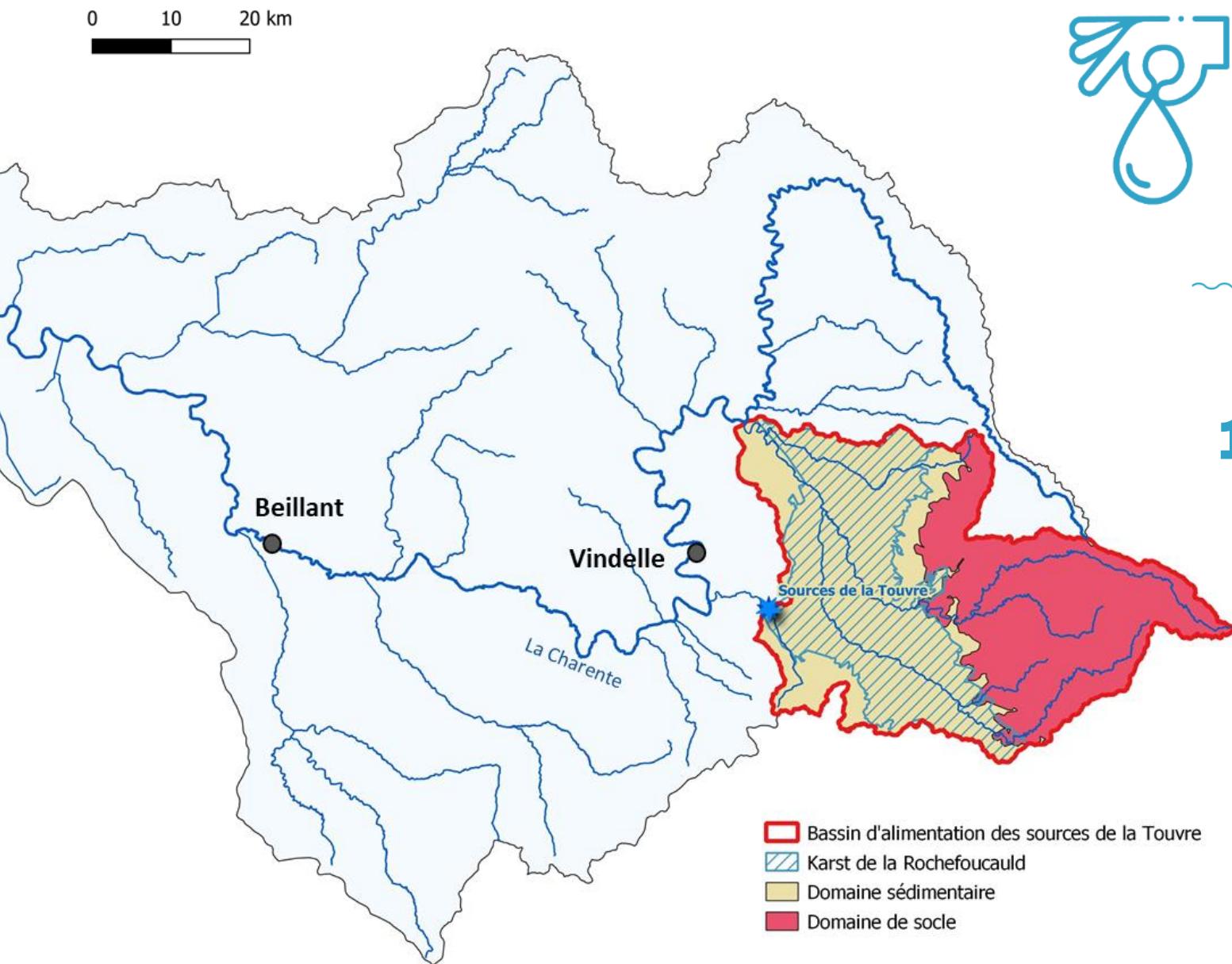
Établissement Public Territorial de Bassin Charente



Bassin du fleuve
Charente
2050

Inventons le territoire du futur





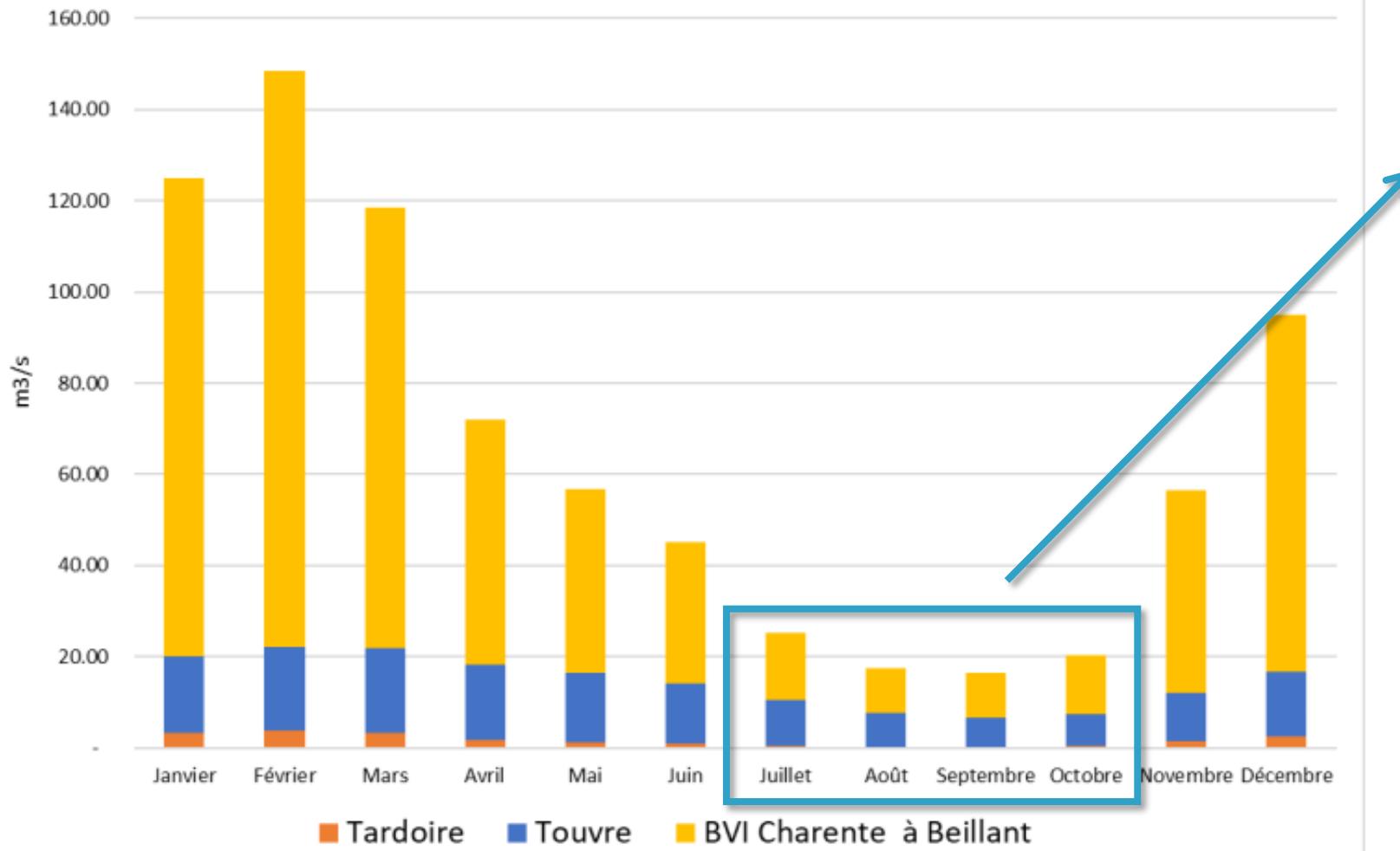
**Une ressource stratégique :
soutien du fleuve Charente
et alimentation en eau
potable d'Angoulême**

**1200 à
1500 km²**

Superficie du bassin
d'alimentation des
sources de la Touvre

**3 départements
9 EPCI
3 syndicats de bassin**

Contribution au débit de la Charente des grands sous ensembles hydrologiques (2006/2023)



Le karst : régulateur hydrologique du fleuve

Les apports de la Touvre représentent en moyenne 42% du débit à Beillant en août, et jusqu'à plus de 60% en étiage sévère.



Plan d'adaptation au changement climatique du bassin du fleuve Charente



2 axes de travail spécifiques au karst sont en cours (inscrits dans la Feuille de route 2022-2027 pour la gestion quantitative du bassin de la Charente et dans le Plan d'adaptation Charente 2050)

L'optimisation de la gestion des prélevements dans le karst

L'expérimentation d'un dispositif de gestion de la vidange du karst



Plan d'adaptation au changement climatique du bassin du fleuve Charente



2 axes de travail spécifiques au karst sont en cours (inscrits dans la Feuille de route 2022-2027 pour la gestion quantitative du bassin de la Charente et dans le Plan d'adaptation Charente 2050)

L'optimisation de la gestion des prélevements dans le karst

L'expérimentation d'un dispositif de gestion de la vidange du karst

objet de la réunion

Historique

Succession
d'étiages sévères

1990 1992

idée de mise en place d'un stockage temporaire d'eau dans le karst

étude de faisabilité (HydroInvest)

2004

idée reprise dans le PGE proposition d'installation de diguettes amovibles barrant les sources
« Projet Diguette »

2008-2009

réunions de concertation, échanges avec les acteurs

2014

avis de l'Hydrogéologue Agréé (pas d'incidence sur l'AEP)

projet jamais concrétisé

2019

cadrage des réflexions autour d'un objectif élargi : optimiser le soutien d'étiage de la Charente par le karst

2021

notification du marché et lancement de l'étude

validation du Plan d'Adaptation et inscription du projet comme « solution de rupture » à étudier

idée re-évoquée dans la concertation autour de l'adaptation au changement climatique (Charente 2050)

2023

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

Étude concertée

- ✓ Entretiens avec les **acteurs locaux** : producteurs d'eau potable, syndicats de rivière, profession agricole, piscicultures, fédération de pêche, association de protection de l'environnement, élus locaux, acteurs de la préservation du patrimoine, spéléologues

En résumé :

- Opportunité du projet (bénéficiaires ?) et volumes recherchés en conséquence
- Vigilance sur les impacts et la perturbation des activités (captage AEP, piscicultures)
- Pilotabilité et réversibilité sont deux critères importants
- Respect du patrimoine naturel, paysager et culturel
- Garanties de transparence, nécessité d'informer les riverains

➤ Opportunité du projet (bénéficiaires ?) et volumes recherchés en conséquence

→ **objectif = sécurisation** des milieux et des usages

Localement

→ pas de déficit

Biodiversité : écosystèmes de grande qualité mais particulièrement sensibles qui dépendent du **maintien** des débits et de la qualité de l'eau

AEP : pas de besoin de volume supplémentaire (ressource pas en tension y compris en étiage sévère), enjeu de **sécurisation** (exploitation)

Irrigation : pas de besoin de volume suppl. (consommation << autorisation malgré peu de restrictions), volonté de **maintien** des activités

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

Tourisme : (pêche, canoë-kayak)

Sur le fleuve en aval d'Angoulême

→ apports de la Touvre cruciaux pour le maintien des débits, de la qualité et de la température des eaux
→ **déficit** important à l'estuaire

AEP : **sécurisation** des captages dans le fleuve (dont captages prioritaires de Coulonge et Saint-Hippolyte) et des captages souterrains (dilués)
A l'horizon **2050**, **déséquilibre** besoin-ressource probable en pointe estivale sur le réseau Littoral

Irrigation : fait l'objet d'une gestion conjoncturelle et de volumes prélevables. Pas de volonté d'augmenter le volume (car pas de demandes supplémentaires) mais plutôt de mieux répartir la pression de prélèvement

Biodiversité

Activités conchyliques

Tourisme

➤ Opportunité du projet (bénéficiaires ?) et volumes recherchés en conséquence

→ **objectif = sécurisation** des milieux et des usages

Localement

→ pas de déficit

Biodiversité : éco...
mais particulièrement
du **maintien** des dé...
s

AEP : pas de beso...
(ressource pas en
sévère) mais enjeu
d'un point de vue d...



Irrigation : pas de besoin de volume supplémentaire (consommation << autorisation malgré peu de restrictions), volonté de **maintien** des activités

Tourisme

Sur le fleuve en aval d'Angoulême

→ apports de la Touvre cruciaux pour le maintien des débits, de la qualité et de la température des eaux

L'adaptation au
changement climatique et la
résorption des déficit passe
par un **mix de solutions** !

lans le fleuve (dont
et Saint-Hippolyte)
e besoin-ressource
seau Littoral

Irrigation : pas sujet à une gestion conjoncturelle et de volumes prélevables. Pas de volonté d'augmenter le volume (car pas de demandes supplémentaires) mais plutôt de mieux répartir la pression de prélèvement

Biodiversité

Activités conchyliques

Tourisme

Étude concertée

- ✓ Entretiens avec les **acteurs locaux** : producteurs d'eau potable, syndicats de rivière, profession agricole, piscicultures, fédération de pêche, association de protection de l'environnement, élus locaux, acteurs de la préservation du patrimoine, spéléologues

En résumé :

- Opportunité du projet (bénéficiaires ?) et volumes recherchés en conséquence
 - Notion de **solidarité amont-aval**
 - qui doit se traduire par une **solidarité aval-amont** dans la mise en œuvre
- Vigilance sur les impacts et la perturbation des activités (captage AEP, piscicultures)
- Pilotabilité et réversibilité sont deux critères importants
- Respect du patrimoine naturel, paysager et culturel
- Garanties de transparence, nécessité d'informer les riverains

Étude concertée

- ✓ Crédit à la création d'un **comité d'experts hydrogéologues** :

En résumé :

- Les solutions doivent être **réversibles** à tout moment
- Elles doivent faire l'objet d'une **expérimentation**, avec possibilité d'un arrêt rapide en cas de constats de dysfonctionnement pour limiter les risques
- Elles doivent être mises en œuvre de manière **progressive** et **dans les plages de variation connues** du système karstique
- La **quantification de l'impact** (stockage, périmètre d'influence) d'un aménagement intra-karst, au droit ou à l'aval immédiat n'est pas possible sans expérimentation.
- La **connaissance hydrochimique** du système karstique de la Touvre est méconnue
- **Pas de risques majeurs sur la qualité** des eaux identifiés pour les solutions étudiées (en lien avec l'importance de la capacité de dilution du karst)

Objectif = optimiser la capacité du karst à soutenir les débits d'étiage du fleuve

→ c'est-à-dire augmenter les débits d'étiage de la Touvre (et donc de la Charente) grâce aux apports du karst



