

Phase 2 – Documentation et analyse des solutions identifiées

***Solution : Gestion des apports du domaine
granitique en amont***

Document de travail



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

Table des matières

1. Principes de la solution de gestion des apports des bassins versants Tardoire, Bandiat et Bonnieure depuis le domaine granitique.....	4
2. Hydrologie du bassin versant de la Bonnieure en amont du karst	6
2.1. Plus de 3240 retenues et plans d'eau du bassin versant cristallin en amont du karst	7
2.2. Données hydrologiques.....	9
2.2.1. Hydrométrie	9
2.2.2. Hydrologie et sélection de stations représentatives.....	9
2.3. Bilan hydrique local	12
2.3.1. Données climatologiques SAFRAN	12
2.3.2. Bilan hydrique observé aux stations hydrométriques	13
3. Analyses de l'incidence des plans d'eau sur l'hydrologie des bassins versants	14
3.1. Evaluation de la pression de surévaporation des plans d'eau	14
3.2. Une « consommation relative » des plans d'eau peu significative en regard des volumes transitant	16
3.3. Evaluation de l'interception en période d'étiage et de l'enjeu des débits réservés.....	17
3.4. Conclusions : Incidences hydrologiques des petites retenues et sur l'alimentation du karst.	19
4. Renforcement des stocks pour la gestion des étiages	22
4.1. Quelles fonctions théoriques envisageables.....	22
4.2. Précautions liminaires géotechniques, sociales et environnementales	23
4.3. Cadre technique de la gestion.....	24
4.3.1. La phase de remplissage.....	24
4.3.2. La phase de soutien des débits	24
4.4. Quelques ordres de grandeurs.....	25
4.4.1. Sur le plan topographique.....	25
4.4.2. Sur le plan de la gestion volumétrique.....	25
4.4.3. Que faire avec 1 Mm ³	26

Figure 1 : Carte géologique du bassin versant de la Bonnieure et du Karst de la Rochefoucauld (source carte BRGM 1 / 1000000).....	4
Figure 2 : Schéma du système karstique de la Rochefoucauld et de ses principaux affluents. Les principales solutions identifiées au cours de la phase 1 sont identifiées spatialement sur le territoire..	5
Figure 3 : Recensement des plans d'eau dans le domaine cristallin en amont du karst (surface de bassin versant : 761 km ²)	7
Figure 4 : Lame d'eau précipitée sur la période climatique 1991-2020 (données Météo France traitées par Eaucéa).....	12
Figure 5 : Pluviométrie annuelle moyenne sur les bassins versants des stations hydrométriques sélectionnées.....	13
Figure 6 : Graphe des lames d'eau annuelles réellement évaporées, ETR de 2001 à 2023.....	13
Figure 7 : Graphe des ETP moyennes annuelles de 2001 à 2023 sur les bassins versants des stations hydrométriques.....	14
Figure 8 : Graphe des lames d'eau annuelles « surévaporées » de 2001 à 2023 sur les bassins versant des stations hydrométriques.....	15
Figure 9 : Graphe des volumes annuels de 2001 à 2023 surconsommés par le cumul des plans d'eau sur le bassin versant cristallin.....	16
Figure 10 : Evaluation de la pression journalière exercées par les plans d'eau sur les débits circulants de 2001 à 2023 (débit en m ³ /s).....	17
Figure 11 : Rapprochement de la pression journalière exercée par les plans d'eau et des débits cumulés des rivières de 2001 à 2023 (débit en m ³ /s) et zoom sur la période récente	18
Figure 12 : Illustration et évaluation de l'enjeu des débits réservés cumulés en débit.....	20
Figure 13 : Illustration et évaluation de l'enjeu des débits réservés cumulés en volume	20

1. Principes de la solution de gestion des apports des bassins versants Tardoire, Bandiat et Bonnieure depuis le domaine granitique.

Les bassins versants de la Tardoire, du Bandiat et de la Bonnieure comprennent une partie en amont du karst localisé au sein du domaine géologique du socle cristallin du Massif Central (Figure 1).

Cette région est principalement constituée de roches cristallines et métamorphiques (dites « de socle »). Elles présentent des faibles porosités et perméabilités, critères défavorables à la constitution de système aquifère. Ces roches n'acquièrent une perméabilité et une porosité que lorsqu'elles se fracturent, sous contrainte tectonique ou non. Les ressources en eau existent au niveau des altérites superficielles résultante de ces processus de fissuration.

Au sein de ces roches, les aquifères forment ainsi généralement des nappes phréatiques de petite taille, bien réparties géographiquement et indépendantes les unes des autres. Ils sont associés à un dense réseau hydrographique de surface, alimenté de façon relativement continue dans le temps. Il n'y a ainsi pas ou peu de phénomènes de pertes ni d'assecs pour les cours d'eau principaux alimentant le karst en aval.



Figure 1 : Carte géologique du bassin d'alimentation du Karst de la Rochefoucauld (source carte BRGM 1 / 1000000).

Parmi les solutions identifiées pour optimiser la capacité du Karst de La Rochefoucauld à soutenir la Charente en étiage, un des leviers consiste à augmenter la recharge du karst en utilisant cette zone d'alimentation en amont du système karstique (Figure 2). Il s'agit alors de pouvoir peser significativement sur le régime hydrologique des rivières Bandiat, Tardoire et éventuellement Bonnieure dans le domaine du socle, avant qu'elles ne se perdent dans le système karstique. On note que cette région cristalline est également marquée par une importante densité de plan d'eau.

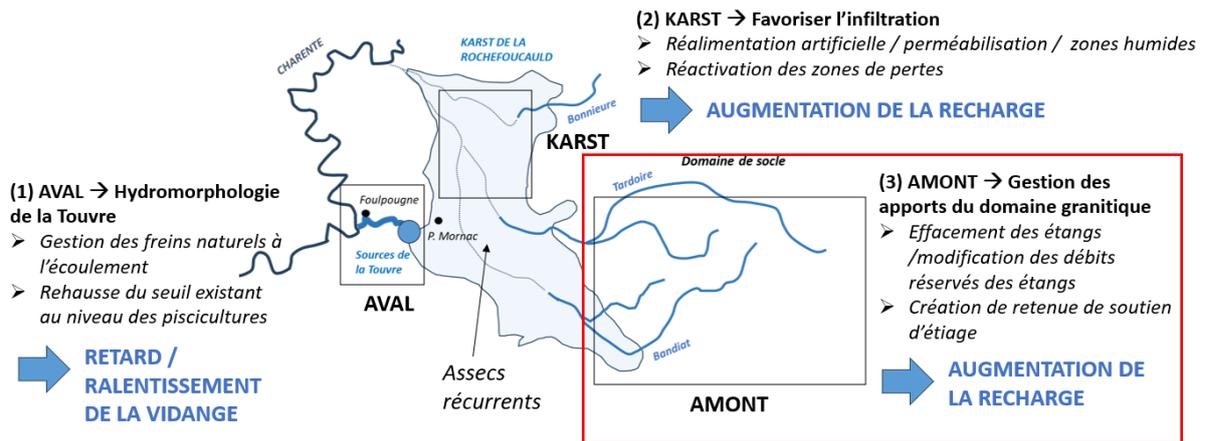


Figure 2 : Schéma du système karstique de la Rochefoucauld et de ses principaux affluents. Les principales solutions identifiées au cours de la phase 1 sont identifiées spatialement sur le territoire.

La note qui suit détaille brièvement l'hydrographie du bassin versant amont, ainsi que son hydrologie. Un bilan hydrique sommaire (Précipitations – ETP) est également présenté.

Ces données sont utilisées pour analyser quantitativement l'incidence cumulative des plans d'eau existants sur le territoire sur l'hydrologie du bassin versant cristallin.

2. Préambule : les ordres de grandeurs des prélèvements sur le périmètre intra-karst

L'effet recherché des solutions présentées ci-dessous repose sur un mécanisme commun : l'apport d'un volume d'eau externe au karst au sein de celui-ci, permettant d'augmenter son niveau de recharge. Les modalités (volumes, période d'apport) diffèrent suivant les solutions.

Il semble intéressant à ce stade de rappeler les ordres de grandeurs des prélèvements sur le périmètre du karst, délimité en Figure 1, puisqu'il s'agit d'un volume pesant directement sur la recharge.

La Figure 3 présente l'évolution de ces volumes depuis 2003, basée sur la base de données des redevances de l'AEAG, regroupé selon trois usages : Irrigation (prélèvement en nappe, rivière et retenue), AEP (prélèvement en nappe et rivière sans compter les sources de la Touvre) et l'industrie (prélèvement en nappe et rivière).

L'ordre de grandeur de ces prélèvements est d'environ 7.5 Mm³/an.

On peut faire l'hypothèse que ces volumes correspondent à une sortie nette dans le bilan hydrique du karst, bien que pour les cas de l'AEP et de l'industrie, la présence éventuelle de rejet (exemple STEP) rende cette hypothèse maximisante.

