



De l'Eau pour Demain

Indicateurs de gestion hydrologique des retenues utilisées
pour la production d'eau potable

Action 2B

Document de synthèse



Partie 1 : Objet et principaux résultats de l'étude

Partie 2 : tutoriel d'utilisation du fichier de calcul d'autonomie des barrages

Annexes

Exemple de schémas simplifiés de fonctionnement

Mode d'emploi du fichier de calcul

Rapports de stage

Fichier de tableur (format xls)

Partie 1 : Objet et principaux résultats de l'étude

1. Contexte

Les quatre départements bretons font face à une augmentation inattendue de la consommation d'eau potable depuis plus de 3 ans qui atteint 8 % à 10 % par rapport à la décennie précédente.

L'alimentation en eau potable de la Bretagne repose principalement sur l'exploitation de ressources superficielles (barrages, cours d'eau) et, dans une moindre mesure, de ressources souterraines.

Les retenues constituent les principales ressources utilisées pour l'eau potable en Bretagne, et jouent un rôle essentiel en période d'étiage. Elles permettent notamment la continuité des prélèvements pour l'eau potable et le soutien d'étiage dans les cours d'eau, lorsque le débit réservé peut être maintenu.

Les gestionnaires des retenues d'eau utilisées pour l'eau potable en Bretagne sont nombreux et de natures diverses : conseils départementaux, syndicats départementaux d'eau potable, syndicats locaux, établissements Publics de Territoriaux de Bassin (EPTB), communautés de communes. La plupart de ces acteurs disposent de courbes de gestion des retenues permettant de piloter la gestion des ouvrages et d'alerter en cas de risque de vidange ou de non-remplissage des retenues.

Cependant, ces outils se basent sur des méthodes et des hypothèses très différentes d'un territoire à l'autre. Leurs conclusions sont donc difficilement comparables, ce qui peut gêner la prise de décision en gestion préventive des sécheresses ou en périodes de crise.

Par ailleurs, la plupart des courbes de gestion se basent sur une analyse rétrospective des données hydrologiques sur les dernières décennies. Il est donc nécessaire d'adapter ces méthodes pour évaluer l'impact des changements climatiques en cours et à venir.

2. Objet de l'étude

L'étude menée dans le cadre du projet Eau pour demain a plusieurs objectifs :

- Comparer les modes de gestion des différentes retenues utilisées pour la production AEP en Bretagne : type de prélèvement, lien entre les usages, hypothèses sous-jacentes aux courbes de gestion ;
- Estimer le poids respectif des différents paramètres jouant sur la vidange des retenues : débits d'entrée, débits réservés, prélèvements AEP, évaporation, infiltration...
- Evaluer la résilience des retenues à des modifications de ces paramètres, sous l'effet de changements climatiques, de réglementation ou d'usages (exemple : hausse des prélèvements AEP)
- Proposer un outil simplifié d'évaluation en temps réel de la situation des retenues vis-à-vis des risques de défaillance quantitative des ressources

Cette analyse s'est basée dans un premier temps sur les études disponibles sur chacune des retenues. Ensuite, la recherche d'une méthode simple, reproductible et se basant sur données libres d'accès ou facilement disponibles a été recherchée.

La méthode retenue vise à produire des indicateurs communs simples de niveaux de risques applicables aux différentes retenues. Ces indicateurs n'auraient pas vocation à remplacer les outils de gestion existants, issus d'études complexes et souvent coûteuses, mais permettraient d'avoir une vue d'ensemble des niveaux de risque à l'échelle de grands territoires, particulièrement ceux interconnectés pour la production d'eau potable.

3. Déroulement de l'étude

L'étude s'est réalisée en 2021-2022, principalement sous la forme de 2 stages

- Stage réalisé en 2021 par Damien Doyonnard, étudiant à l'ENGESID : analyse bibliographique, visites des retenues,
- Stage réalisé en 2022 par Houa Bedjil, étudiante à l'université de Poitiers (mastère hydrogéologie et hydrologie) : extension à de nouvelles retenues, prise en compte de l'évaporation
- Co-encadrement SMG-Eau35 / CD29 (Antoine DECONCHY et Géraldine Berrehouc)
- Echanges réguliers et co-encadrement du second stage par M. Christophe Cudennec, chercheur hydrologue à l'Institut Agro à Rennes
- Visites de terrain, échanges avec les gestionnaires, analyse des fichiers de gestion des barrages, calculs d'indicateurs