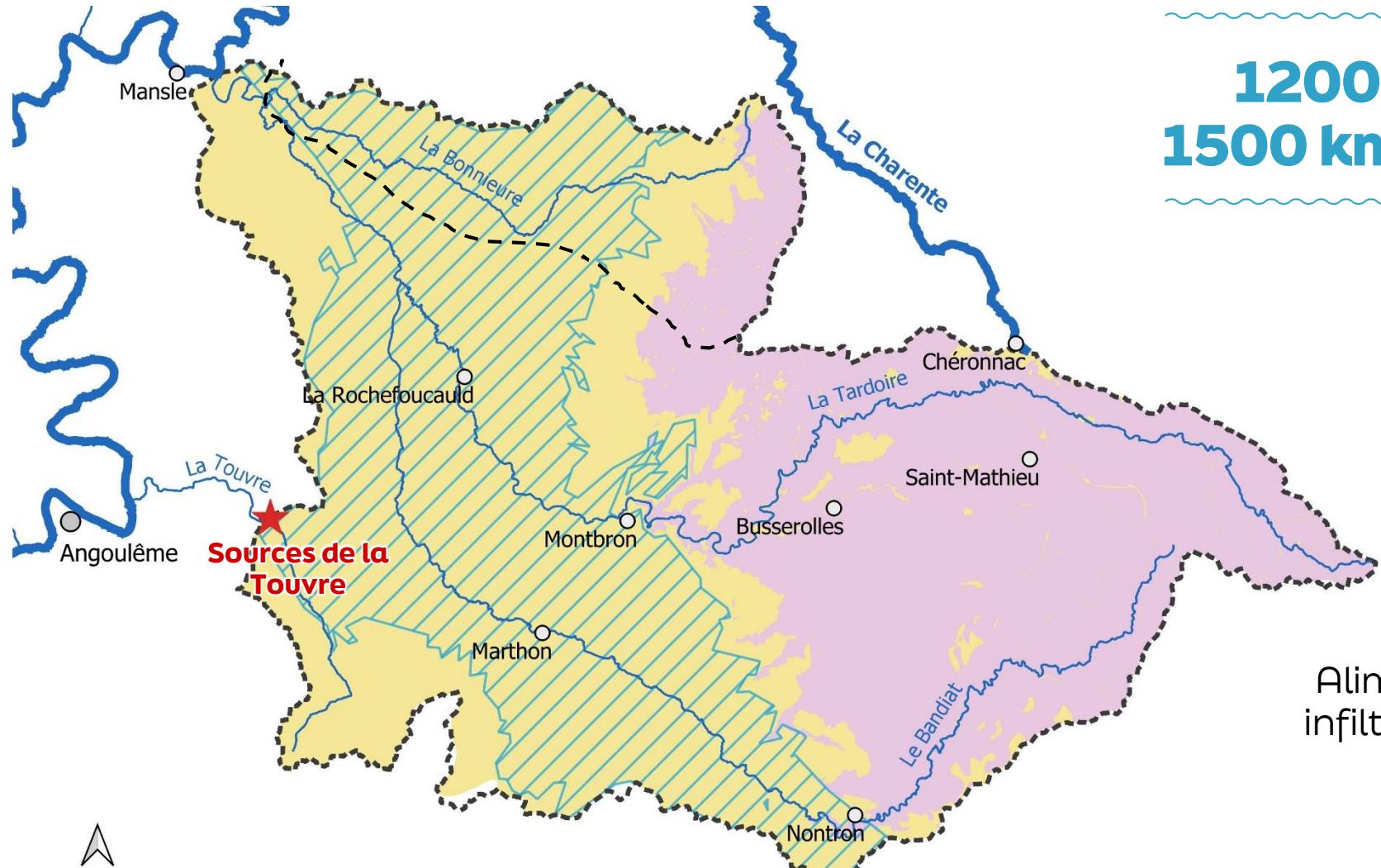
Notion de « gestion active »

exploitation optimale de la ressource en eau par des actions contrôlées et maîtrisées

Quelques exemples en France : réalimentation artificielle d'un aquifère (avec des eaux de rivière en période de hautes eaux), sur-exploitation temporaire maîtrisée dans des zones profondes.

→ but : alimentation de champ captant (eau potable), régulation des débits des cours d'eau, amélioration de la qualité des nappes, protection des aquifères côtiers contre l'intrusion d'eau salée...

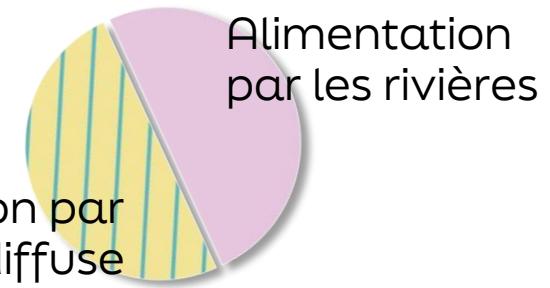
Le SDAGE Adour-Garonne encourage les « dispositifs utilisant la capacité régulatrice des nappes »



**1200 à
1500 km²**

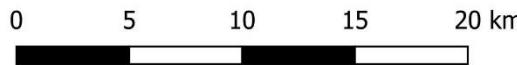
Superficie du bassin
d'alimentation des
sources de la Touvre

Alimentation binaire du karst :

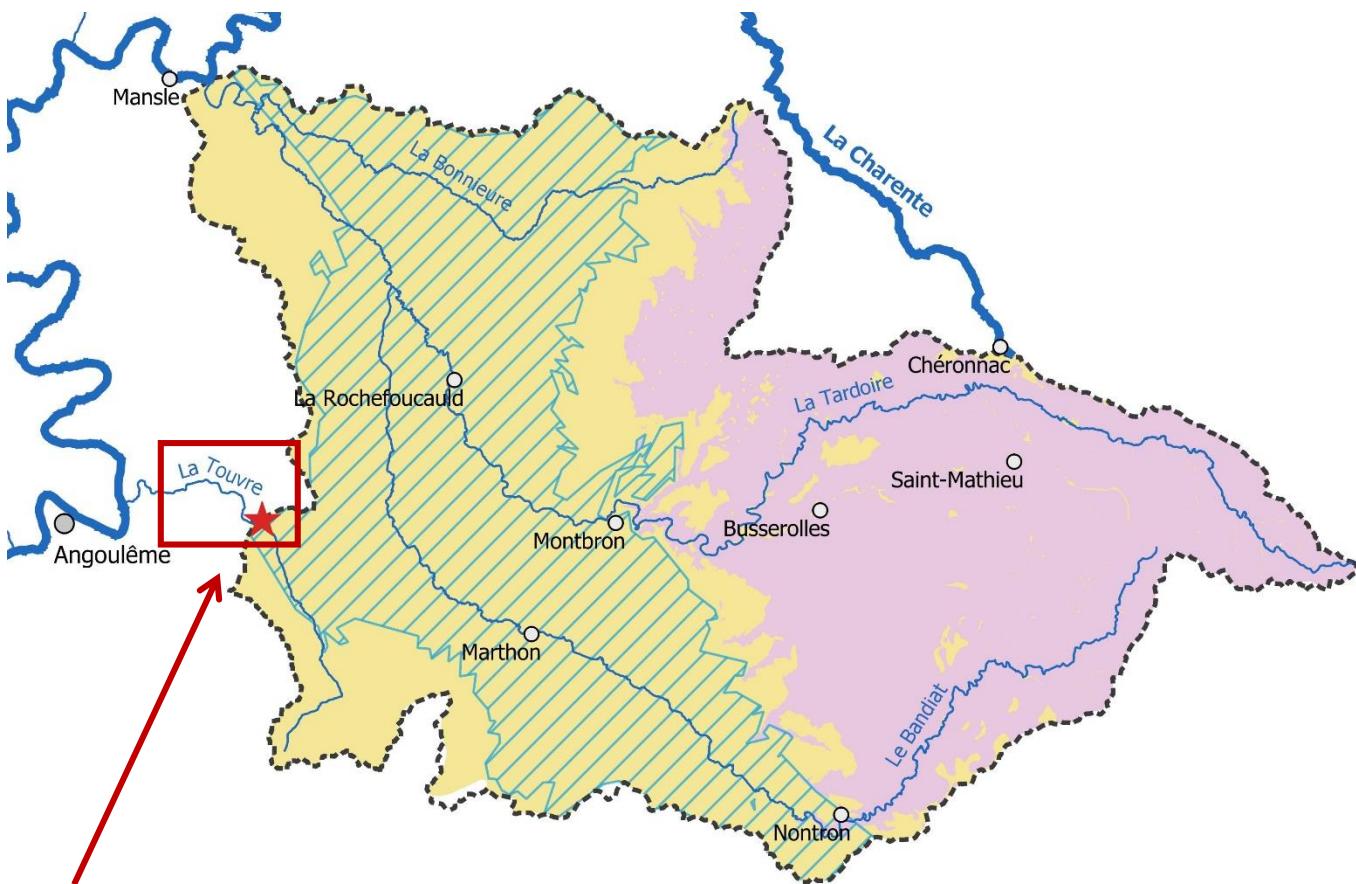


Alimentation par
infiltration diffuse
des pluies

Dominante sédimentaire
Domaine granitique



3 familles de solutions étudiées



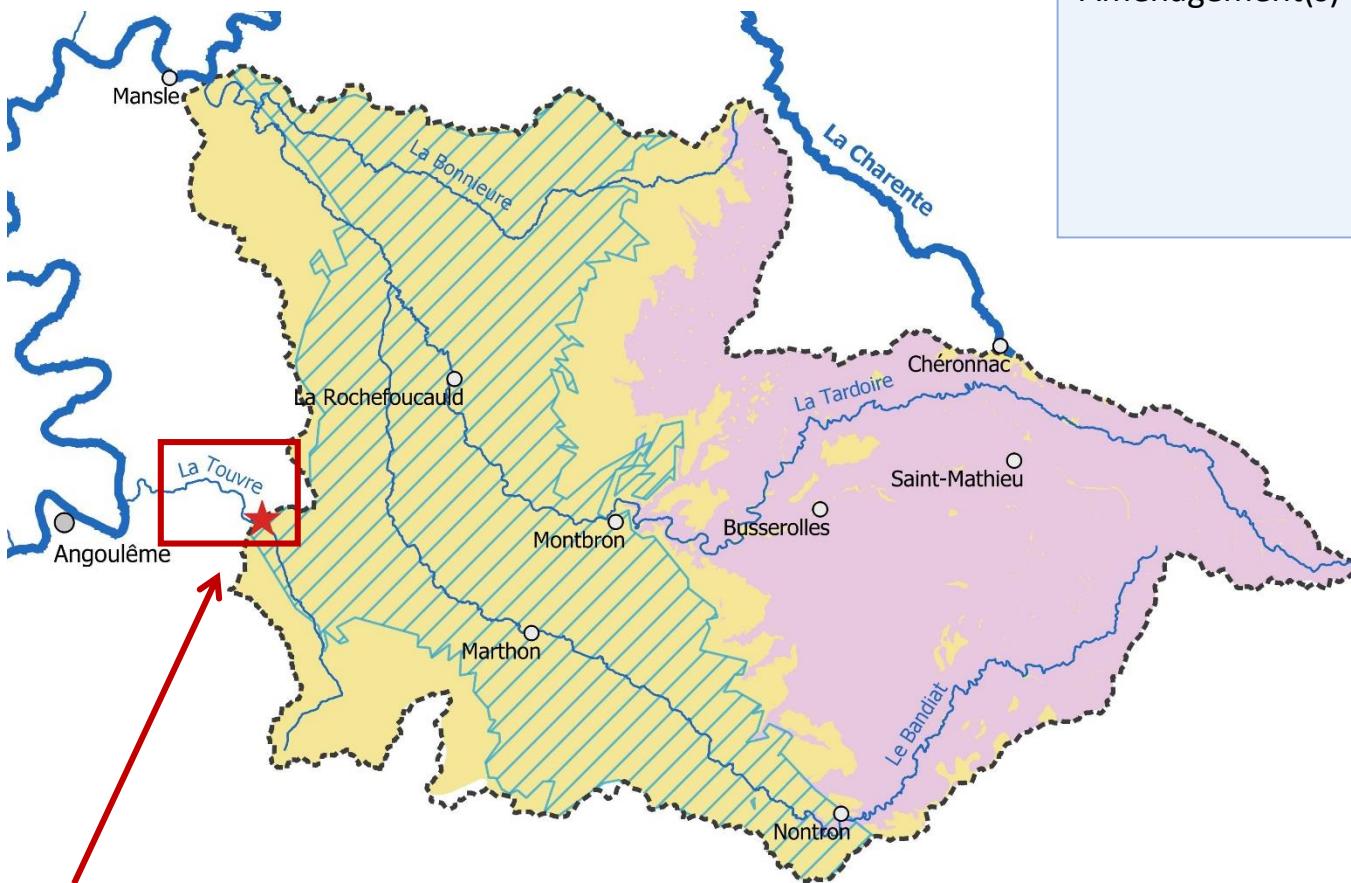
**Diminuer ou retarder la vidange du karst
 (= retenir l'eau dans le karst en hiver)**

Aménagement(s) intra-karst ou à l'aval
 immédiat des résurgences

■ Bassin d'alimentation des sources ■ Domaine sédimentaire
■ Karst de La Rochefoucauld ■ Domaine granitique

3 familles de solutions étudiées

**Diminuer ou retarder la vidange du karst
 (= retenir l'eau dans le karst en hiver)**
Aménagement(s) intra-karst ou à l'aval
immédiat des résurgences



Augmenter la recharge du karst
Aménagement(s) sur le bassin d'alimentation

3 familles de solutions étudiées

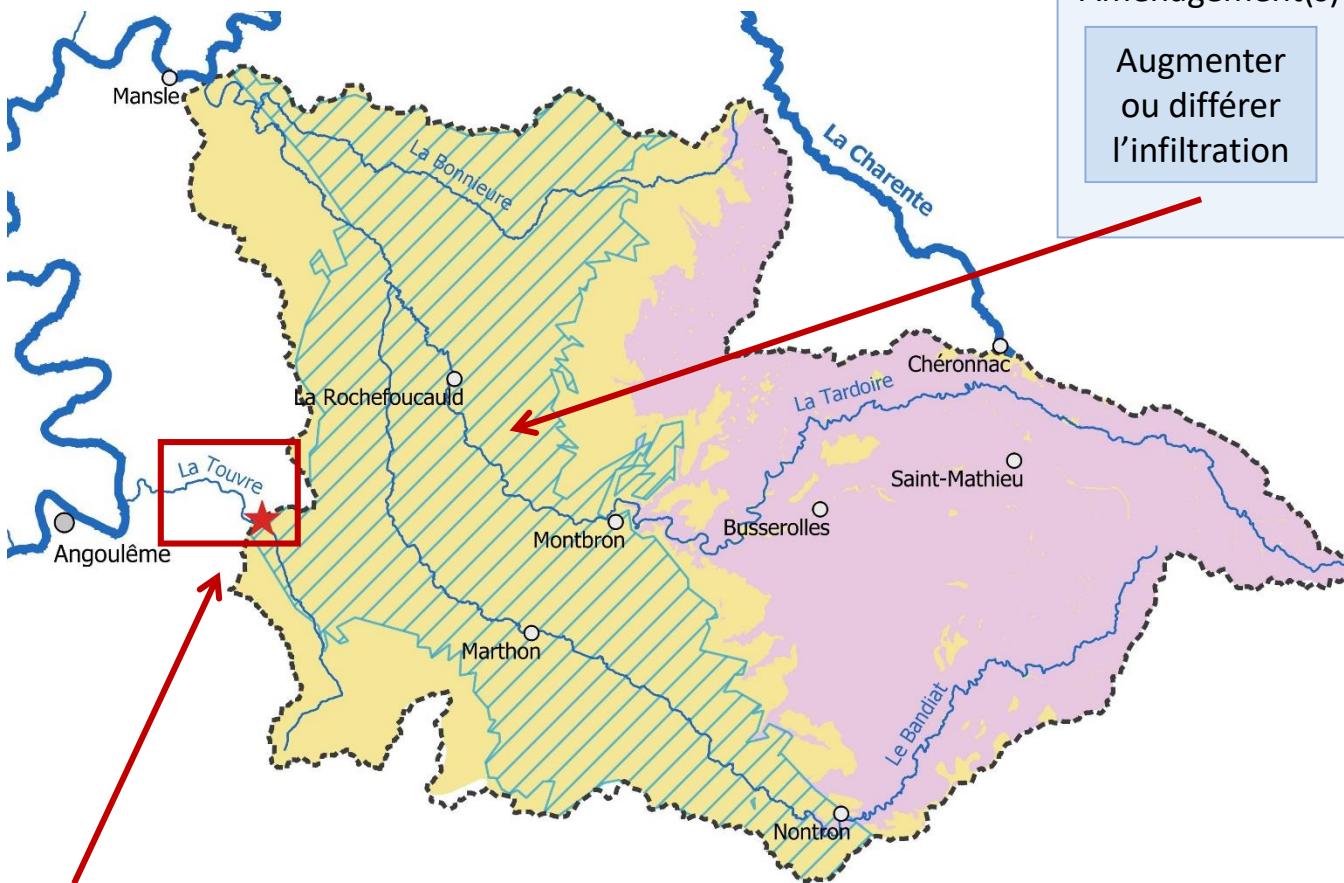
**Diminuer ou retarder la vidange du karst
 (= retenir l'eau dans le karst en hiver)**