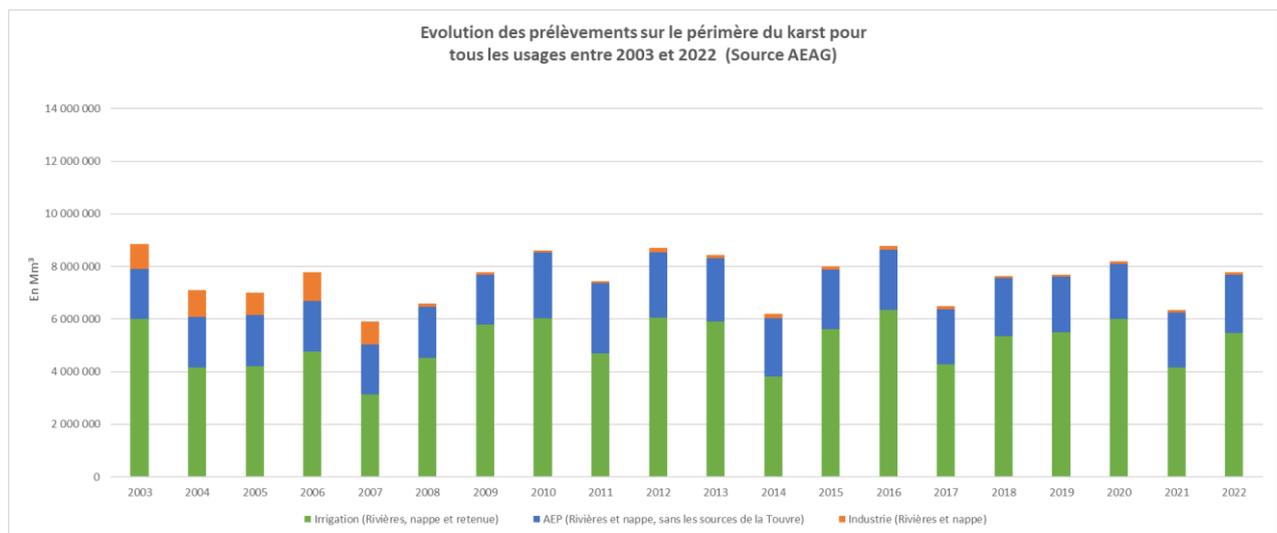


Figure 3 : Historique des prélèvements d'eau sur le périmètre du karst, toutes ressources confondues (nappe, retenue et rivière) et par usages (Industrie, Irrigation et AEP)

3. Hydrologie du bassin versant de la Bonnieure en amont du karst

3.1. Plus de 3240 retenues et plans d'eau du bassin versant cristallin en amont du karst

La présence d'ouvrages de stockage d'eau influence l'hydrologie du milieu par rétention et évaporation de lames d'eau qui autrement s'écouleraient naturellement dans le milieu. Le cycle des retenues est donc pris en compte dans l'évaluation des pressions et des usages de l'eau sur le département. La carte donne une représentation spatiale des plans d'eau (source : IGN).

Très logiquement, les plans d'eau sont implantés dans le secteur cristallin imperméable. Techniquement, la création d'étang y est relativement aisée puisqu'il suffit de barrer un talweg et de retenir les eaux ruisselées.

De l'avis des acteurs interrogés dans le cadre d'une étude pour le Département de Haute Vienne¹, il est raisonnable de considérer cette géographie des plans d'eau comme globalement stable à moyen terme, même si des travaux d'effacement sont réalisés. D'autre part, les modalités de gestion de tous ces ouvrages sont hors de portée d'une connaissance exhaustive.

Leur prise en compte dans l'analyse de la ressource sera donc réalisée au travers d'une évaluation du poids hydrologique probable de ces ouvrages.

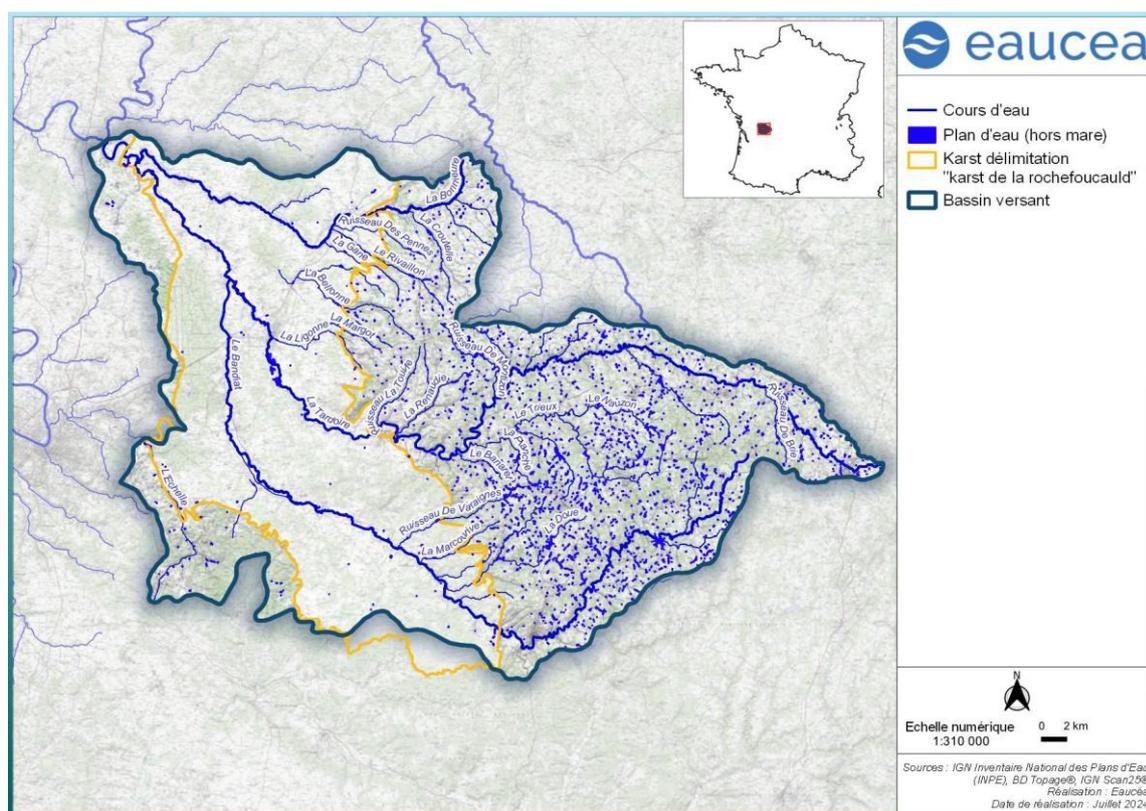


Figure 4 : Recensement des plans d'eau dans le domaine cristallin en amont du karst (surface de bassin versant : 761 km²)

¹ Etude prospective de la ressource en eau destinée à l'alimentation en eau potable en Haute-Vienne (Eaucéa Altéréo 2023)

Sous bassin		Surface du BV en zone non karstique en km2	Nombre de plans d'eau	Surface cumulée des plan d'eau en km2	Densité en nombre/km2	Densité en surface /km2	Pression surévaporation en Mm3 (base 216 mm)
R100	La Tardoire de sa source au confluent du Brie (inclus)	55.2	225	0.68	4.1	1.2%	0.146
R101	La Tardoire du confluent du Brie au confluent de la Colle	39.1	117	0.36	3.0	0.9%	0.077
R102	La Colle	26.6	112	0.53	4.2	2.0%	0.114
R103	La Tardoire du confluent de la Colle au confluent du Trieux	85.8	304	1.03	3.5	1.2%	0.223
R104	Le Trieux de sa source au confluent du Nauzon	47.1	296	1.05	6.3	2.2%	0.228
R105	Le Nauzon	28.9	164	0.64	5.7	2.2%	0.137
R106	Le Trieux du confluent du Nauzon au confluent de la Tardoire	50.0	270	1.09	5.4	2.2%	0.237
R107	La Tardoire du confluent du Trieux au confluent de la Renaudie	27.1	62	0.19	2.3	0.7%	0.041
R108	La Tardoire du confluent de la Renaudie (incluse) au confluent de la Touille (incluse)	47.3	118	0.31	2.5	0.7%	0.067
R109	La Tardoire du confluent de la Touille au confluent du Bandiat	16.9	125	0.48	7.4	2.8%	0.103
R110	Le Bandiat de sa source au confluent du Gamoret	35.7	133	0.65	3.7	1.8%	0.140
R111	Le Gamoret	13.7	81	0.33	5.9	2.4%	0.071
R112	Le Bandiat du confluent du Gamoret au confluent du [toponyme inconnu] (inclus)	37.3	200	0.76	5.4	2.0%	0.165
R113	Le Bandiat du confluent du [toponyme inconnu] au confluent des Vergnes	57.9	197	0.60	3.4	1.0%	0.129
R114	Le Bandiat du confluent des Vergnes au confluent du Merlançon (inclus)	54.3	346	1.36	6.4	2.5%	0.293
R115	Le Bandiat du confluent du Merlançon au confluent du Varaignes	24.5	133	0.57	5.4	2.3%	0.124
R118	La Tardoire du confluent du Bandiat au confluent de la Bonnieure	17.5	101	0.21	5.8	1.2%	0.045
R120	La Bonnieure de sa source au confluent de la Croutelle	35.3	72	0.19	2.0	0.5%	0.040
R121	La Croutelle	20.0	43	0.15	2.2	0.8%	0.033
R122	La Bonnieure du confluent de la Croutelle au confluent des Pennes (inclus)	18.0	62	0.07	3.5	0.4%	0.016
R123	La Bonnieure du confluent des Pennes au confluent de la Gane (incluse)	23.1	80	0.21	3.5	0.9%	0.046
	Total	761.1	3241.0	11.5	4.3	1.5%	2.474

Tableau 1 : Recensement des plans d'eau dans le domaine cristallin en amont du karst (source : Inventaire national des plans d'eau, INPE, IGN²)

² <https://geoservices.ign.fr/inpe>

3.2. Données hydrologiques

3.2.1. Hydrométrie

Plusieurs stations hydrométriques apportent les informations nécessaires à la description du fonctionnement hydrologique du haut bassin

Code	Nom de la station	BV (km ²)	Altitude	Début	Fin
R103001001	La Tardoire à Maisonnais-sur-Tardoire	138	206	1970	
R108001001	La Tardoire à Montbron - Moulin de Lavaud	390.3	108	1967	
R108001002	La Tardoire à Montbron	390.3	105	1988	2023
R109001002	La Tardoire à la Rochefoucauld [Lacou]	517	76	1988	
R113041001	Le Bandiat à Saint-Martial-de-Valette	134	144	2011	
R116001001	Le Bandiat à Feuillade [1]	306	105	1966	2002
R116001002	Le Bandiat à Feuillade [1] - 2	306		2002	2019
R116002001	Le Bandiat à Marthon	319	100	2005	
R118001001	La Tardoire à Coulgens [Pont de Coulgens]	1196	66	1968	2023
R125001001	La Bonnieure à Saint-Ciers-sur-Bonnieure [Villebette]	204	64	1968	

Tableau 2 : Recensement des stations hydrométriques du bassin versant en amont du karst

3.2.2. Hydrologie et sélection de stations représentatives

Ces stations sont parfois regroupées en site lorsqu'elles sont géographiquement très proches l'une de l'autre. Le tableau ci-dessous permet d'évaluer la productivité hydrologique de ce haut bassin. Nous observons, des débits spécifiques de l'ordre de 10 à 14 L/s/Km² sauf à Coulgens où les pertes karstiques ont significativement réduit ces écoulements, notamment en période estivale comme en témoigne la Tardoire à Coulgens. Il ne faut donc considérer que les stations du haut bassin avant les pertes les plus importantes.