Aménagement(s) intra-karst ou à l'aval
 immédiat des résurgences

Augmenter la recharge du karst

Aménagement(s) sur le bassin d'alimentation

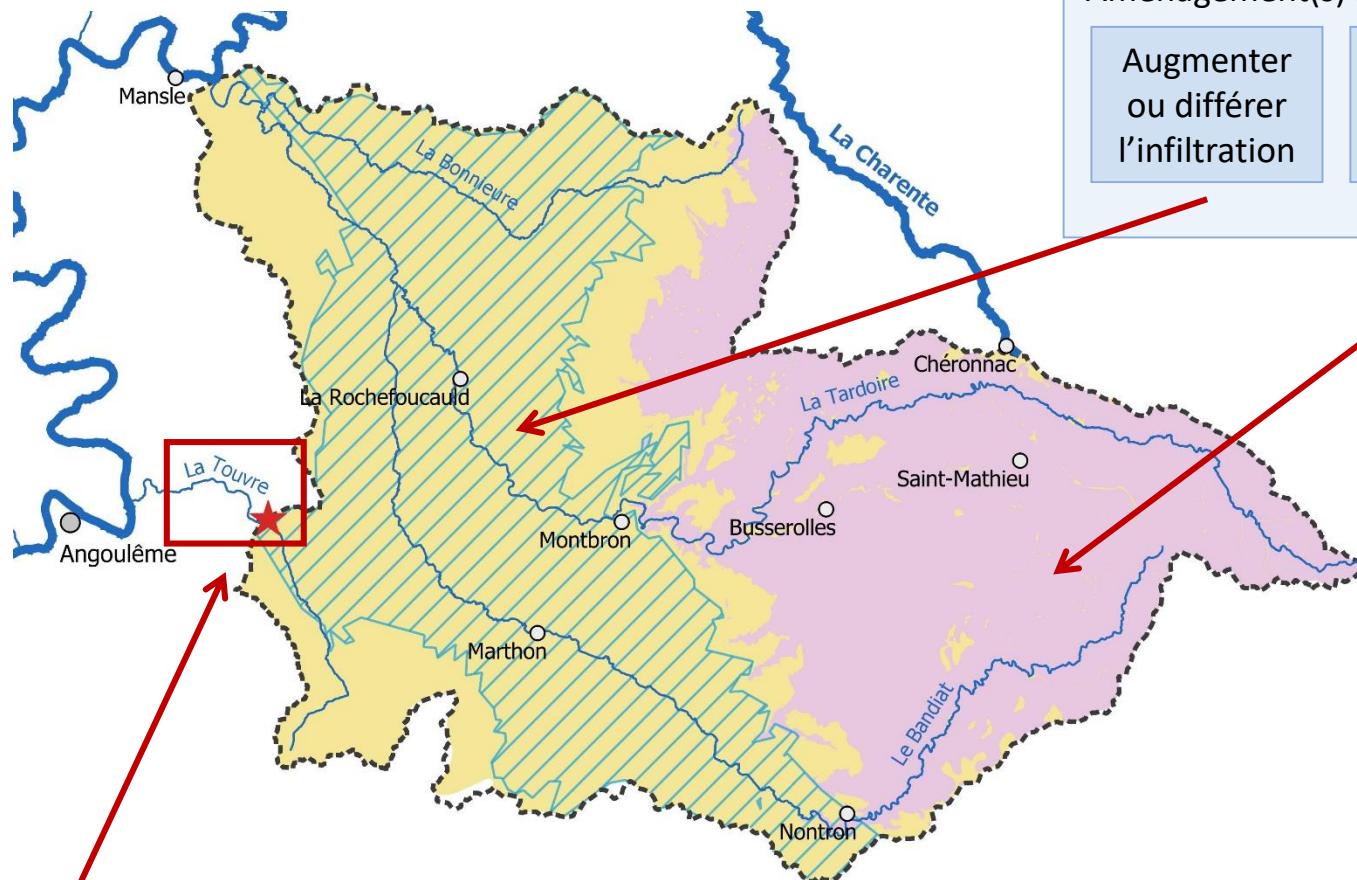
Augmenter
ou différer
l'infiltration



■ Bassin d'alimentation des sources ■ Domaine sédimentaire
■ Karst de La Rochefoucauld ■ Domaine granitique

3 familles de solutions étudiées

**Diminuer ou retarder la vidange du karst
 (= retenir l'eau dans le karst en hiver)**
Aménagement(s) intra-karst ou à l'aval
immédiat des résurgences



Augmenter la recharge du karst

Aménagement(s) sur le bassin d'alimentation

Augmenter ou différer l'infiltration

Augmenter les apports depuis le domaine granitique

3 familles de solutions étudiées

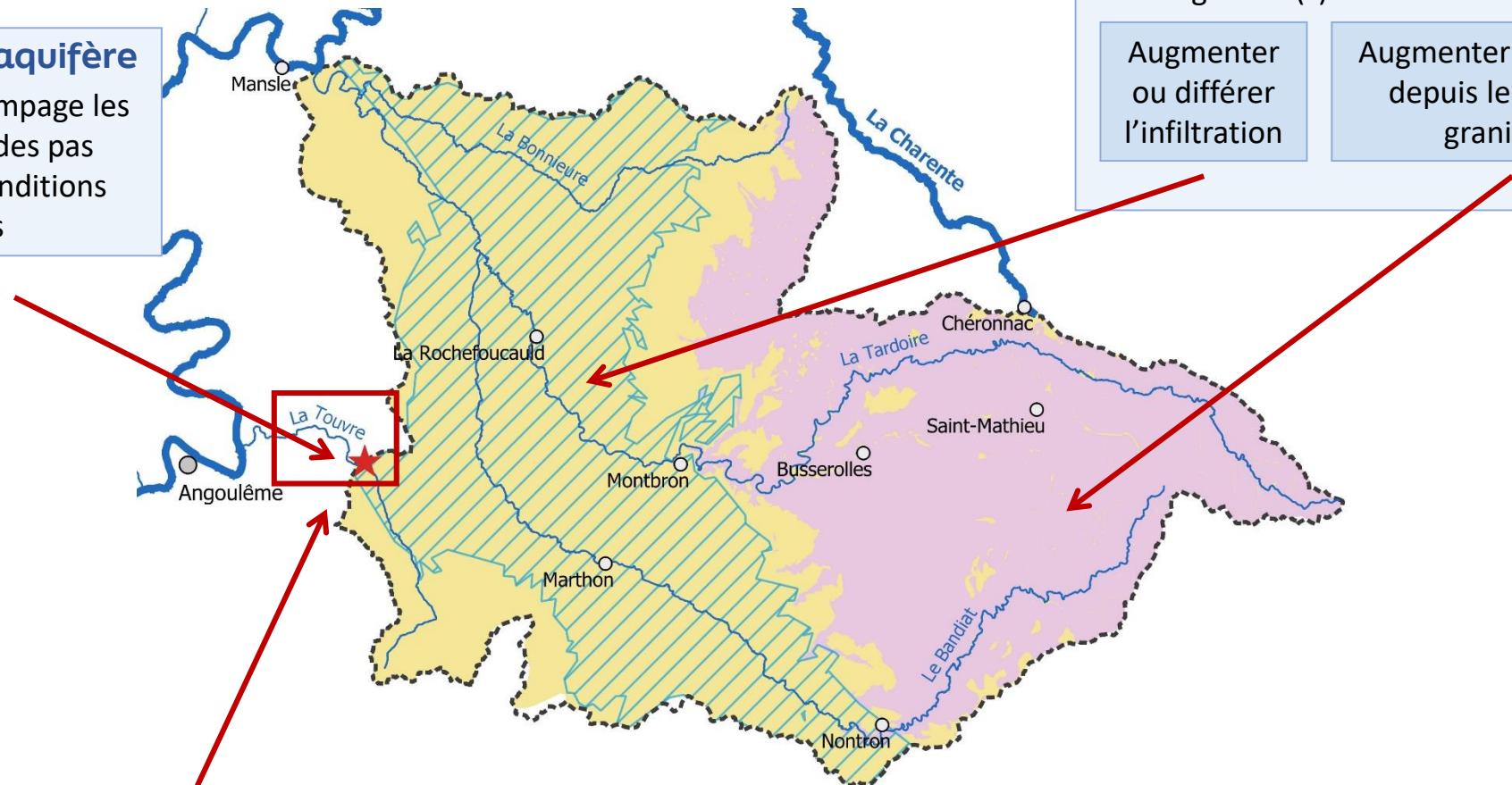
Sur-exploiter l'aquifère
Solliciter via un pompage les réserves profondes pas accessibles en conditions naturelles

Augmenter la recharge du karst

Aménagement(s) sur le bassin d'alimentation

Augmenter ou différer l'infiltration

Augmenter les apports depuis le domaine granitique



**Diminuer ou retarder la vidange du karst
 (= retenir l'eau dans le karst en hiver)**

Aménagement(s) intra-karst ou à l'aval immédiat des résurgences

■ Bassin d'alimentation des sources ■ Domaine sédimentaire
■ Karst de La Rochefoucauld ■ Domaine granitique

3 familles de solutions étudiées

Sur-exploiter l'aquifère
Solliciter via un pompage les réserves profondes pas accessibles en conditions naturelles



**Diminuer ou retarder la vidange du karst
 (= retenir l'eau dans le karst en hiver)**

Aménagement(s) intra-karst ou à l'aval immédiat des résurgences

Augmenter la recharge du karst

Aménagement(s) sur le bassin d'alimentation

Augmenter ou différer l'infiltration

Augmenter les apports depuis le domaine granitique

2 types de solutions

Techniques de Génie Civil (TGC)
Solutions Fondées sur la Nature (SFN)

Solutions retenues

| | | |
|--|-------------------|--|
| <p>Solutions basées sur le retard et/ou le ralentissement de la vidange naturelle du karst</p> <p>Aménagement(s) intra-karst ou à l'aval immédiat des résurgences</p> | Solution 1 | Surélévation du fil d'eau à l'aval immédiat des résurgences au moyen de diguettes amovibles |
| | Solution 2 | Surélévation du fil d'eau via des solutions fondées sur la nature à l'aval immédiat des résurgences (A) Gestion des herbiers aquatiques (B) Recharge granulométrique de la Touvre |
| | Solution 3 | Surélévation du fil d'eau de la Touvre par la rehausse du seuil existant de la Tracherie |
| | Solution 4 | Obstruction des conduits karstiques |

Solutions retenues

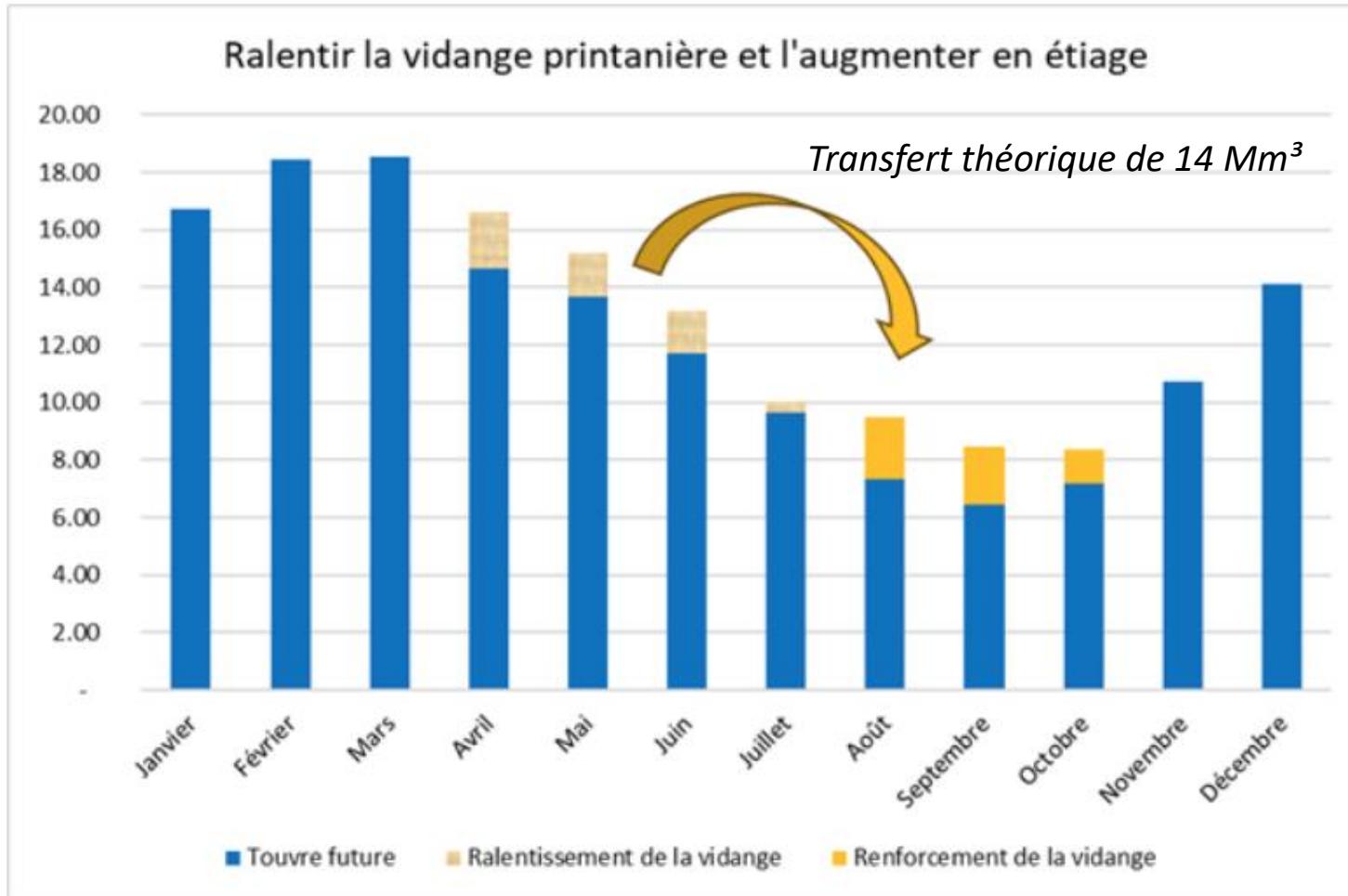
| | | |
|--|--------------------------|--|
| <p>Solutions basées sur l'augmentation de la recharge du karst</p> <p>Aménagement(s) sur le bassin d'alimentation</p> | <p>Solution 5</p> | <p>Favoriser l'infiltration diffuse des eaux</p> <p>(A) Aménagements de pertes (B) Recharge maîtrisée à partir d'anciennes gravières</p> |
| | <p>Solution 6</p> | <p>Augmenter les apports provenant du domaine granitique</p> <p>(A) par un travail sur les étangs (débit réservé, effacement) (B) par la création de retenue(s)</p> |

| | | |
|--|--------------------------|--|
| <p>Solutions fondée sur la sur-exploitation de l'aquifère</p> | <p>Solution 7</p> | <p>Solutions de pompage dans l'aquifère, dans des zones productives et peu connectées au flux en étiage</p> |
|--|--------------------------|--|

Analyse des solutions : principes retenus

| | | |
|-------------------|--|--|
| Principe 1 | Non impact sur l'usage AEP | Les solutions proposées ne devront pas impacter l'usage en eau potable actuel sur la source du Bouillant |
| Principe 2 | Non impact sur les autres usages notamment en aval | Les solutions proposées ne devront pas impacter les usages actuels notamment sur le ruisseau de la Touvre (pisciculture, industries) |
| Principe 3 | Réversibilité des solutions | La mise œuvre de chaque solution doit suivre un processus réversible et adaptatif pour proposer un outil permettant d'améliorer la connaissance de la réponse du karst à la mobilisation d'une tranche supérieure comme volume de stockage dynamique |
| Principe 4 | Rapport coût/bénéfices | Chaque solution devra être économiquement acceptable et devra présenter un rapport coût/bénéfice intéressant |
| Principe 5 | Limitation de l'impact paysager et patrimonial | Le site des sources de la Touvre est un lieu patrimonial très apprécié des riverains et des charentais. Chaque solution devra limiter au maximum l'impact paysager et patrimonial |
| Principe 6 | Acceptabilité sociale | Consensus des organismes et entités non étatiques dans l'acceptation du projet |

Les objectifs possibles de la gestion



Un volume supplémentaire de l'ordre de 14 Mm³ réparti sur les mois d'été permettrait théoriquement d'augmenter le débit d'étiage de 1 à 2 m³/s.