Code	Nom de la station	BV (km ²)	Débits spécifiques moyens mensuels (l/s/km ²)												
			Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
R1030010	La Tardoire à Maisonnais-sur-Tardoire	138	25	26.4	23.7	19	15	10	5.4	3.9	4.3	7.3	12	20	14.3
R1080010	La Tardoire à Montbron	390	26.4	27.9	22.5	19	15	9.6	5	3.4	4.1	6.8	13	22	14.5
R1090010	La Tardoire à Rivières et à la Rochefoucauld [Lacou]	517	22.6	24.6	20.7	11	8	7.3	6.2				20	21	
R1130410	Le Bandiat à Saint-Martial-de-Valette	134	27.9	31.5	25.6	16	14	9.1	4.4	1.9	1.8	3.5	12	24	14.1
R1160010	Le Bandiat à Feuillade [1]	306.5	20.4	22.1	18.7	13	11	8	2.9	2	1.7	2.3	6.4	12	10.0
R1160020	Le Bandiat à Marthon	319	18.8	21	20.3	11	7.9	5.5	1.9	0.7	1.1	1.8	7.2	15	9.3
R1180010	La Tardoire à Coulgens [Pont de Coulgens]	1196	8.7	9.9	6.9	5.4	3.8	1.7	0.3	0	0.3	0.8	2.8	6.1	3.9
R1250010	La Bonnieure à Saint-Ciers-sur-Bonnieure [Villebette]	203.7	15.5	17.7	13.4	9.9	7.5	4.6	1.8	0.9	0.9	1.9	5.8	11	7.6

Tableau 3 : Ecoulements spécifiques aux stations hydrométriques du bassin versant en amont du karst

La Tardoire à Montbron et le Bandiat à Saint-Martial-de-Valette constituent de bons témoins des écoulements de ce haut bassin versant. Les régimes hydrologiques sont assez proches avec des maximums en hiver de janvier à mars et des minima en août. Le Bandiat ne dispose que d'une série hydrologique réduite (depuis 2011).

Pendant la période des maxima les écoulements se prolongent dans de bonnes proportions jusqu'à La Rochefoucauld mais s'affaiblissent significativement à Coulgens puisque la productivité moyenne est divisée par plus que 2. Cette chute est liée en partie à la réduction de la lame d'eau précipitée (Figure 5) mais surtout par l'absence de ruissellement superficiel significatif en surplomb du karst ainsi que par des pertes qui viennent réduire les débits issus du haut bassin cristallin.

La lame d'eau moyenne écoulée sur le bassin cristallin serait donc d'environ 14 L/s/km² soit 450 mm par an soit 450 000 m³/km² de bassin versant.

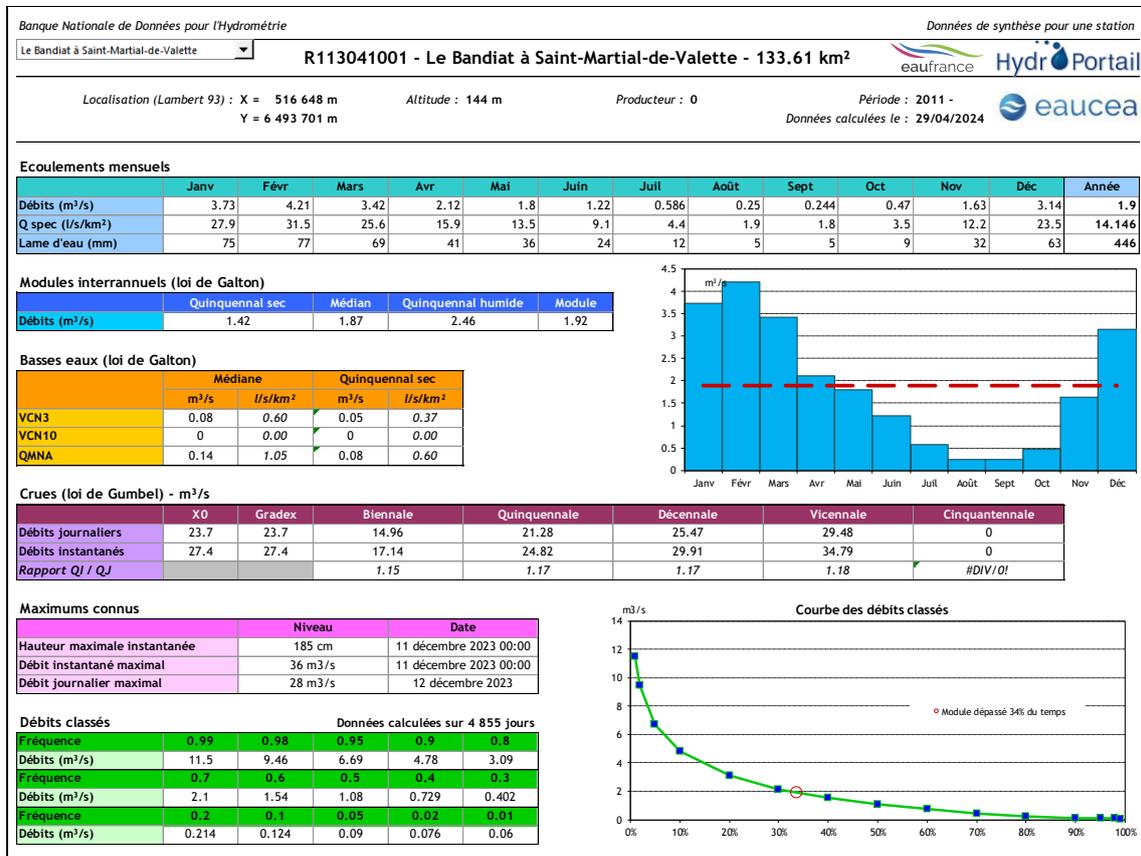
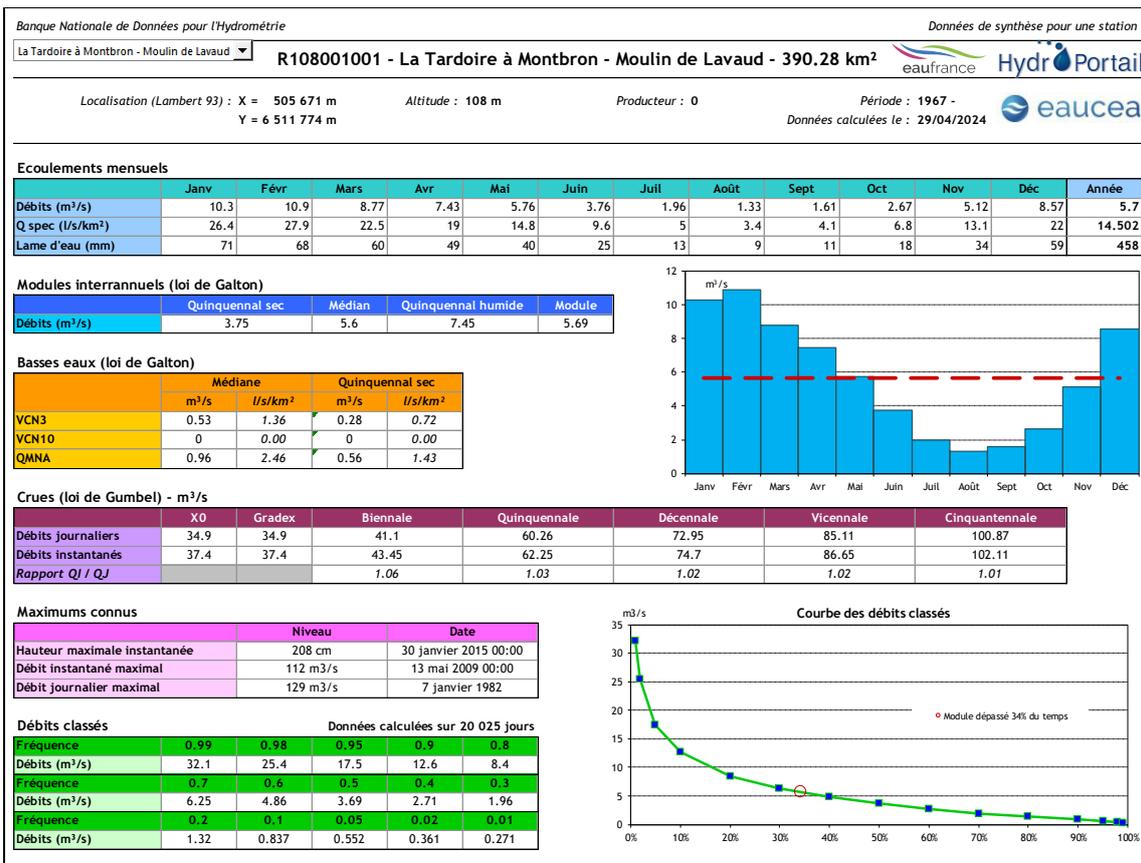


Tableau 4 : Synthèse hydrologique des deux stations sélectionnées

Les régimes interannuels de précipitations sont très proches entre les deux bassins versants (Figure 6).