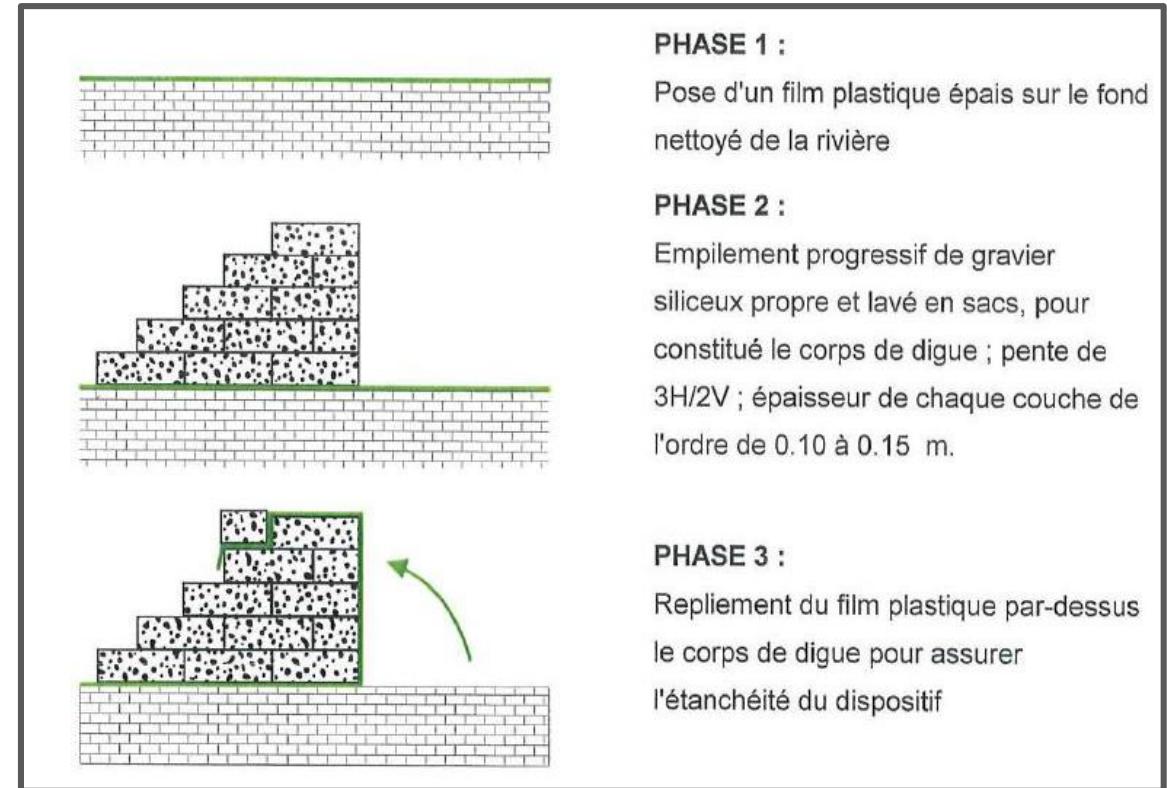
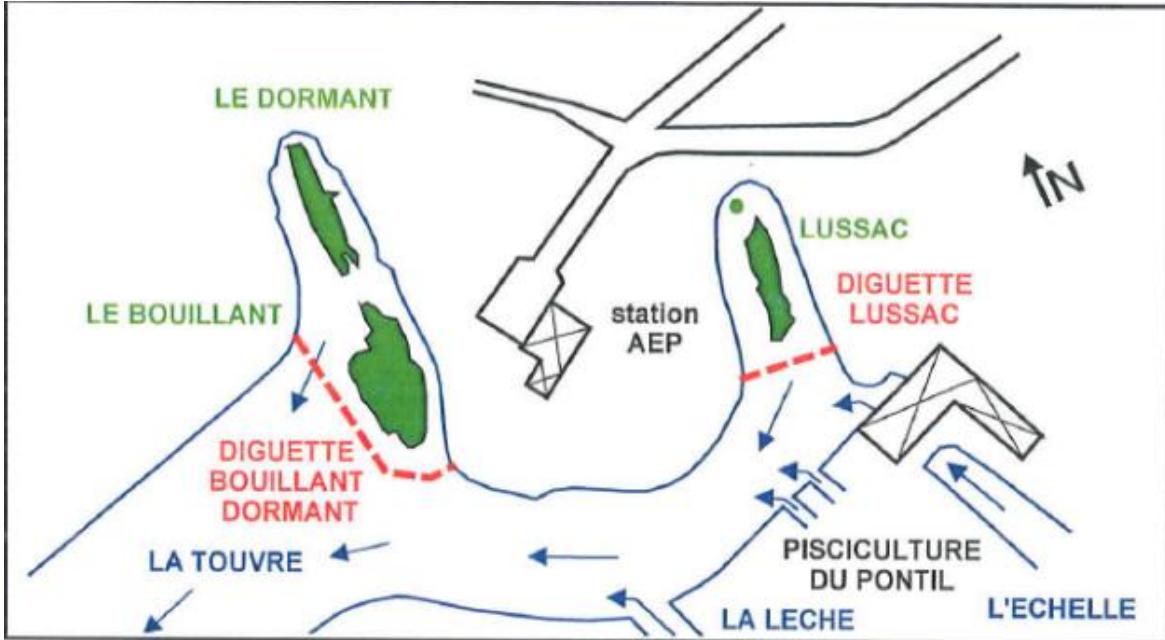
Présentation des solutions

Solution 1

Surélévation du fil d'eau à l'aval immédiat des résurgences au moyen de diguettes amovibles

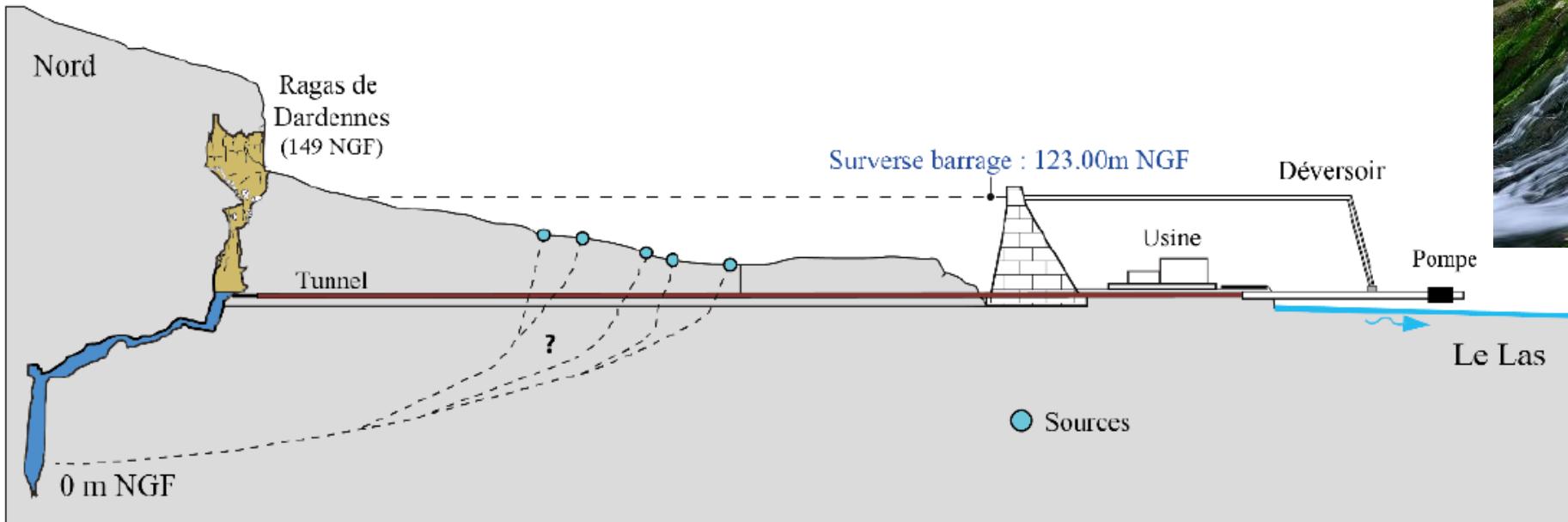


Solution 1 : historique



- Digue principale de 90 m de long - Digue secondaire de 28 m de long
- Rehausse moyenne du niveau de 0,5 m (+marge de sécurité de 0,15 m)
- Cote maximale du fil d'eau différentes : + 47.03 m NGF au Bouillant/Dormant et + 47.56 m NGF à Font de Lussac
- Volume potentiellement stockable : entre 4,7 et 7 Mm³ (fort incertitude)
- Solution rustique par empilement de sacs de graviers siliceux, posés sur un film plastique.
- Solution peu coûteuse (260 000 euros) et sans impact. Protocole d'expérimentation

Solution 1 : retours d'expérience



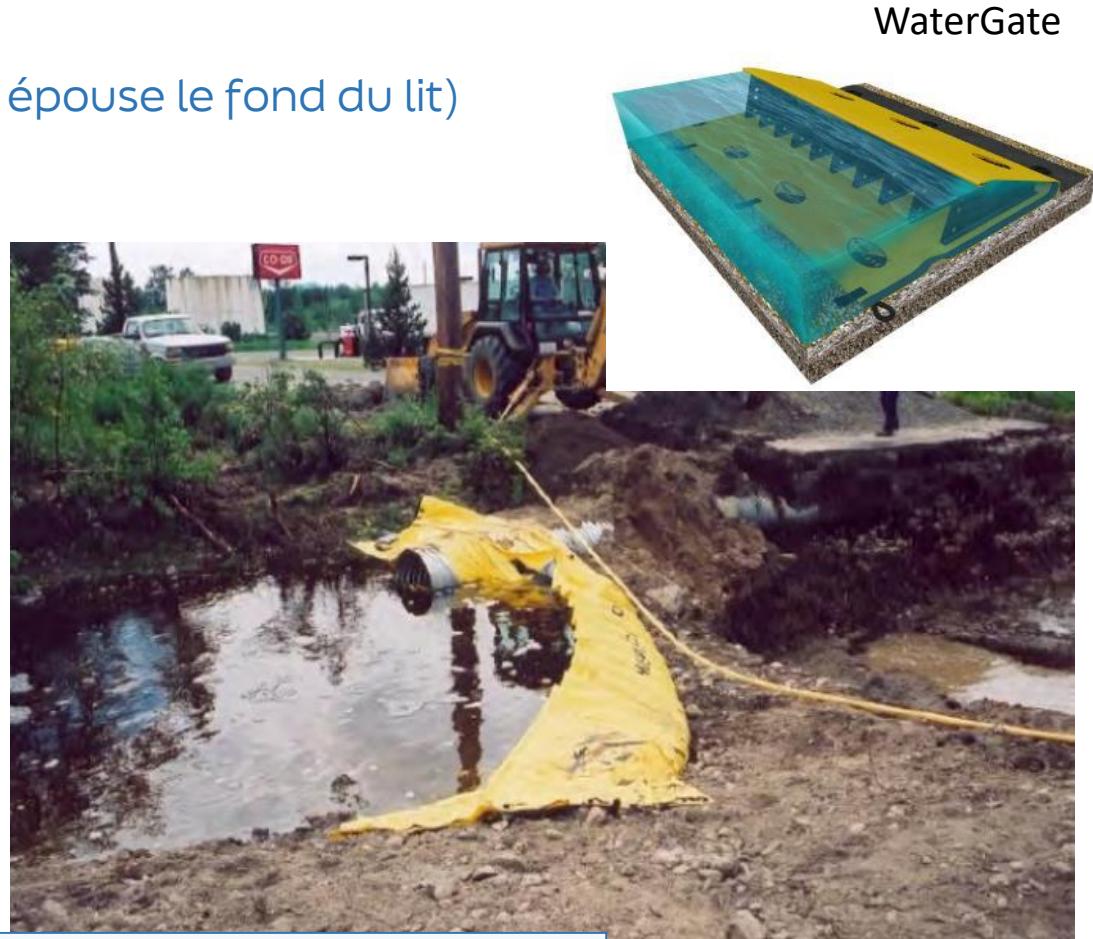
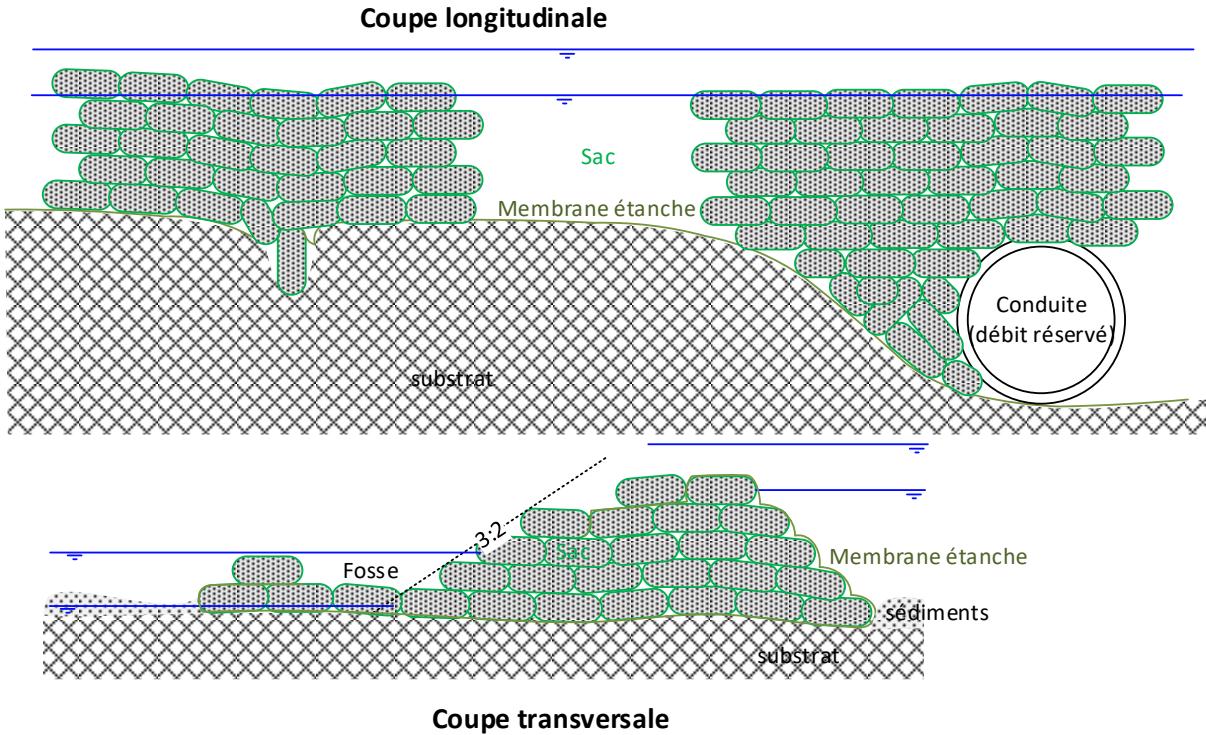
Exemple le plus probant : barrage de Dardennes alimentant la ville de Toulon

- Nombreux exemples en France et à l'étranger avec plusieurs typologies d'ouvrages : ouvrages barrant un drain ou des émergences karstiques, avec 3 usages principaux : hydroélectricité, AEP ou de lutte contre le biseau salé
- Très peu de retours d'expériences sur ces aménagements car assez anciens. Plusieurs expérimentations en France mais aucune information récupérée
- Expériences douloureuses à l'étranger (Chine, Croatie) où des barrages créés sans réflexions amont ont engendré des perturbations importantes du massif karstiques (création de trop-pleins, mises en charge soudaines...).

Solution 1 : solution proposée

2 solutions techniques proposées :

- solution A de type seuil poids
- solution B de type barrière souple amovible (qui épouse le fond du lit)



Solution 1 : avantages & inconvénients

| | Avantages | Inconvénients |
|-------------------------------|--|---|
| Capacité de stockage | | Impossible à déterminer à ce stade des connaissances |
| Faisabilité technique | Réversible et démontable | Précautions à prévoir en phase chantier (intervention dans périmètre de protection) |
| Influence sur le karst | Influence sur la hauteur d'eau de la zone noyée du karst (et pas le débit) | Périmètre d'influence non quantifiable (dans les variations naturelles du système) |
| Facilité de gestion | Modulable (rehausse progressive du niveau) et pilotable depuis les berges (maîtrise des flux entrant et sortant) | Stabilité de l'ouvrage devra être garantie |
| Coût | 900-1100 €/ml : 150 k€ hors Moe/études | Prévoir aléa (crue) |
| Impact | Impact limité sur l'AEP et usages en aval | Surveillance de la sédimentation amont Franchissement piscicole? |
| Visibilité | Coloris adaptés | Ouvrages visibles |
| Règlementation | Concertation avec la DDT (Loi Eau) | Pas de modification du profil en travers |

Présentation des solutions

Solution 2

**Surélévation du fil d'eau via des solutions fondées
sur la nature à l'aval immédiat des résurgences**

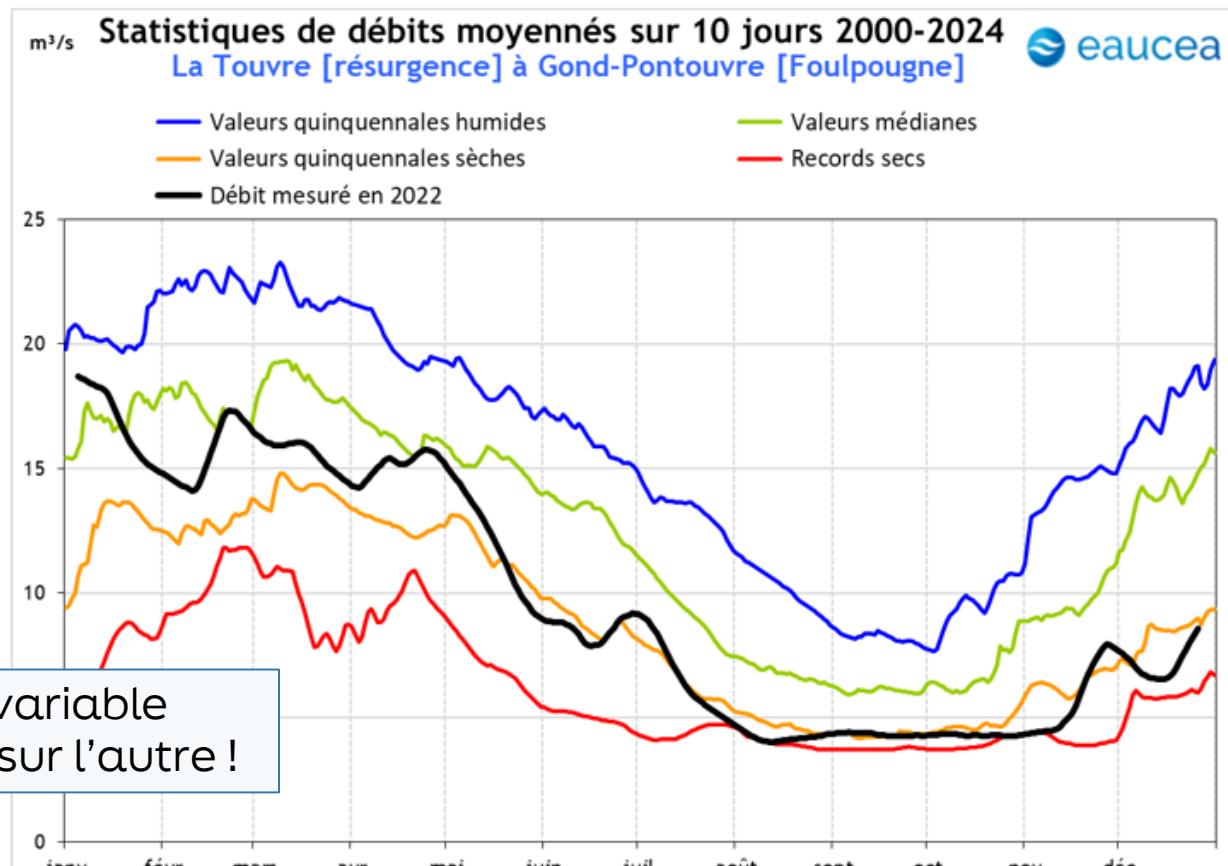


Solution 2 (A) : Gestion des herbiers aquatiques

Un effet de **frein hydraulique** et d'augmentation du niveau du plan d'eau liée à la pousse saisonnière d'un important herbier est historiquement observé sur le site. A l'inverse le fau cardage se traduit par un abaissement du niveau.



Le cortège floristique est très variable
(étendue, diversité) d'une année sur l'autre !



→ Proposition = pilotage contrôlé de la croissance des herbiers pour stabiliser le niveau d'eau, puis fau cardage pour piloter la vidange du karst à une période contrôlée

Solution 2 (A) : avantages & inconvénients

| | Avantages | Inconvénients |
|--|--|--|
| Faisabilité technique | Facile, solution fondée sur la nature | Compréhension imparfaite du cycle de développement des herbiers Maitrise d'œuvre à discuter (faucardage : qui et quand) |
| Influence sur le karst / Capacité de stockage | Effet sur les niveaux non quantifiable en l'absence de données topographiques et bathymétriques fines de la rivière. Ordre de grandeur décimétrique (faible) | |
| Facilité de gestion | Réversible | Pilotabilité à imaginer Impact du cygne à clarifier |
| Coût | Non quantifiable / faible | |
| Impact | Aucun a priori | |
| Visibilité | | |
| Réglementation | / | |

Solution 2 (B) : Recharge granulométrique de la Touvre

La gestion hydromorphologique d'un cours d'eau consiste à orienter ou restaurer la dynamique alluvionnaire et favoriser des formes de lit favorables à tel ou tel objectif environnemental.

- Cas de la Touvre amont : l'objectif environnemental recherché serait une rehausse de la ligne d'eau notamment en phase d'étiage et de tarissement

Remarque → haute vallée de la Touvre :

- Zone de dépôt alluvionnaire plutôt plane, pas de terrasses alluviales significatives et emboitées ni de lit mineur incisé
- Situation la plus favorable qui soit vis-à-vis de l'effet recherché. Il est probable que cette situation soit naturelle.



→ Solution inadaptée

Solution 2 (B) : avantages & inconvénients

| | Avantages | Inconvénients |
|--|--|--|
| Faisabilité technique | | Artificialisation forte du lit |
| Influence sur le karst / Capacité de stockage | | Déphasage dans le temps de la vidange du karst vers la fin de l'étiage Gains jugés nuls, la solution ne répond pas à l'objectif à elle seule |
| Facilité de gestion | Pas de gestion | Solution non réversible et non pilotable |
| Coût | | Solution jugée couteuse à la vue de la quantité de matériaux nécessaire pour une rehausse du fond du lit entre les sources et les premiers seuils |
| Impact | Aucun (<i>a priori</i>) sur le captage | Artificialisation de la Touvre et bilans carbone important à prévoir pour la réalisation des travaux Gestion forte des fines pour ne pas impacter les piscicultures |
| Visibilité | | |
| Règlementation | Étude d'impact | |

Présentation des solutions

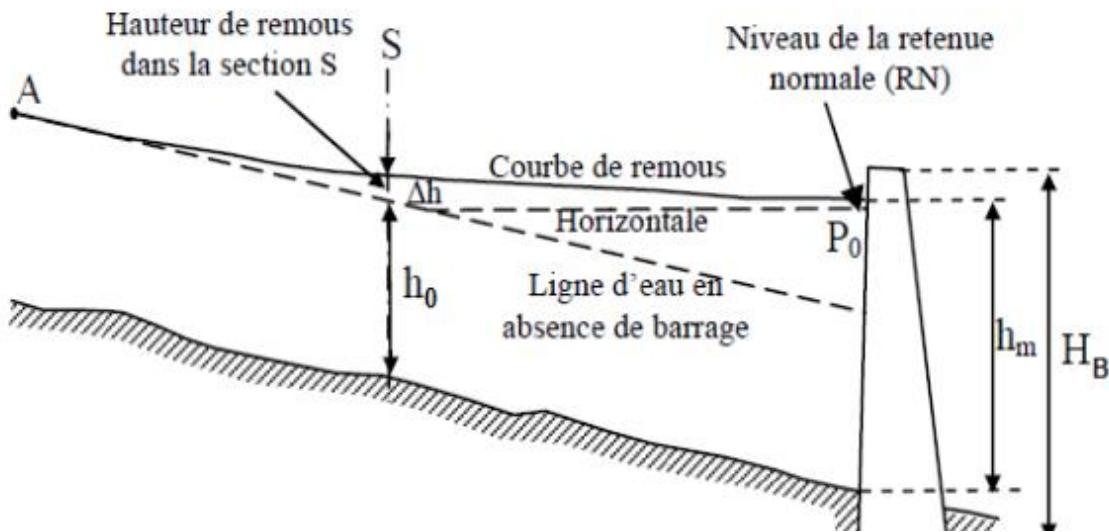
Solution 3

**Surélévation du fil d'eau de la Touvre par la
rehausse du seuil existant de la Tracherie**



Solution 3 : rehausse du seuil existant

Même principe que la solution « diguette », seule la position du seuil diffère. A ce titre, la réponse est identique, avec une incertitude augmentée puisque la pente hydraulique entre le seuil (plus en aval, 400-500m) et les sources doit être prise en compte :



Solution 3 : avantages & inconvénients

| | Avantages | Inconvénients |
|--|---|---|
| Faisabilité technique | | Travaux lourds pour reconstruire le seuil |
| Influence sur le karst / Capacité de stockage | Identique à la solution 1 (effets difficilement quantifiables), mais localisé plus en aval donc avec un facteur d'amortissement du à la distance (= effet moindre et plus diffus) | |
| Facilité de gestion | Aspect modulable, contrôle précis du débit retenu ou lâché (dispositifs de régulation) Peut être ajusté rapidement en cas de crue | Non réversible Problématiques de gouvernance et de gestion technique |
| Coût | ~400 000-500 000 euros hors études | |
| Impact | Positionner le seuil de surélévation plus loin des résurgences pourrait minimiser les impacts directs sur les sources elles-mêmes | Gros impacts sur les piscicultures notamment pendant la phase de travaux Risque d'un exhaussement durable du fond élevé (accumulation sédimentaire en amont) |
| Visibilité | Par rapport à solution « 1 », minimise les impacts paysagers et permet de ne pas artificialiser le site. | |
| Règlementation | Concertation avec les services de l'État | |

Présentation des solutions

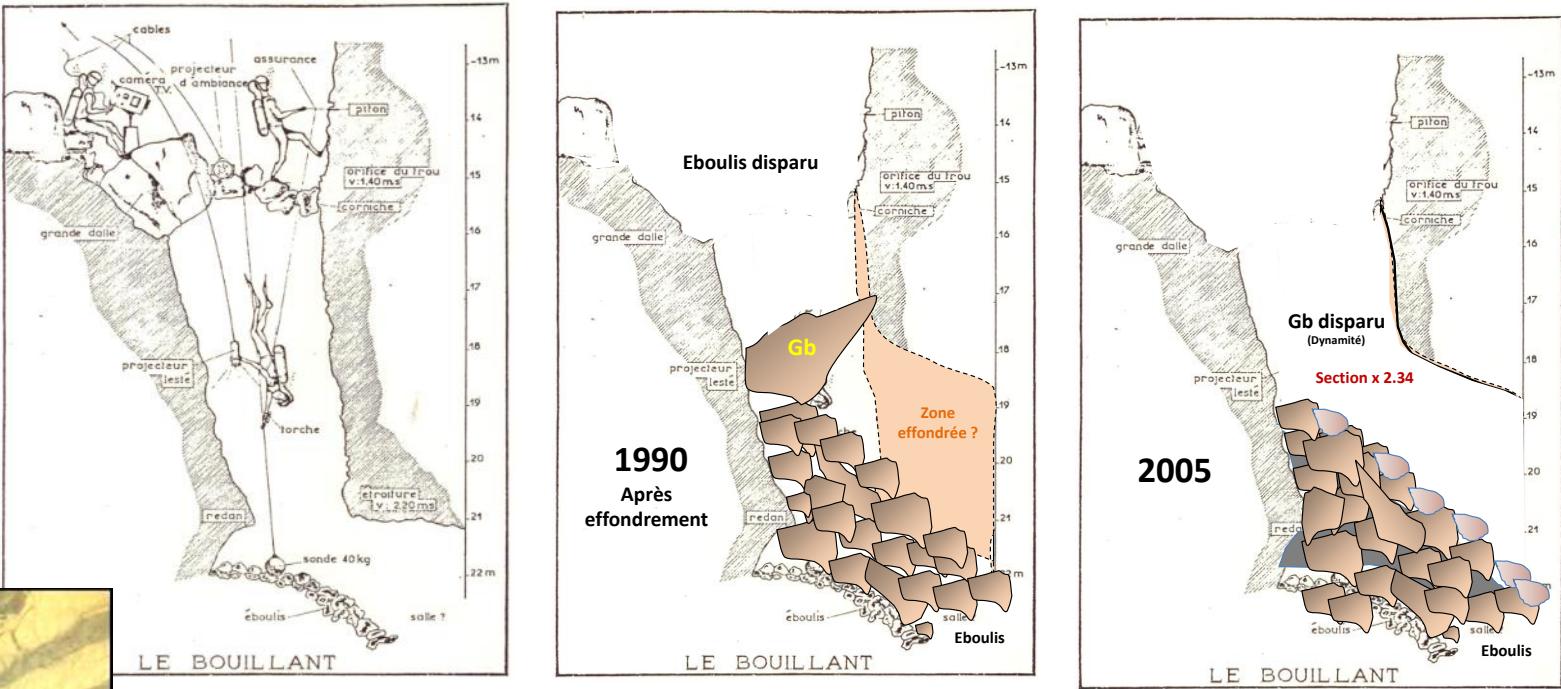
Solution 4 Obstruction des conduits karstiques