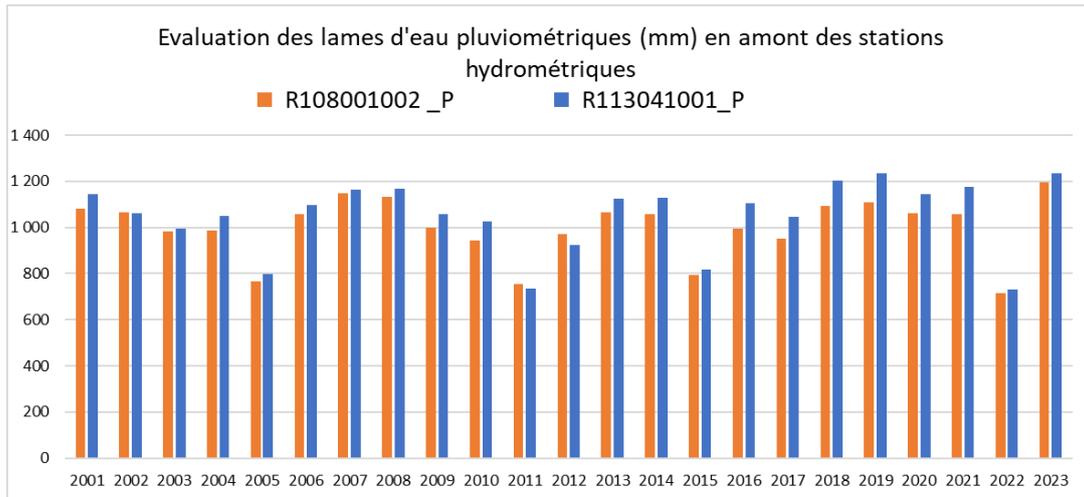


Figure 6 : Pluviométrie annuelle moyenne sur les bassins versants des stations hydrométriques sélectionnées

3.3.2. Bilan hydrique observé aux stations hydrométriques

Un bilan hydrique annuel peut donc être établi à ce stade en comparant la lame d'eau écoulée (parfois appelée pluie efficace) et la lame d'eau précipitée. La lame d'eau manquante est supposée évaporée au travers des forêts, champs, cultures, etc. L'ETr mesure donc l'évapotranspiration réelle du paysage. Elle est estimée pour chaque bassin à partir d'un bilan hydrique effectué à l'échelle annuelle tel que :

$$ETr = P - Q$$

Avec,

P : cumul annuel de précipitations

Q : ruissellement annuel du bassin versant intermédiaire, calculé à partir des chroniques de débits

Pour homogénéiser et étendre la série temporelle notamment sur le Bandiat, nous présentons ici la moyenne des données calculées ou la donnée disponible en cas d'insuffisance sur l'une ou l'autre station (Figure 7).

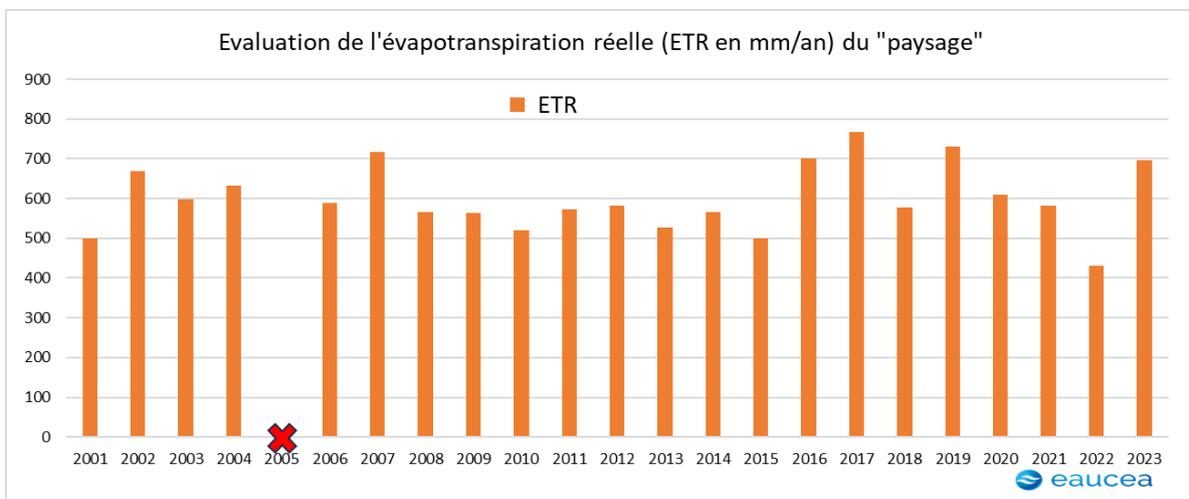


Figure 7 : Graphe des lames d'eau annuelles réellement évaporées, ETr de 2001 à 2023

4. Analyse de l'incidence des plans d'eau sur l'hydrologie des bassins versants

4.1. Evaluation de la pression de surévaporation des plans d'eau

L'influence des plans d'eau est estimée sans prise en compte de leur usage spécifique, l'information n'étant pas disponible de manière systématique sur l'ensemble des plans d'eau couvrant le territoire d'étude. Il est ici question de l'effet qu'exerce leur présence sur le cycle hydrologique. Cette influence est estimée comme suit :

$$\text{Consommation naturelle d'un plan d'eau} = (ETp - ETr) * \text{Surface du plan d'eau}$$

Avec,

ETp : l'évaporation d'un plan d'eau, estimée égale à l'ETp (donnée Safran) * 1 (coefficient retenu pour les plans d'eau)

ETr : l'évapotranspiration réelle du paysage.

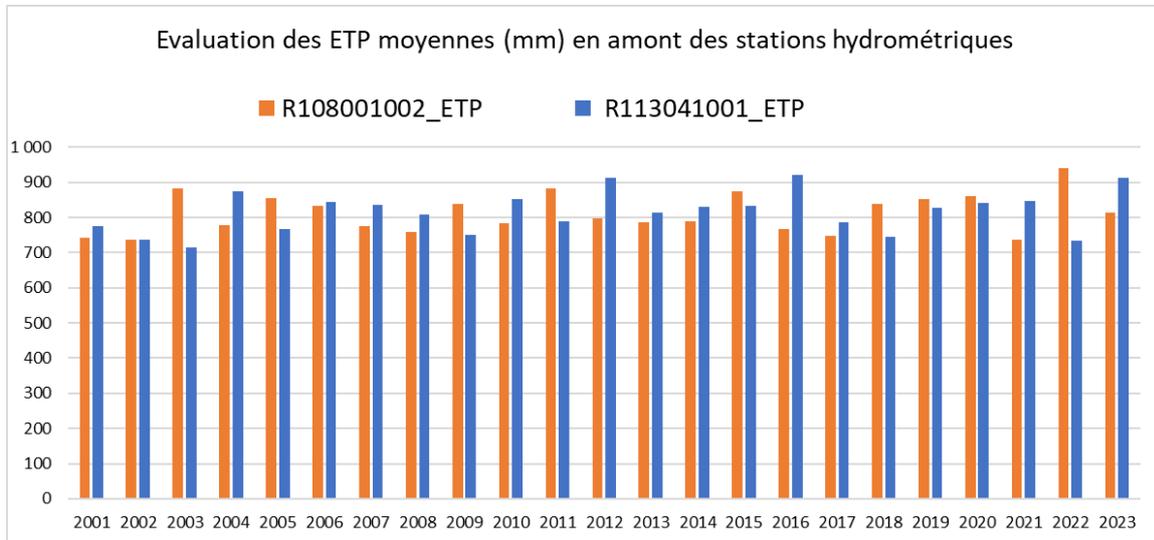


Figure 8 : Graphe des ETP moyennes annuelles de 2001 à 2023 sur les bassins versants des stations hydrométriques

Un plan d'eau évaporant plus que le paysage standard du bassin versant, nous pouvons considérer que $ETp - ETr$ = surévaporation liée à la présence d'un plan d'eau. C'est l'équivalent d'une consommation en eau supplémentaire.

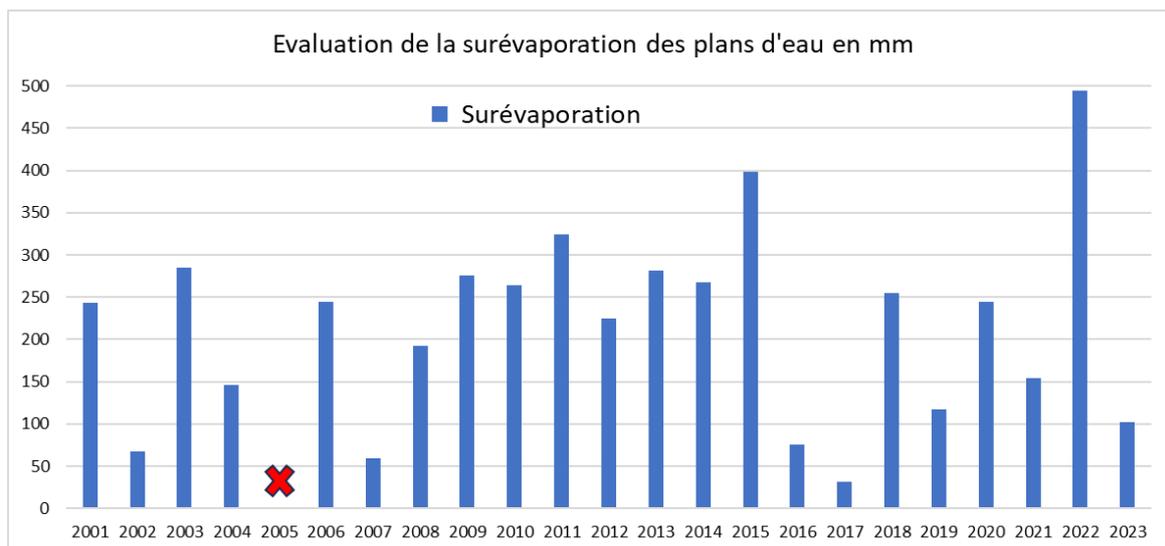


Figure 9 : Graphe des lames d'eau annuelles « surévaporées » de 2001 à 2023 sur les bassins versant des stations hydrométriques

En moyenne interannuelle, le bilan peut donc être résumé comme suit, avec une surévaporation qui représenterait entre 214 et 244 mm/an selon les références et qui en moyenne sur la longue période s'établirait à environ 216 mm.