Solution 4 : historique

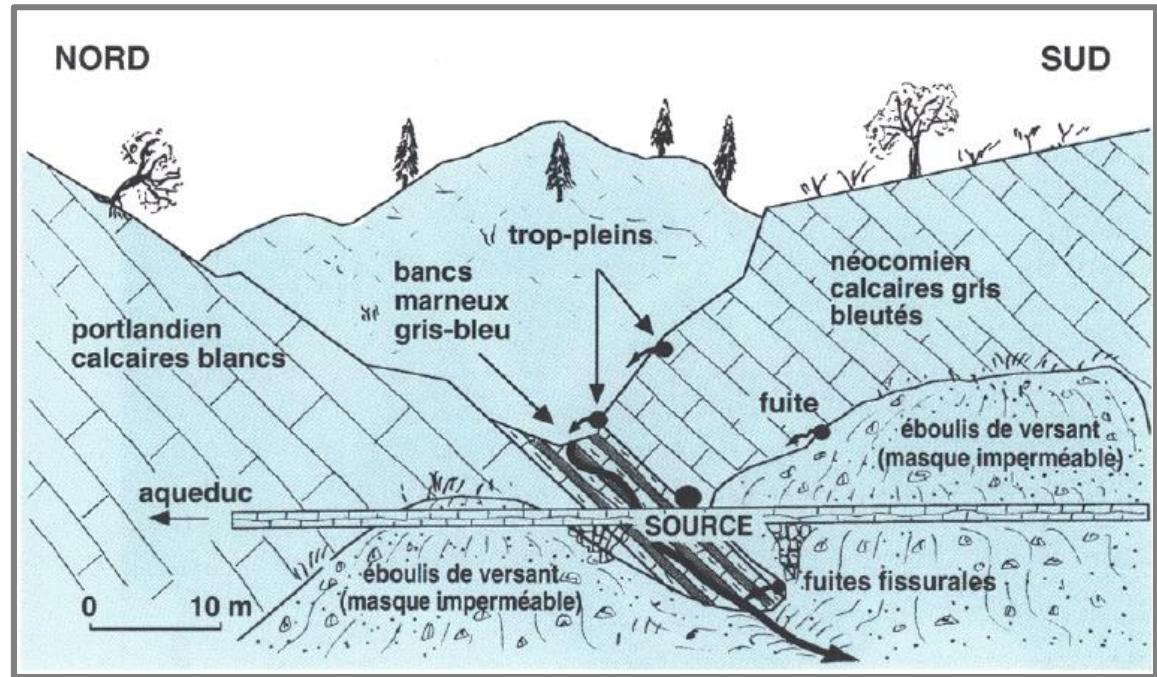
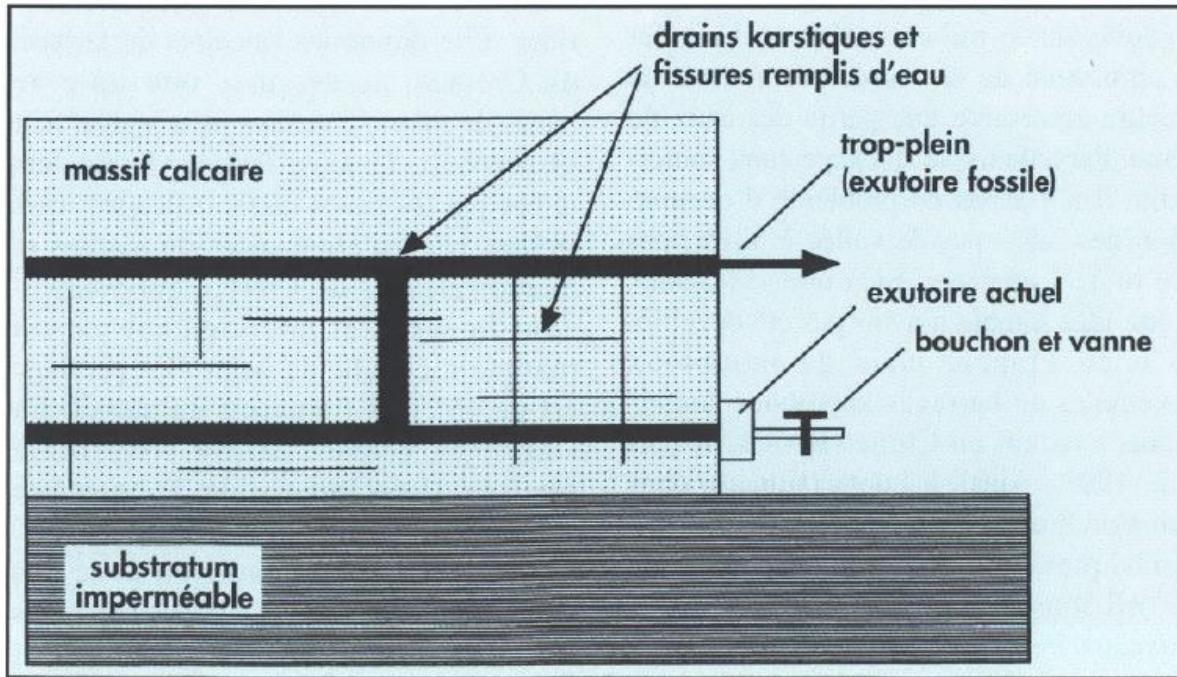
Plusieurs effondrements constatés au niveau du siphon du Bouillant

→ Augmentation de la section du Bouillant, diminution des pertes de charge, cycles de vidange plus rapides, étiages plus longs et plus sévères ?



Proposition = Obturation partielle de certains passages étroits des siphons, dans le but de rétablir les sections d'origine (avant les effondrements) et de ralentir la vidange du système.

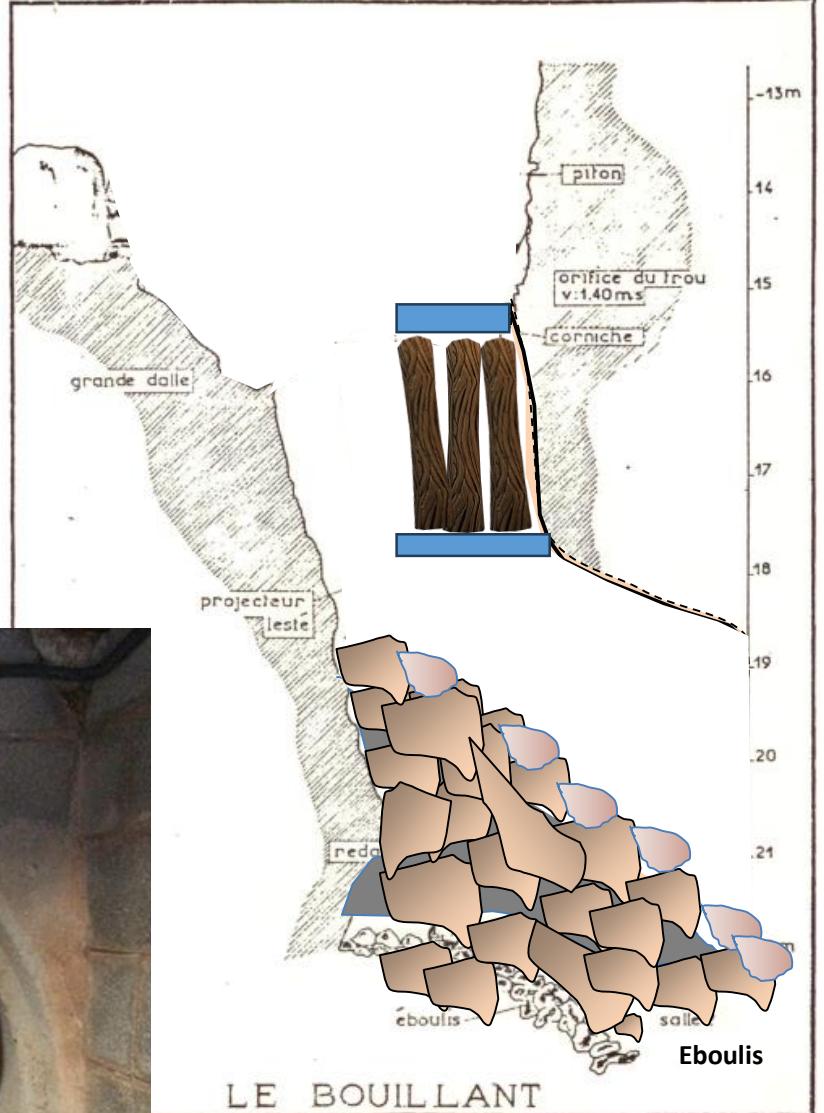
Solution 4 : retours d'expérience



- Aucun retour d'expériences sur ces aménagements complexes
- Projets expérimentaux de Luceram et Coaraze (Alpes-Maritimes) de création d'une réserve d'eau souterraine par obturation d'une source karstique
- Problématiques de venues d'eau latérales et d'ouverture de trop-pleins supérieurs

Solution 4 : retours d'expérience

- 2 solutions techniques proposées :
 - solution A par ajout d'éléments (type poutrelles)
 - Solution B de type obturateurs
- Solutions modulables, démontables, avec module de pilotage
- ATTENTION : conditions de plongée très difficiles + méconnaissances de la topographie et de la relation Bouillant/Font de Lussac



Solution 4 : avantages & inconvénients

| | Avantages | Inconvénients |
|---|---|---|
| Faisabilité technique | Réversible et démontable, modulable | Travaux subaquatiques possibles en période d'étiage prononcé, conditions de plongée difficiles |
| Influence sur le karst / Capacité de stockage | | Influence sur la hauteur d'eau de la zone noyée du karst ET le débit Non quantifiable à ce stade |
| Facilité de gestion | Mise en place progressive et pilotable depuis la surface | Pas favorable à une solution massive et définitive (type blocs) suivi du bon déroulé de l'expérimentation difficile (pas visible depuis la surface) |
| Coût | | 250 000 € |
| Impact | Solution modulable et progressive permettant de mesurer les impacts réels | Solution la plus risquée (intervention directe sur les conduits) et dont on ne sait pas prédire les effets potentiels (instabilités par augmentation des vitesses de circulation de l'eau, risque de décolmatages argileux, création de nouveaux trop-pleins, répartition des débits entre les deux exutoires...) impact sur le captage AEP le temps des travaux impact sur les piscicultures : turbidité, azote, oxygène dissous à surveiller afin de contrôler leur non-variation |
| Impact paysager | Aucun | |
| Réglementation | | Concertation avec la DDT (Loi Eau) + ARS (avis hydrogéologue agréé) |

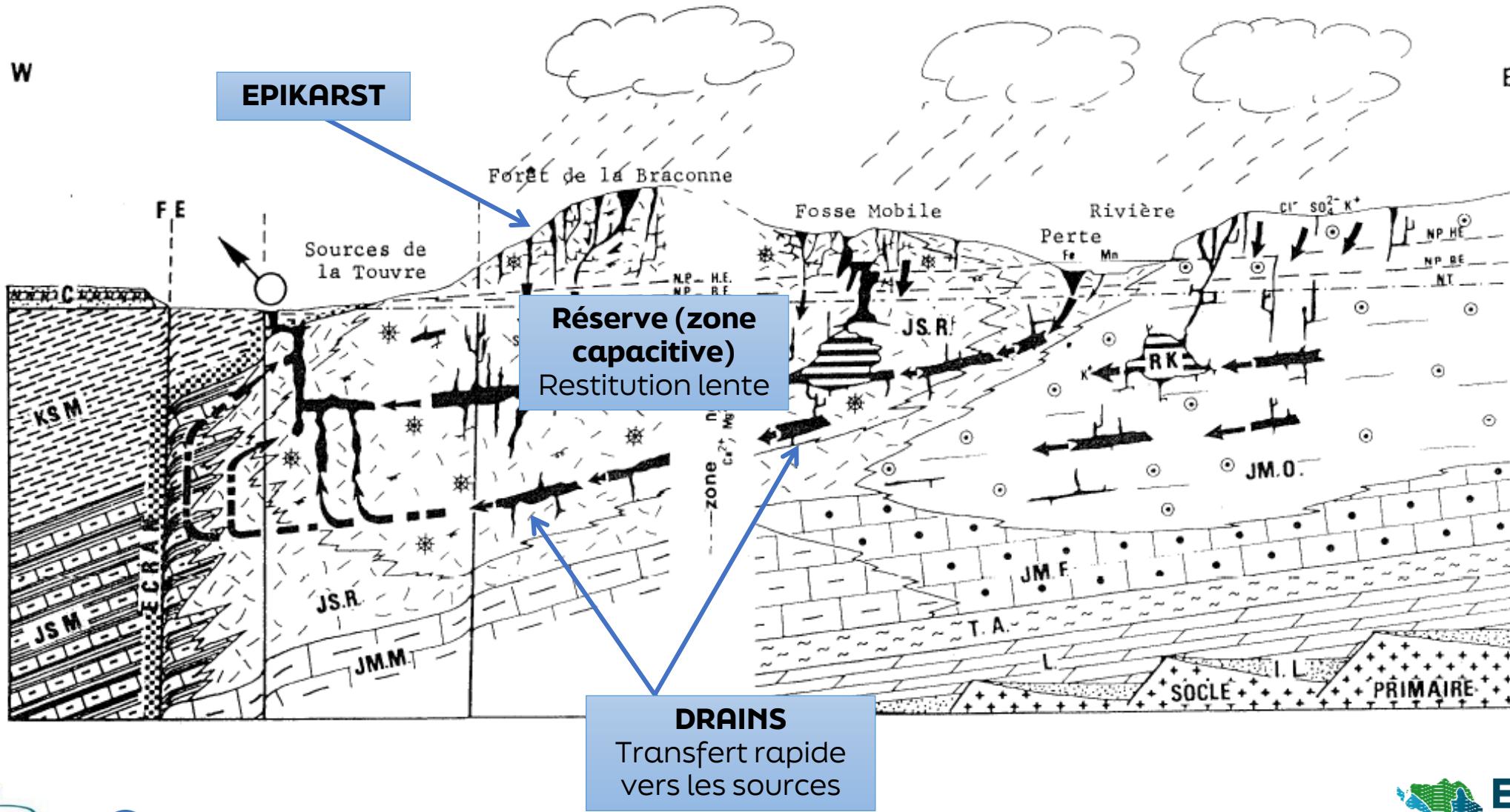
Présentation des solutions

Solution 5

Favoriser l'infiltration diffuse des eaux



Solution 5 : rappel du contexte karstique



Solution 5 (A) : réaménagement de pertes

- Identifier des pertes majeures dans le lit du Bandiat et de la Tardoire (à partir de l'inventaire des ZIP et des fiches des spéléologues)
- Caractériser leur rôle dans l'alimentation du système de la Touvre (débit d'infiltration, temps de transfert vers les sources, rôle dans l'effet transmissif ou capacatif du karst...)
- Dimensionner des ouvrages de dérivation des eaux afin de **reporter** (en hautes eaux) **une partie des écoulements vers des zones d'infiltration plus lentes et plus capacitatives** (et qui contribueraient au soutien d'étiage de la Touvre grâce à un effet retard)
- Proposer des aménagements simples, qui ne nécessitent en général aucune gestion particulière (merlons...)



- Retour d'expériences existants en Aveyron
- Plusieurs aménagements de ce type en Slovénie/Bosnie
- Difficulté de mise en œuvre : aménagements délicats dans le lit de ruisseaux et souvent peu gérables, acceptation sociale très délicate.