				A	B	A-B	ETP - ETR
		Surface du BV km2	Période de calcul	Lame d'eau moyenne annuelle précipitée mm	Lame d'eau écoulee (module) mm	Lame d'eau évaporée (ETR) mm	Sur évaporation des plans d'eau mm
R108001001	La Tardoire à Montbron - Moulin de Lavaud	390	2001 à 2023 sauf 2014	1 008	411	597	214
R113041001	Le Bandiat à Saint-Martial-de-Valette	134	2011 à 2023	1 047	437	610	244

4.2. Une « consommation relative » des plans d'eau peu significative en regard des volumes transitant

La surface cumulée des plans d'eau est calculée par sous bassin. Pour le calcul de la densité de plans d'eau, seule la surface de la zone en amont du domaine karstique est considérée. Il y aurait donc environ 4,3 plans d'eau/km². En termes de surface occupée cela représente environ 1,5% du bassin versant.

La consommation absolue des surfaces en plans d'eau est estimée en multipliant l'ETP par la surface cumulée des plans d'eau : elle s'élèverait en moyenne annuelle à 9,3 Mm³ sur la période 2000/2023.

La **consommation relative**³ des surfaces en plans d'eau est estimée en multipliant (ETP- ETR = surévaporation) par la surface cumulée des plans d'eau. Elle s'élèverait en moyenne annuelle à 2,5 Mm³ environ.

Sur la même période, le volume annuel de la Touvre mesuré à Foulpogne (12,47 m³/s de module) est d'environ 393 Mm³.

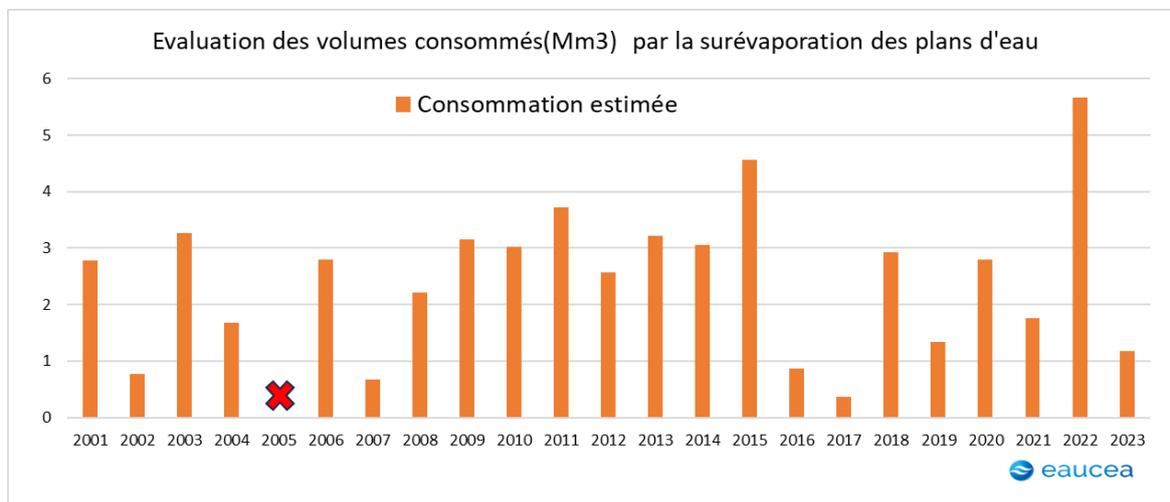


Figure 10 : Graphe des volumes annuels de 2001 à 2023 surconsommés par le cumul des plans d'eau sur le bassin versant cristallin

³ Remarque : Cette valeur correspond au « bénéfice » hydrologique théorique d'une suppression de tous les plans d'eau et de leur remplacement par des éléments habituels du paysage de cette région.

4.3. Evaluation de l'interception en période d'étiage et de l'enjeu des débits réservés

La problématique des plans d'eau amont peut aussi être analysée au regard du risque de blocage des écoulements en période d'étiage intense, le débit naturel des petits cours d'eau pouvant être stocké dans un plan d'eau abaissé par l'évaporation.

Cette capture partielle des écoulements intervient donc en période d'étiage et peut représenter un débit inférieur ou égal à l'abaissement du plan d'eau causé par l'évaporation. Le maximum de l'ETP enregistré est de l'ordre de 9 mm. Avec cette hypothèse maximisante, nous pouvons considérer que l'interception du débit induite par les plans d'eau pourrait atteindre au plus 1,2 m³/s en pointe.

Un calcul de bilan journalier (ETP-pluie en mm) sur les plans d'eau cumulé sur l'ensemble du bassin amont permet de décrire le régime de cette interception qui est logiquement maximale en été et minimale en hiver. Le cumul moyen annuel représente environ 9,2 Mm³ très proche de la consommation absolue, puisque les jours pluvieux sont aussi souvent des jours à faible ETP. Cela correspond à un débit moyen intercepté de l'ordre de 290 L/s.

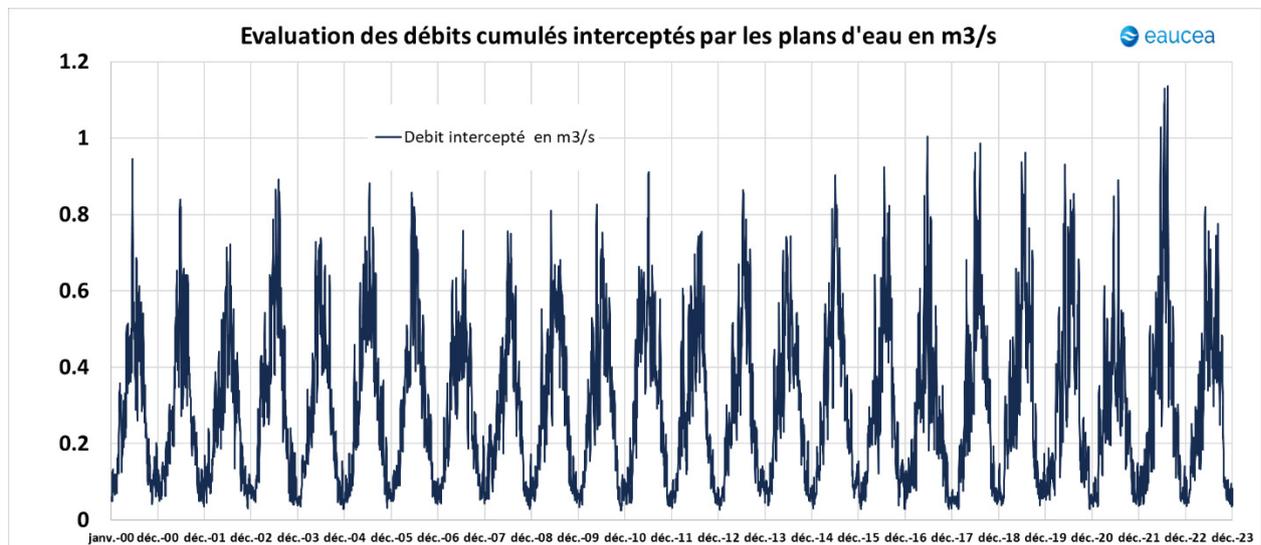


Figure 11 : Evaluation de la pression journalière exercées par les plans d'eau sur les débits circulants de 2001 à 2023 (débit en m³/s)

Cette interception peut être mise en regard des écoulements du bassin. Ils sont extrapolés à partir de la station hydrométrique de La Tardoire à Montbron - Moulin de Lavaud. Cette station représente 51% du bassin versant en amont du karst d'une surface de 761 km² environ. Sur la période 2000/2023 le module de ce bassin serait donc de l'ordre de 5,3 m³/s * (761/390) = soit 10,3 m³/s environ. La pression de l'interception représente donc 3% des écoulements.

Néanmoins, elle est maximale dans des périodes où les débits sont faibles. Il peut donc y avoir un effet sensible sur les débits d'étiages comme l'illustre les graphes suivants. Le maintien d'un débit réservé n'aurait un impact significatif que sur ces périodes et se traduira aussi par une baisse des niveaux d'eaux temporaires dans les retenues (l'évaporation n'est plus compensée par les débits entrants).

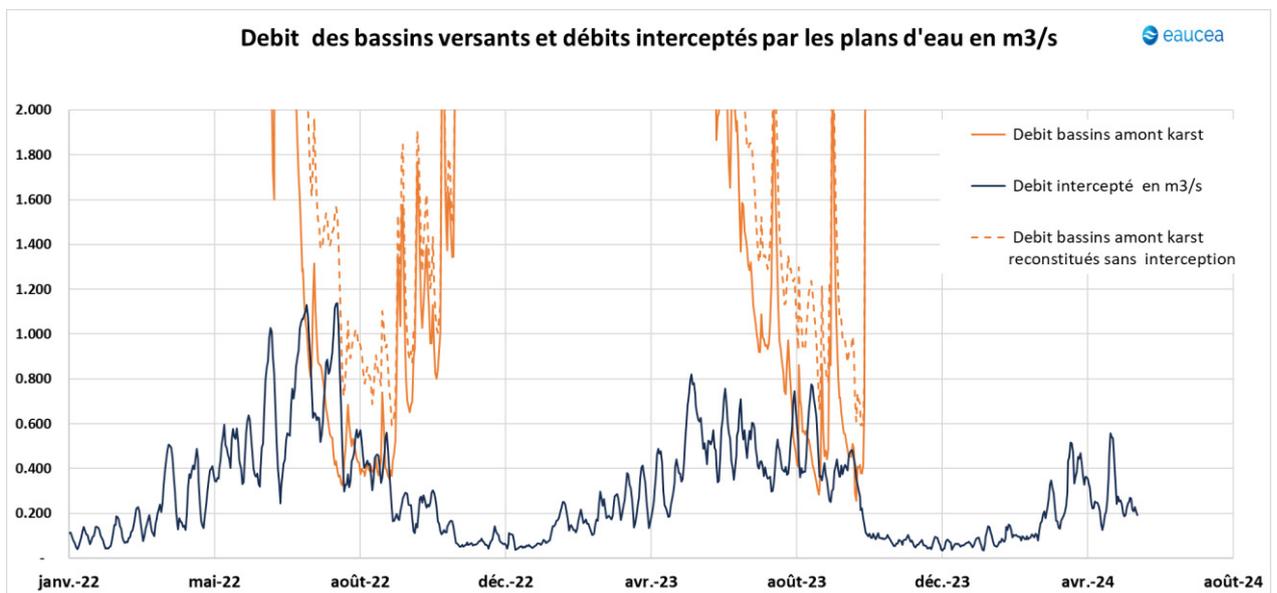
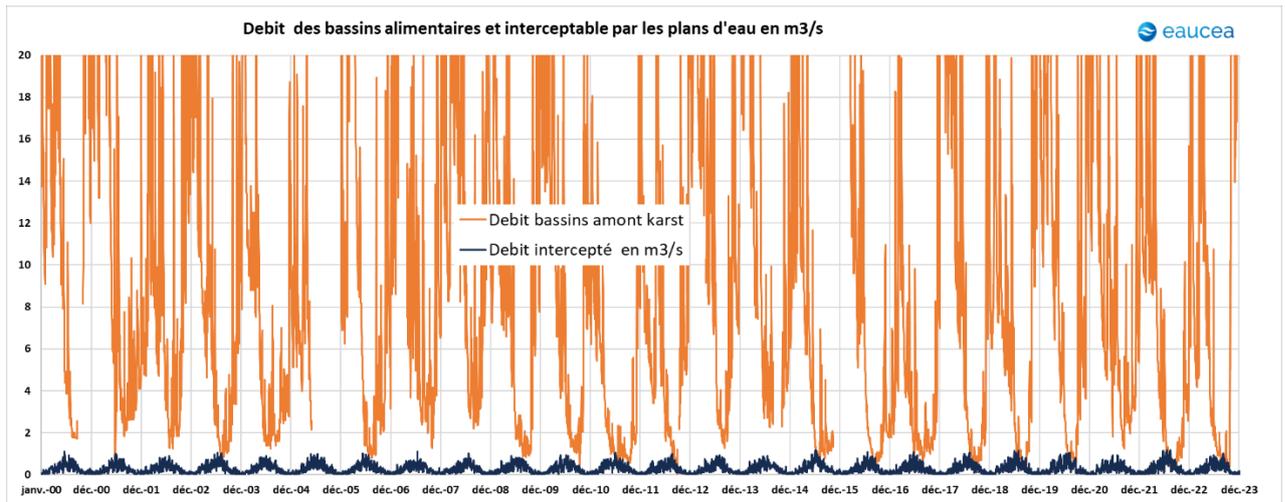


Figure 12 : Rapprochement de la pression journalière exercée par les plans d'eau et des débits cumulés des rivières de 2001 à 2023 (débit en m³/s) et zoom sur la période récente

4.4. Conclusions : Incidences hydrologiques des petites retenues et sur l'alimentation du karst.

Cette expertise démontre deux effets quantitatifs complémentaires de la présence des retenues sur le haut bassin versant.

1. Un effet volumétrique évalué à 2,5 Mm³ par an, assimilable à une « consommation d'eau » exercée par ces retenues. Cet effet pourrait être corrigé par la suppression de tout ou partie des plans d'eau, ce qui semble aujourd'hui très difficile d'application et ne se justifie pas sur ce seul critère quantitatif. Le coût de ses opérations est très variable en fonction des exigences réglementaires (évacuation des sédiments en décharge par exemple) et des difficultés spécifiques de restauration du milieu après effacement.
2. Un effet sur le régime des eaux avec une aggravation sensible des débits d'étiage. Une solution pourrait être d'imposer la mise en œuvre des dispositifs de débit réservé à l'entrée du plan d'eau ce qui de façon opérationnelle se traduit par un dispositif de contournement des plans d'eau pour garantir la continuité hydraulique (coût de quelques milliers d'euros selon le linéaire de court circuit).

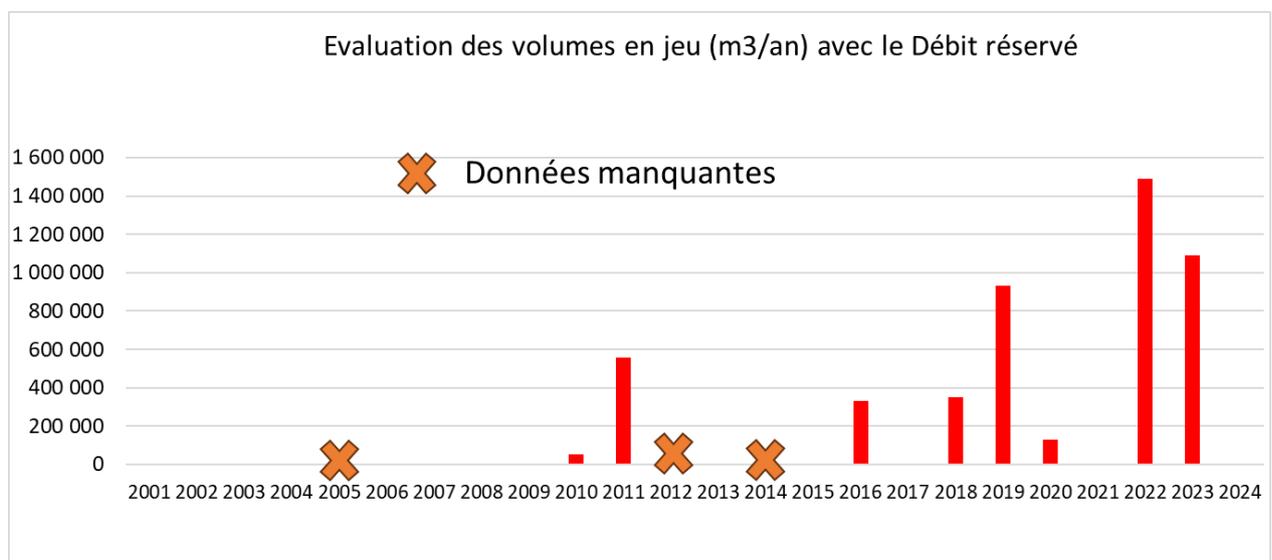
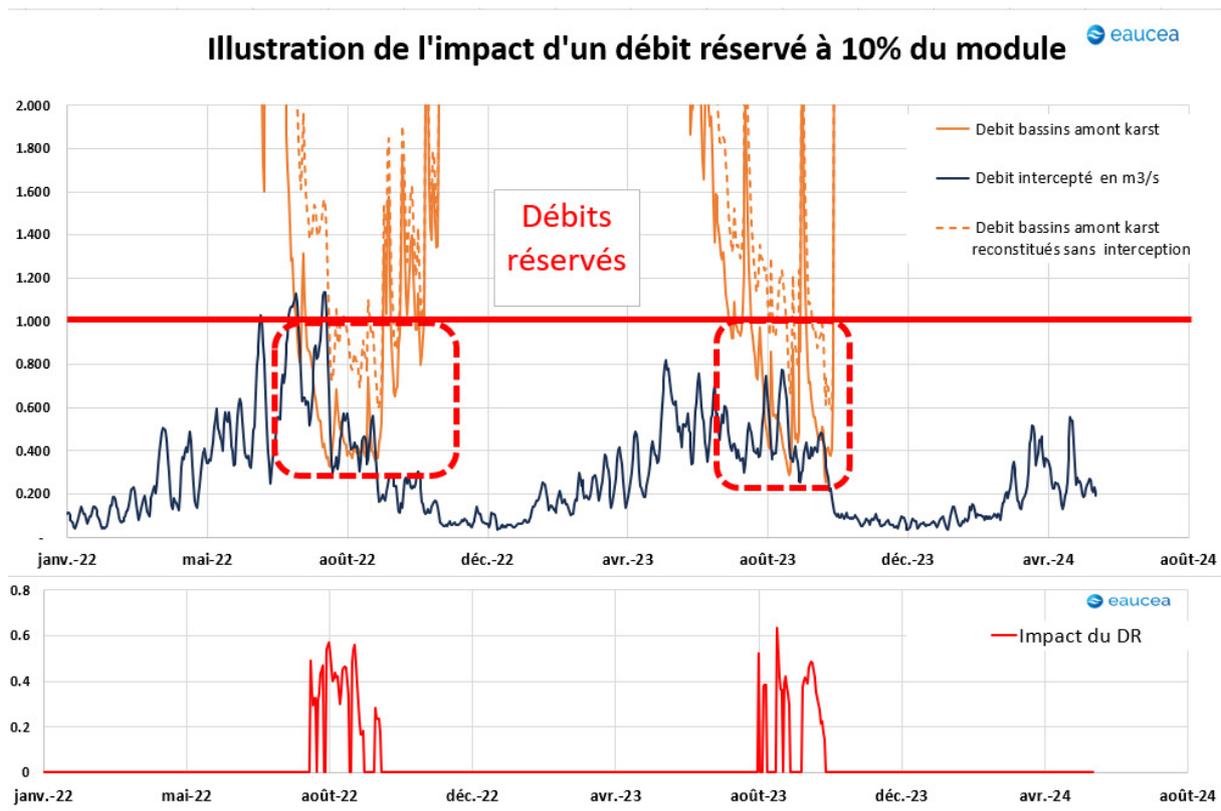
Pour expertiser ce dernier point, nous pouvons partir du principe que les retenues devraient respecter une stricte transparence hydraulique dès que le seuil de 10% du module est atteint par le débit naturel.

Remarque méthodologique : L'analyse ne peut être réalisée que globalement en ramenant le système à un bassin versant unique de 761 km² alimentant un plan d'eau unique de 11,5 km². A l'échelle du bassin versant 10% du module correspond à 1 m³/s environ.

Le gain envisageable en imposant un débit réservé sur l'ensemble des plans d'eau est illustré dans le graphe ci-dessous.