Solution 5 (A) : avantages & inconvénients

| | Avantages | Inconvénients |
|-------------------------------|---|---|
| Capacité de stockage | Utiliser l'excédent d'eau introduit dans le système karstique via les pertes comme un régulateur des débits d'étiage. Quantification impossible | |
| Faisabilité technique | Ouvrages modulables, démontables | Artificialisation de certaines pertes Gestion du foncier |
| Influence sur le karst | Effet retard par infiltration diffuse/ infiltration rapide | Apport des drains dans la recharge du système de la Touvre |
| Facilité de gestion | Système de répartition à prévoir Aménagements simples, qui ne nécessitent en général aucune gestion particulière | Aménagements non réversibles facilement |
| Coût | Difficile à évaluer | |
| Impact | Diminution de la turbidité en aval (AEP) | Baisse du débit en haute eaux Impacts à vérifier au préalable : impact géotechnique (ouverture de nouvelles pertes, instabilité...), hydraulique (débordement, érosion...) ou écologique |
| Visibilité | | Ouvrages visibles, acceptation sociale à étudier |
| Règlementation | Loi sur l'eau | |

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

- Ancienne gravière réhabilitée en plan d'eau ENS (16 ha - 0,5 Mm³)
- Réalimentation de cette gravière par la Tardoire (surverse)
- Le rôle de cette infiltration sur la Touvre n'est pas connu
- Principe de recharge non maîtrisée d'un aquifère

Recharge maîtrisée : contrôler les débits entrants par un système de monitoring avec un effet retard



→ Prouver par des études complémentaires :

- l'effet sur l'étiage de la Touvre
- l'effet sur l'écrêtement des crues

- Réutilisation d'une ancienne gravière en aval de la gravière actuelle (7-10 ha) pour réaliser un projet de réalimentation artificielle
- Coût des travaux de connexion de la gravière modeste

Solution 5 (B) : avantages & inconvénients

| | Avantages | Inconvénients |
|-----------------------------------|---|--|
| Capacité de réinfiltration | Stockage intéressant ($> 1 \text{ Mm}^3$ au vu de la superficie et profondeur des carrières) mais effet sur le système de la Touvre non démontré | |
| Faisabilité technique | Aménagements simples de dérivation | Aménagement fixes, génie civil (artificialisation d'une partie des berges) et non réversibles facilement |
| Influence sur le karst | Effet retard par infiltration diffuse à démontrer par des études complémentaires (bilans hydrologiques, traçages) | |
| Facilité de gestion | Aménagement facilement modulables et pilotables, dispositifs de contrôle/régulation des flux possibles | Aménagements non réversibles |
| Coût | Aménagements en général peu coûteux (coût dépend du type d'aménagements et du foncier à acquérir, on peut s'attendre à moins de 100 k€) | |
| Impact | Écrêtement des crues (à démontrer) | Impact hydraulique et géotechnique à vérifier en préalable |
| Visibilité | Impact positif (lieu de promenade, biodiversité) | Aménagements visibles |
| Règlementation | Loi sur l'eau | |

Présentation des solutions

Solution 6

**Augmenter les apports provenant
du domaine granitique**



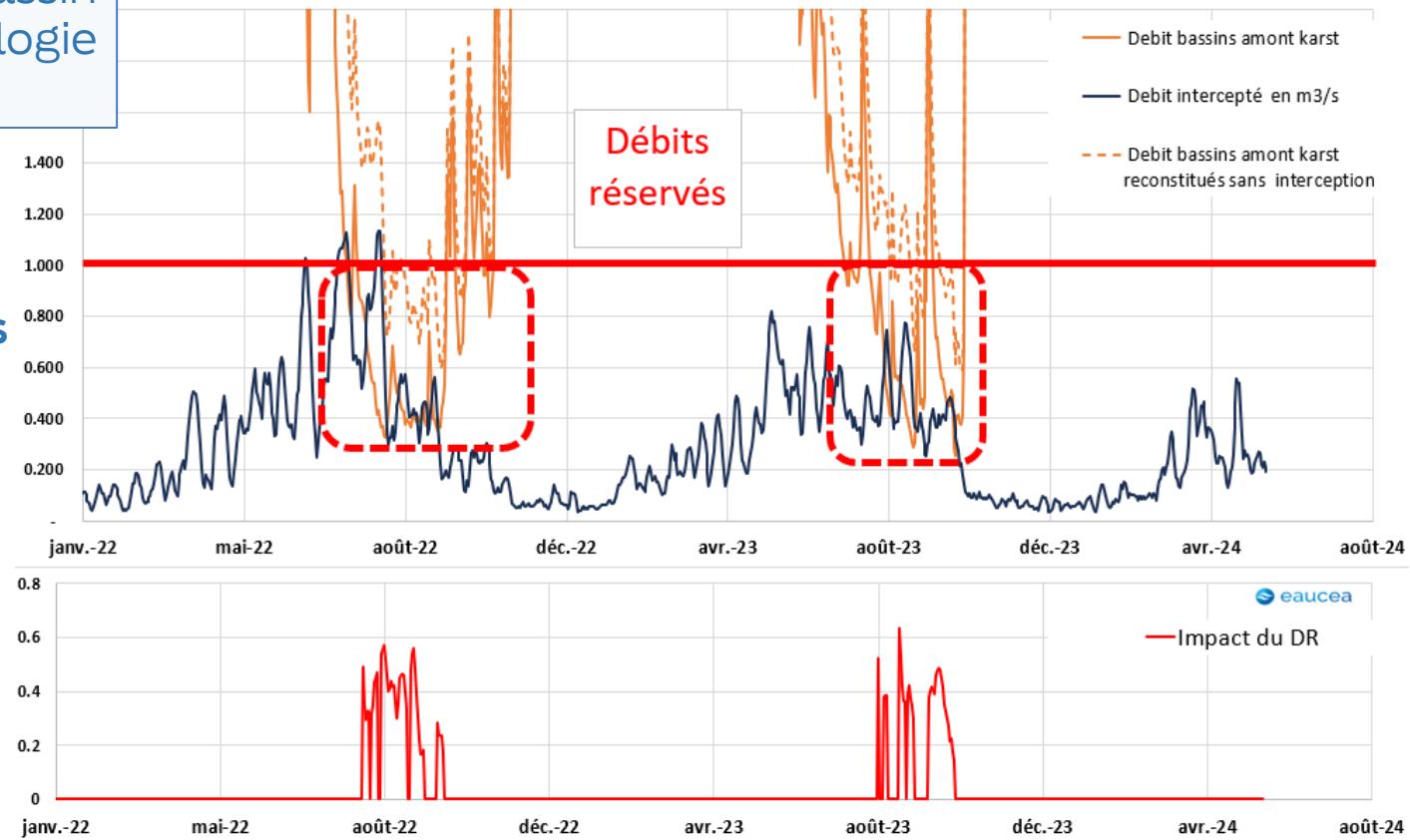
Solution 6 (A) : aménagement/effacement des étangs (socle granitique)

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.

Pour atténuer cet impact :

- **Mise en place de dispositifs de débits réservés**
 - garantissent une transparence hydraulique stricte dès que les débits chutent sous 10 % du module (par ex.)
 - Mis en place sur l'ensemble des plans d'eau : + 200 à 600 L/s au karst en étiage.
- **Effacement des étangs**
 - ordre de grandeur de « consommation » d'eau par sur-évaporation d'environ 2,5 Mm³. Difficile d'estimer quand et comment ce volume se répartit dans le régime hydrologique de la Touvre.

Illustration de l'impact d'un débit réservé à 10% du module eaucea



Solution 6 (A) : avantages & inconvénients

| | Avantages | Inconvénients |
|---|---|--|
| Faisabilité technique | | Solution pragmatiquement très peu envisageable pour l'ensemble des ouvrages (nombre de plans d'eau très important). |
| Influence sur le karst / Capacité de stockage | Mise en place de débits réservés : ordre de grandeur optimiste (10% du module sur tous les plans d'eau) = 200 à 600 L/s d'apport supplémentaire au karst en étiage. Impact sur la Touvre (Quand ? Combien ?) non estimable à ce stade. | Effacement des étangs : impact cumulatif (ordre de grandeur de « consommation » d'eau par sur-évaporation) d'environ 2,5 Mm ³ . Difficile d'estimer quand comment ce volume se répartit dans le régime hydrologique de la Touvre. |
| Facilité de gestion | | Solution non pilotable et non réversible. |
| Coût | Effacement : coût variable en fonction des exigences réglementaires (évacuation des sédiments...) et des difficultés spécifiques de restauration du milieu après effacement. | Dispositif de contournement : coût de quelques milliers d'euros selon le linéaire de court-circuit |
| Impact | Impact bénéfique sur le milieu | |
| Impact paysager | | |
| Réglementation | | Concertation avec les services de l'État |

Solution 6 (A) : contexte

2 200 étangs sur le périmètre du SYMBA-BT

Travail du syndicat :

- En partenariat avec le PNRPL
- Les projets font suite à la sollicitation des propriétaires, pas de prospection volontaire
- Les moyens humains et la charge de travail ne permettent pas actuellement de prioriser ce volet.

Nombre d'étangs effacés/aménagés :

- 1 effacé par le syndicat (étang de la Monnerie)
- les autres sur délégation de MO au PNRPL

En cours/en projet :

- PNRPL : 4 (AAP RNA 2024) (syndicat appelé sur le reste à charge)
- SYMBA-BT : 4 effacements pour l'année 2025 (DIG Warsmann 2024-2027)
- 3 en programmation sur le bassin versant du Gamoret (affluent du Bandiat)

budget moyen pour un tel projet : 60 000€ -2024 ; 60 000€ -2025 ; 30 000€ - 2026

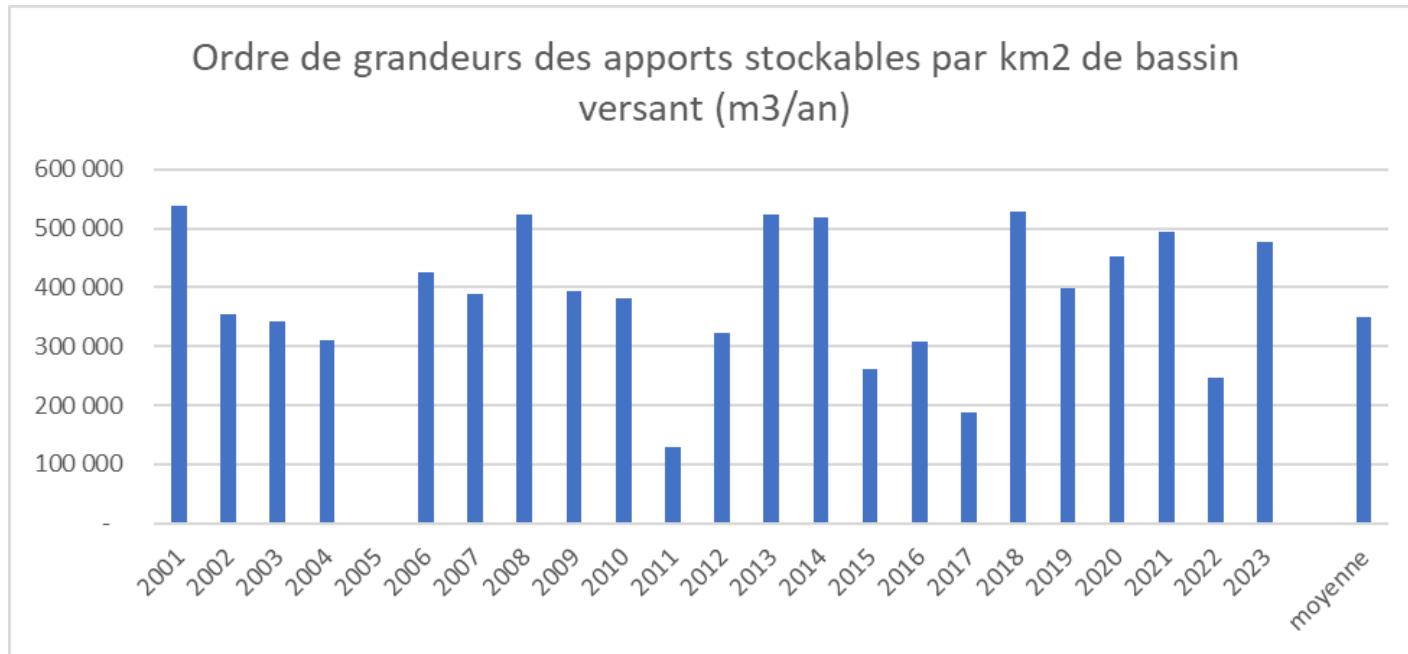
plan de financement actuel : 80% subvention + 20% RAC (60% si le propriétaire porte la MO)

Définition d'une stratégie "plan d'eau" nécessaire dans la mise en œuvre du futur PPG 2028-2037

Solution 6 (B) : création de retenue(s) (socle granitique)

Principe : capter et stocker les eaux excédentaires, puis libérer progressivement l'eau stockée pendant les périodes de sécheresse.

→ soutien d'étiage « indirect » de la Touvre : soutien d'étiage des rivières qui alimentent le karst, qui lui-même alimente la Touvre.



| Pour 1 Mm ³ de réservoir | | |
|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| Efficience | Débit moyen laché L/s | Débit moyens en sortie de Karst L/s |
| 100% | 126 | 126 |
| 90% | | 113 |
| 80% | | 101 |
| 70% | | 88 |
| 60% | | 75 |
| 50% | | 63 |

Solution 6 (B) : avantages & inconvénients

| | Avantages | Inconvénients |
|--|---|--|
| Faisabilité technique | | Artificialisation forte du site de retenue. Enjeux politiques, sociaux et environnementaux forts |
| Influence sur le karst / Capacité de stockage | Un réservoir de 1 Mm ³ => 250 L/s sur environ trois mois Un réservoir de 5 Mm ³ => augmente significativement cet impact | |
| Facilité de gestion | pilotable dans la limite des connaissances du transfert pertes → sources de la Touvre | Solution irréversible |
| Coût | coût d'investissement de l'ordre de 6 à 7M€/1Mm ³ + coûts de gestion de l'ordre de 25 000€/an/1Mm ³ | |
| Impact | Impact bénéfique sur le milieu (maintien en eau relatif des rivières sur le karst) Impact touristique positif en cas de retenue multi-usages | Artificialisation forte du site de retenue Impact possible sur la qualité des eaux nécessitant des investissements de la part des acteurs AEP Rupture de continuité écologique et hydraulique induite par l'ouvrage sur le cours d'eau |
| Impact paysager | | |
| Réglementation | concertation avec les services de l'Etat et concertation publique | |

Présentation des solutions

Solution 7

Sur-exploitation de l'aquifère

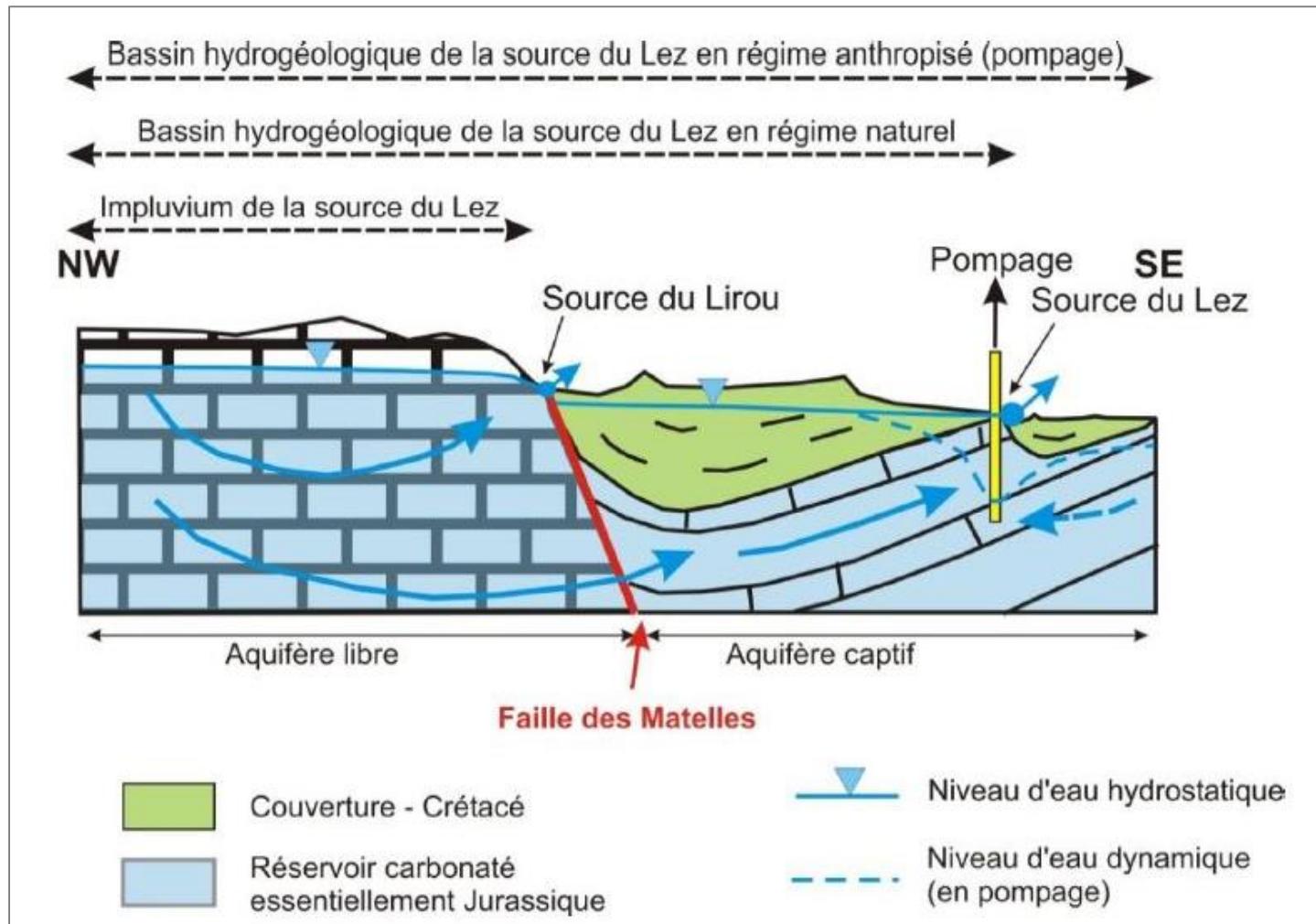


Solution 7 : pompage ou sur-pompage dans l'aquifère

Principe = pomper, en saison sèche, à un débit supérieur au débit d'étiage, afin de solliciter les réserves de l'aquifère qui ne sont pas sollicitées naturellement.