- Le seuil de 1 m³/s est représentés par le trait horizontal.
- Le bénéfice du respect du débit réservé correspond à l'écart entre la courbe en trait pointillée (débit entrant) et la courbe en trait plein (débit sortant réduit par l'évaporation) : il est représenté par la courbe rouge et peut atteindre quelques centaines de litres par seconde.

Ces débits renforcent donc les étiages du bassin versant amont avec des effets positifs sur tout le réseau hydrographique amont mais aussi sur les débits apportés au karst dans cette période dominée par un régime de pertes intégrales et sinon un apport à la Charente.



Le graphique ci-dessus illustre l'ordre de grandeur des volumes en jeu. Sur 23 années modélisées :

- 4 années ont des données insuffisantes ;
- 13 années présentent un enjeu nul pour 10% du module ;
- 8 années présentent un enjeu pour 10% du module.

La moyenne interannuelle des volumes en jeu est de 235 000 m³ environ avec un maximum en 2022 évalué 1 500 000 m³ environ.

Notons que ce volume « gagné » pendant l'étiage, se traduit aussi par une baisse du volume stocké dans les plans d'eau. Les premières reprises d'écoulement après l'étiage seront donc réduites d'autant jusqu'à ce que les plans d'eau aient retrouvé leur cote nominale.

Le bénéfice pour le karst d'une application stricte du débit réservé est donc un décalage de l'impact hydrologique. Plus d'eau dans les rivières amont au cœur de l'étiage mais moins à la reprise des écoulements. Le bénéfice pour la Touvre et la Charente doit donc s'analyser en intégrant les conséquences de ces effets de décalage temporels et en tenant compte des ordres de grandeurs des volumes en jeu.

5. Renforcement des stocks pour la gestion des étiages

Le bassin versant amont est à la fois le plus arrosé et celui présentant le plus d'opportunité topographique et géologique pour l'implantation d'une retenue. Il n'est pas question ici de projeter un aménagement au sens d'un avant-projet mais plutôt d'évaluer les conditions à examiner pour statuer sur ce type de projet.

5.1. Quelles fonctions théoriques envisageables

La création d'un réservoir permet de stocker les eaux en période d'abondance (hiver) pour les exploiter en période d'étiage. Deux types de fonctions sont envisageables :

- La création d'un stock de substitution, dont l'objet est de satisfaire un prélèvement d'eau directement depuis le réservoir. Ce type de projet vient donc réduire une pression de prélèvement estivale ce qui correspond aussi à un renforcement de la réalimentation du karst dans ces périodes. C'est la représentation traditionnelle d'un ouvrage collinaire qui sert en général à satisfaire un usage d'irrigation ou d'eau potable. Une application concrète de ce principe a été réalisée en 2008 dans le département de la Dordogne, sur le bassin du Bandiat amont et dans la continuité du PGE Charente. A l'aboutissement du programme, il était attendu une réduction de l'intensité et de la fréquence des étiages du Bandiat et une sécurisation de production fourragère (maïs ensilage), de maïs grain et de châtaigne. La faible pression d'irrigation agricole en amont du karst limite l'efficacité de cette disposition. Les volumes envisageables sont donc inférieurs à 400 000 m³ environ.

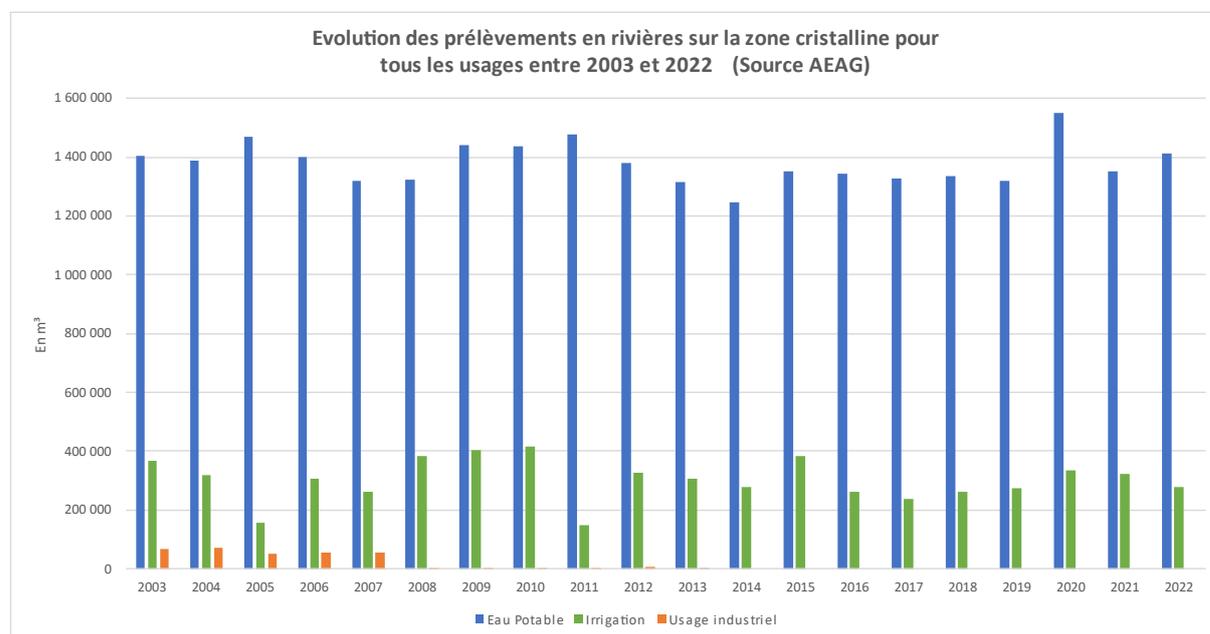


Figure 15 Volumes prélevés depuis les rivières dans la zone cristalline

- La création d'un stock qui vise le soutien des débits. L'ouvrage réalimente un cours d'eau en période d'étiage naturel au service d'une cible environnementale et/ou d'usages préleveurs situés en aval du réservoir. Le cours d'eau est donc utilisé comme vecteur pour transporter l'eau jusqu'à son lieu de valorisation. Dans cette organisation, la gestion est le plus souvent collective et la rivière peut être qualifiée de réalimentée artificiellement. Le cas type sur le

bassin de la Charente sont les retenues de Lavaud et Mas Chaban. Les volumes recherchés dépassent le million de m³.

5.2. Précautions liminaires géotechniques, sociales et environnementales

A ce stade, une liste indicative de conditions préalables sera juste rappelée pour délimiter le périmètre des questions à traiter dans l'hypothèse d'une réalisation effective d'un réservoir superficiel à usage collectif (par exemple pour la réalimentation d'un cours d'eau en étiage) et présentant un volume conséquent :

- Un tel projet doit être intégré dans une stratégie plus globale de gestion de la ressource, par exemple avec un projet de territoire qui s'intéresse aux enjeux, usages et alternatives à du stockage ;
- Le risque de non étanchéité de la cuvette de la retenue potentielle en lien avec la géologie affleurante limite le secteur géographique pouvant être exploré. La zone cristalline est a priori favorable. Les zones sédimentaires caractérisés par un risque fort de non étanchéité naturelle ne sont pas favorables, sauf à imaginer des solutions d'étanchéification souvent coûteuses ;
- Penser le projet dans sa globalité et son évolution future. La question du multi-usage est notamment très importante pour l'acceptabilité, y compris l'usage environnemental. Ce type de réservoir peut aussi servir des objectifs touristiques sous réserve d'une bonne qualité sanitaire (plan d'eau de baignade) ;
- La question du remplissage, préoccupation renforcée avec les changements climatiques. Cette question, indépendante de l'enjeu karst, se pose à tous les ouvrages nouveaux, avec deux types de stratégie possibles :
 - Prendre des marges de sécurité sur la surface de bassin versant alimentaire en regard du volume recherché ;
 - Construire un ouvrage plus grand (et donc plus coûteux) que le volume recherché pour stocker des eaux des années humides, cet excédent accumulé pouvant compenser un déficit de remplissage en années sèches.
- Anticiper la question de la gouvernance du projet (maîtrise d'ouvrage) ;
- La question du coût très dépendante de certaines règles telles que le volume stocké/ emprise des ouvrages (hauteur et longueur et volume de la digue) ; le coût d'un ouvrage est donc dépendant des conditions d'implantations et des contraintes de chaque site. Néanmoins il peut être retenu un coût d'investissement de l'ordre de 6 à 7M€/1Mm³ auquel doit se rajouter des coûts de gestion qui peuvent être évalués sur la base de retour d'expérience à environ 25 000€/an/1Mm³.
- La question subséquente du financement de l'ouvrage en période d'investissement mais aussi de fonctionnement. Les utilités du projet sont aussi à identifier pour identifier les partenaires ayant intérêt au projet et leur capacité de financement ;
- Les limitations environnementales qui couvrent plusieurs enjeux :
 - Les enjeux dans l'emprise du futur plan d'eau (enjeux naturels ou humains comme une route par exemple) ;

- Les enjeux du stockage de l'eau et de sa qualité, très dépendante de l'occupation du bassin versant en amont de la retenue. Cette question présente une acuité particulière dans le cas présent puisque le bassin amont cristallin est favorable à des développements de cynobactéries dans les retenues et que l'un des usages majeurs de la ressource du Karst est la production d'eau potable.
- Les enjeux de la rupture de continuité écologique et hydraulique induite par l'ouvrage sur le cours d'eau.

5.3. Cadre technique de la gestion

Le principe d'un réservoir est d'effectuer un transfert saisonnier de débit. Synthétiquement, nous distinguerons deux types d'enjeux :

5.3.1. La phase de remplissage

Il s'agit ici de remplir un stock en s'appuyant sur les hautes eaux. Ce remplissage se répercute en aval par une baisse des débits transitant. Bien évidemment, la phase de remplissage ne doit pas se superposer avec une phase d'étiage pour les cours d'eau sollicités et pour la Touvre.

Vis-à-vis du karst les effets peuvent être :

- **Nuls si la Tardoire coule en continuité jusqu'à la Charente.** On peut en effet considérer que les débits de remplissage sont soustraits à la Charente (elle-même probablement en hautes eaux) mais qu'il n'y a pas d'interférence avec le remplissage du karst au niveau des pertes puisqu'elles sont supposées saturées par les débits naturels.
- **Sensible si la totalité du bassin cristallin se perd dans le karst** (Débit nul à Coulgens) ; le débit de remplissage ne transitera donc pas par le karst dans cette période.

Dans ce dernier cas, il est important de s'interroger sur les mécanismes de transfert internes du karst avec des notions comme celle de la durée de propagation rapide si l'ensemble des pertes alimente le réseau transmissif (avec une faible inertie de quelques jours) ou le système capacitif avec des effets retardés significatifs (saisonnier voire pluriannuel ?).

L'éclairage de ces questions scientifiques est un préalable important puisque cela fixe les conditions de remplissage (période, durée et indicateurs de limitation du remplissage).

5.3.2. La phase de soutien des débits

Dans cette phase nous retrouvons les effets symétriques à l'analyse précédente. Le déstockage renforce le débit des cours d'eau en aval. Nous imaginons mal l'intérêt d'un soutien d'étiage alors que la Tardoire coule à Coulgens. Cela signifie que toutes les eaux lâchées transiteront par le karst.

Dans ce cas de figure plusieurs effets sont attendus :

- ✓ Le linéaire des cours d'eau réalimentés restant en eau sera augmenté par rapport à la situation sans soutien d'étiage ; il est impossible d'anticiper ce bénéfice sans avoir positionné l'ouvrage et étudié le fonctionnement des pertes en aval ;
- ✓ Les débits transitant dans le karst seront restitués au niveau des sources de la Touvre mais avec des incertitudes concernant le taux d'efficacité de ce lâcher à courts termes ; autrement dit, si un lâcher de 1 m³/s est effectué depuis la retenue pendant 3 jours, quel effet sera observé sur la Touvre. : 1 m³/s pendant 3 jours ? 0,5 m³/s pendant 6 jours ?

De la réponse à cette question dépend la modalité de gestion du futur ouvrage.

- ✓ Si les effets d'amortissement et de décalage dans le temps sont importants, il est possible de considérer une gestion très simplifiée. La retenue relâche en continu, un débit d'eau qui vient renforcer le débit de base de la Touvre.
- ✓ Si les effets sont plus réactifs, une stratégie de placement de l'eau, adapté aux aléas climatiques peut être envisagée.

5.4. Quelques ordres de grandeurs

La première partie du rapport a exposé les conditions hydrologiques du haut bassin cristallin. La gestion d'une retenue importante sera soumise aux mêmes contraintes que celles des petites retenues mais avec une intensité plus élevée.

Les hypothèses de gestion retenues pourraient être :

5.4.1. Sur le plan topographique

- L'ouvrage est implanté dans un talweg et intercepte tout l'écoulement y compris les débits de crue. Lorsque l'ouvrage est plein, l'excès d'eau est restitué à l'aval. Cette hypothèse maximise le volume de remplissage par rapport à une hypothèse de remplissage qui serait limitée par une conduite ou un canal d'amenée (retenue en dérivation);
- L'emprise du réservoir peut être évaluée sur la base d'un ratio surface du plan d'eau / volume stocké que nous évaluons par analogie à des ouvrages existants en Adour Garonne à environ 15 ha par million de m³. Bien sûr, ce ratio dépend de la topographie de la future cuvette de retenue.

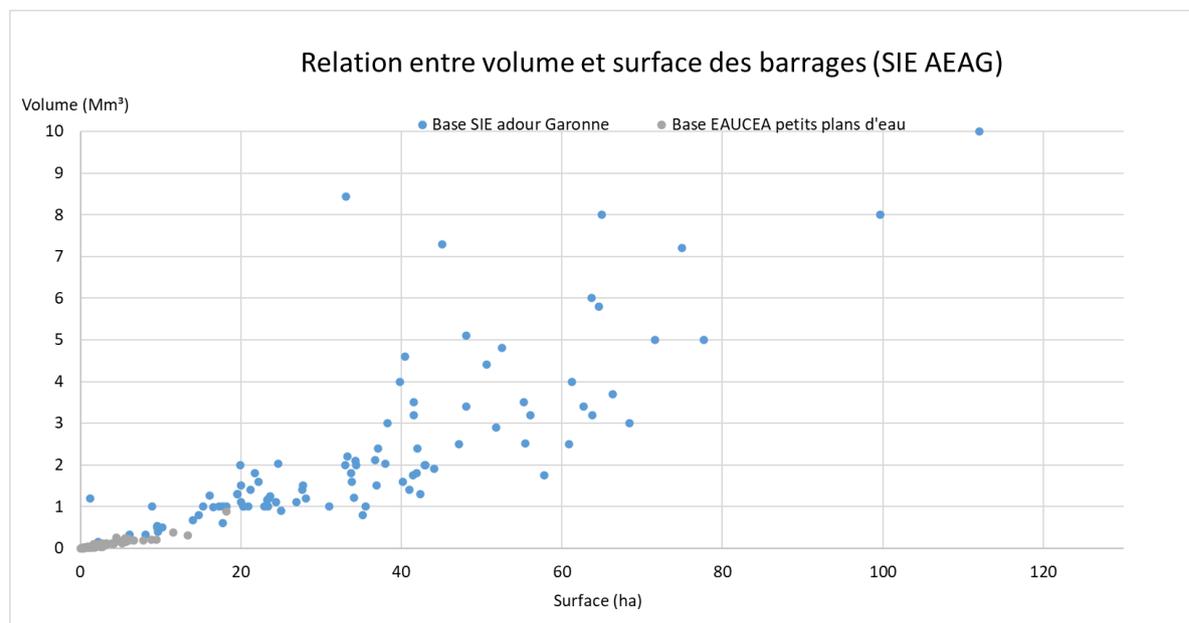


Figure 16 Relation expérimentale surface volume

5.4.2. Sur le plan de la gestion volumétrique

Un débit réservé est imposé à l'ouvrage avec une valeur équivalente à 10% du module au moins.

L'évaporation ne peut pas être négligée. Une pluviométrie de 1100 mm compense en termes de bilan volumétrique de l'ouvrage, une évaporation depuis le plan d'eau d'environ 800 mm. Néanmoins, rappelons que chaque plan d'eau génère une surévaporation qui en moyenne s'établirait à environ 216 mm. Cela représenterait selon notre ratio précédent pour un réservoir de 1 Mm³, un volume évaporé de 15 ha x 216 mm = 32 400 m³/an.

Pour remplir un ouvrage de 1 Mm³ il faut une surface de bassin versant suffisante pour couvrir les obligations réglementaires, les situations d'années sèches. En moyenne annuelle chaque km² de bassin apporte environ un volume stockable de 350 000 m³ mais de seulement 128 000 m³ en année sèche. Si l'on considère un risque admissible de 1 année sur 10, nous pouvons considérer un apport de 200 000 m³/ km² de bassin versant. Ainsi un ouvrage de 5 Mm³ devrait intercepter au minimum 25 km² de bassin versant.

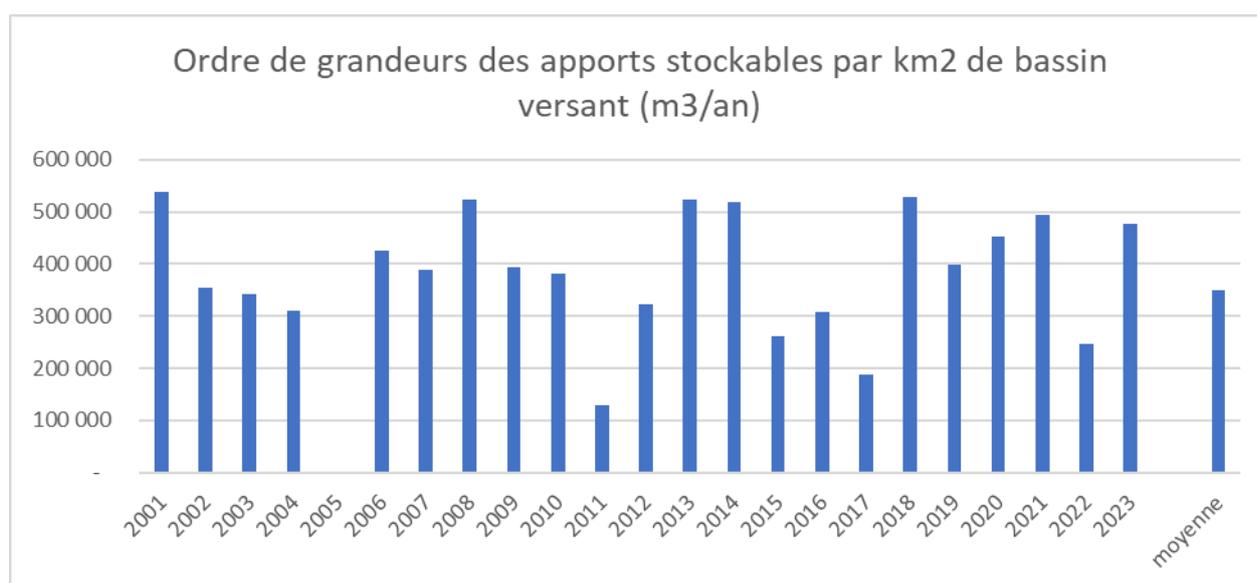


Figure 17 Apports naturels stockables par km² de bassin versant intercepté

5.4.3. Que faire avec 1 Mm³

Les ratios habituels considèrent pour une gestion avec un placement de l'eau que l'on peut tenir environ 250 L/s avec 1 Mm³ déstocké. Cela correspond à une action de soutien d'étiage continu pendant environ 3 mois.

Si l'on part d'une hypothèse que toute l'eau lâchée n'arrivera pas en période d'étiage (efficience), on peut transformer ce stock en impact hydrologique pour la Touvre en période d'étiage avec les ordres de grandeur suivants.

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