3 solutions techniques proposées :

- Exploitation des zones capacitatives profondes
- Exploitation des zones capacitatives latérales et éloignées des axes de drainage (zones annexes au drainage)
- Mise en place d'un système de pompage complémentaire au dispositif actuel AEP ou nouveau forage profond (< 200 m)



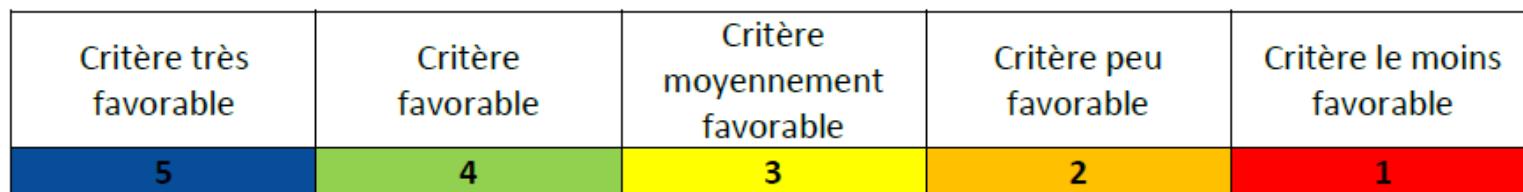
Solution 7 : avantages & inconvénients

→ difficiles à évaluer à ce stade, ne disposant pas des paramètres qui régissent le dispositif de pompage (localisation, débit, pompage dans un forage ou réseau karstique naturel...).

| | Avantages | Inconvénients |
|--|---|--|
| Faisabilité technique | | ? |
| Influence sur le karst / Capacité de stockage | La définition et quantification des impacts 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. | |
| Facilité de gestion | | utilisation d'énergie (électrique) + gestion technique et financière très rigoureuse, permettant d'encadrer le dispositif de pompage |
| Coût | | |
| Impact | | Méconnaissance sur les mécanismes de recharge L'abaissement du plan d'eau sous le niveau de l'exutoire fait entrer obligatoirement dans une zone à risque de déséquilibre hydraulique du karst de la Touvre avec des effets non prévisibles à ce stade. |

Comparaison des solutions

| | | |
|------------------|-----------------------------|--|
| Critère 1 | Impacts potentiels/risques | Ce critère rend compte de l'estimation des impacts potentiels sur les usages (amont-aval) et de manière globale sur l'environnement (milieu hydrologique, faune/flore...) |
| Critère 2 | Réversibilité des solutions | Le critère de réversibilité permet de valider la réversibilité de la solution (caractère modulable et progressif, retrait d'urgence ...) |
| Critère 3 | Faisabilité technique | Ce critère expose les contraintes liées aux travaux (artificialisation, intervention dans le lit de la Touvre et/ou dans les émergences, comptabilité avec les périmètres de protection...) ainsi que les difficultés de mise en place et d'installation |
| Critère 4 | Efficacité | Capacité du dispositif à répondre aux objectifs fixés (volume stocké et déstocké dans le karst) |
| Critère 5 | Facilité de gestion | Ce critère rapporte aux difficultés de gestion de la solution provisoire et pérenne, notamment la nécessité de recourir à une énergie électrique et une maintenance régulière |
| Critère 6 | Retours d'expérience | Ce critère dépeint l'absence ou l'existence de retours d'expériences |
| Critère 7 | Coût | Estimation d'une enveloppe budgétaire |



Comparaison des solutions

| | Efficacité, potentielle et estimée | Faisabilité technique | Facilité de gestion | Coût | Impacts potentiels, risques | Réversibilité | Existence de retours d'expérience | TOTAL |
|--|------------------------------------|-----------------------|---------------------|------|-----------------------------|---------------|-----------------------------------|-------|
| Solutions A : Solutions permettant de ralentir et/ou retarder la vidange du karst | | | | | | | | |
| Solution 1 Solution fondée sur la surélévation du fil d'eau des sources (diguelettes) | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 5 | 3 | 25 |
| Solution 2 Solutions fondées sur la nature à l'aval immédiat des résurgences | Gestion des herbiers | 2 | 4 | 4 | 5 | 5 | 3 | 28 |
| | Restauration hydromorpho | 1 | 2 | 4 | 2 | 3 | 1 | 16 |
| Solution 3 Solution fondée sur la surélévation du fil d'eau de la Touvre par la rehausse du seuil existant | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 | 5 | 17 |
| Solution 4 Solution fondée sur l'obstruction partielle des conduits karstiques | 5 | 2 | 3 | 4 | 1 | 4 | 1 | 20 |



Comparaison des solutions

| | | Efficacité, potentielle et estimée | Faisabilité technique | Facilité de gestion | Coût | Impacts potentiels, risques | Réversibilité | Existence de retours d'expérience | TOTAL |
|---|---|--|--------------------------|------------------------|------|-----------------------------------|---------------|---|-------|
| Solutions B : Solutions permettant de favoriser la recharge du karst | | | | | | | | | |
| Solution 5 Solution fondée sur l'infiltration diffuse des eaux | Aménagement de pertes | 2 | 4 | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 21 |
| | Réalimentation artificielle des gravières | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 4 | 27 |
| Solution C : Solutions permettant de surexploiter le karst | | | | | | | | | |
| Solution 7 Solution fondée sur la surexploitation de l'aquifère | | 4 | 3 | 2 | 1 | ? | 4 | 5 | 19 |





EPTB CHARENTE

Établissement Public Territorial
de Bassin Charente

www.fleuve-charente.net

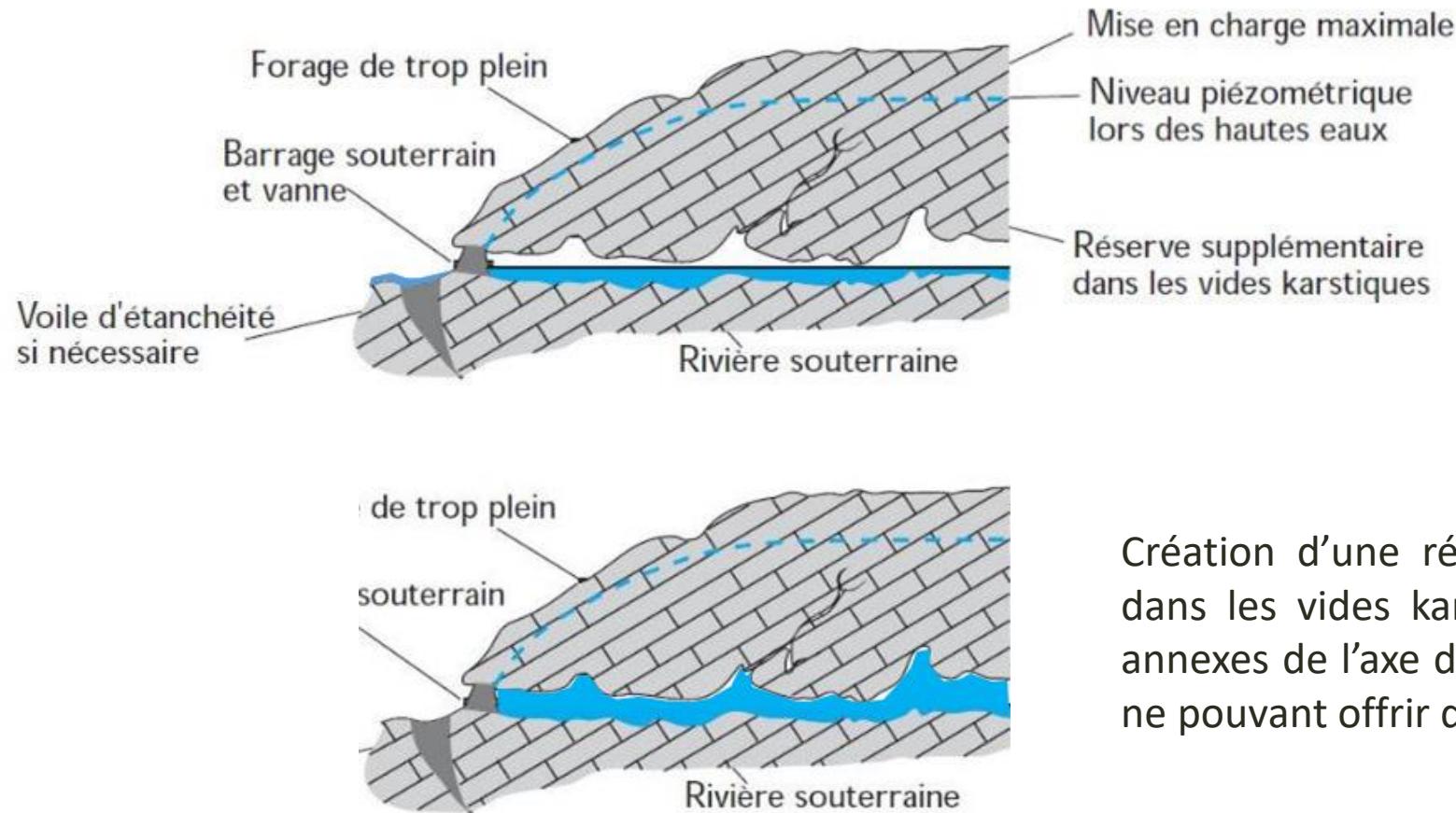


Étude concertée

✓ Crédit à la création d'un **comité d'experts hydrogéologues** :

- Bruno ARFIB (Aix-Marseille Université, CEREGE)
- Michel BAKALOWICZ (ex-CNRS, conseil scientifique du Comité de bassin...)
- Laurent CADILHAC (AERMC)
- Philippe CROCHET (Hydrogéologue retraité, expert karst)
- Laurent DANNEVILLE (PNR Grands Causses)
- Michaël GOUJON & Arnaud BERNARD (Eau17)
- Bruno DE GRISSAC (hydrogéologue agréé)
- David LABAT (Université Toulouse, GET)
- Patrick LACHASSAGNE (HydroSciences Montpellier)
- Marc LAMBERT (Charente Eaux)
- Pierre MARCHET & Stéphane BINET (AEAG)
- Jean-Christophe MARECHAL & Nicolas FRISSANT (BRGM)
- Marie PETTENATI (ANTEA)
- Michel SEGUIN

Barrage souterrain sur un drain



Création d'une réserve supplémentaire dans les vides karstiques des systèmes annexes de l'axe de drainage (ce dernier ne pouvant offrir qu'un faible volume)

Contexte karstique

Plusieurs exutoires
interconnectés entre eux
(Bouillant, Font de Lussac...) reconnaissables par plongée

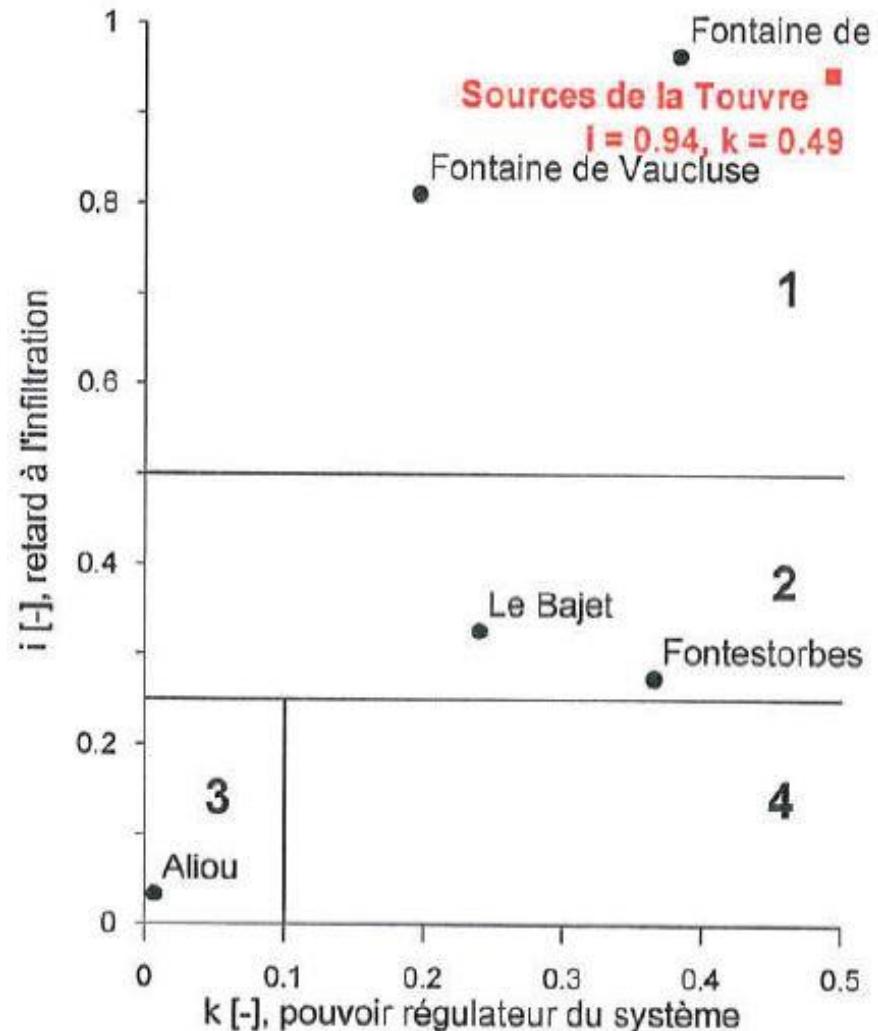
Morphologie des exutoires
très resserrée

Débit important qui passe
par des conduits étroits →
vitesses très importantes



Contexte karstique

- Module interannuel de l'ordre de $13 \text{ m}^3/\text{s}$ (400 Mm^3 annuels)
- Débit de crue autour de $40 \text{ m}^3/\text{s}$
- Débit d'étiage entre 5 et $10 \text{ m}^3/\text{s}$ (valeurs $< 3 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1989-1990)
- Une vidange binaire par des drains rapides dans la zone noyée et une restitution lente de la partie capacitive.
 - Effet mémoire : 80-100 jours (karst très capacitif)
 - Vitesse par traçage : $50 - 100 \text{ m/h}$ soit 4/5 jours de transfert en hautes eaux (mais taux de restitution faible)
- Coefficient de tarissement $0,0018 \text{ j}^{-1}$ (plus faible qu'à la Fontaine de Vaucluse) : vidange très lente du réservoir au cours des étiages
- Volume dynamique : 190 Mm^3



4 domaines distincts :

- 1 - Domaine des systèmes complexes : systèmes de grande taille et dont la structure se compose de nombreux sous-systèmes.
- 2 - Domaine des systèmes plus karstifiés à l'amont qu'à l'aval, et avec des retards dans l'alimentation dus soit à des terrains non karstiques soit à une couverture neigeuse.
- 3 - Domaine des systèmes très karstifiés à l'aval (réseaux spéléologiques très développés), avec une zone noyée peu importante.
- 4 - Domaine des systèmes très karstifiés à l'aval (réseaux spéléologiques très développés), avec une zone noyée importante.

$k = V_{DYN} / \text{Volume de transit interannuel}$. Il traduit l'aptitude du système à stocker les précipitations et à les restituer progressivement au cours du temps.
(gros pouvoir régulateur du karst si k tend vers 1)

i = Valeur de la fonction homographique 2 jours après t_0 .
Il traduit le comportement des eaux infiltrées dans le karst (transit rapide des eaux pour i faible, infiltration lente ou influence de la zone épikarstique si i tend vers 1)

Schéma 3 – Classification des systèmes karstiques à partir de l'analyse des courbes de récession – A. MANGIN, 1975