4. Synthèse des principaux résultats

Méthode d'analyse

L'analyse des différentes retenues a permis de définir une méthode de travail standard afin de pouvoir évaluer les risques de défaillance d'une retenue utilisée pour l'AEP :

1. La collecte de données et la rencontre des gestionnaires du site
2. L'évaluation des débits entrants grâce à l'outil SIMFEN sur les 20 dernières années
3. L'évaluation des débits prélevés pour l'AEP par la meilleure base de données disponible : a minima, BNPE (données annuelles) ou bases hebdomadaires en général disponibles auprès des gestionnaires
4. L'évaluation du débit sortant en étiage, pris par défaut égal au débit réservé réglementaire. Le cas échéant, la « transparence » de l'ouvrage en étiage, prévue dans certains arrêtés d'autorisation, doit être prise en compte

5. Une estimation du bilan pluies-évaporation sur la retenue permet d'affiner sensiblement les calculs. Cette estimation peut être réalisée à partir de données disponibles sur le site Météo-France (précipitations et ETP-grille) et de la surface de la retenue, mesurée sur photo aérienne
6. La création d'un schéma simplifié de fonctionnement de la retenue est indispensable afin de reprendre l'ensemble de ces paramètres et de rendre compte des situations complexes (barrages ou prélèvements en cascade, site exact de mesure de débits réservés...)
7. Il est aussi nécessaire d'évaluer, au moins qualitativement, les possibilités de modification en période de crise de ces paramètres : dérogation aux débits réservés possibles ou non, possibilités de diminuer le prélèvement AEP grâce à des interconnexions

Indicateur retenu

L'indicateur le plus pertinent pour la gestion des retenues en période d'étiage prononcée est la « **durée d'autonomie théorique** ». Cette dernière correspond au nombre de jours pendant lequel la retenue peut assurer l'ensemble de ses fonctions, en mode normal ou dégradé, en cas d'année sèche :

Cet indicateur est calculé sur la base des prélèvements attendus et des débits entrants minimaux simulés par l'outil SIMFEN sur les 10 dernières années (« année la plus sèche »)

Cette durée théorique peut être calculée en début de période d'étiage, avec une retenue pleine (indicateur descriptif) ou bien en temps réel lors de l'étiage (indicateur dynamique)

Un outil simple de calcul permet d'évaluer l'incidence d'un changement d'un des paramètres de fonctionnement de la retenue.

Cet outil peut être utilisé pour une première évaluation de l'incidence de modifications attendues dans les années à venir : baisse des débits entrants en étiage, hausse de l'évaporation, besoins en eau potable en augmentation...

5. Suite à donner

A la suite de cette étude, des compléments pourraient être apportés afin d'améliorer la méthode de comparaison des risques de défaillance des retenues

- Étendre à d'autres retenues stratégiques pour la production d'eau potable
- Amélioration de l'ergonomie de l'outil de calcul (aujourd'hui un simple fichier excel)
- Représentation graphique à améliorer et automatiser
- Définition de seuils de risques acceptables
- Étude de la période de remplissage : Cette dernière est plus complexe car les débits sortants dépendent du rôle de la retenue vis-à-vis des crues et de la gestion des surverses

Partie 2 : tutoriel d'utilisation de l'outil de calcul d'autonomie des barrages

1. Objectifs de l'outil de calcul

Cet outil de calcul permet d'évaluer la durée d'autonomie théorique en période d'étiage d'une retenue d'eau utilisée pour l'AEP à partir de données simples d'exploitation et de données disponibles sur internet. En utilisant des hypothèses identiques, il permet de comparer entre elles les situations de plusieurs retenues.

Il permet également de tester l'incidence de différents paramètres sur cette date théorique d'autonomie :

- Variation des prélèvements à la baisse ou à la hausse
- Baisse attendue des débits entrants dans la retenue liée au changement climatique
- Année sèche exceptionnelle
- Dérogation au débit réservé
- Modification du volume du culot jugé inexploitable

2. Limites de l'outil de calcul

L'outil présente les limites suivantes :

- L'outil est valable uniquement en période d'étiage, fixée du 1^{er} juin au 31 décembre. Les calculs au-delà de fin novembre doit être pris avec précaution. Les débits entrants en décembre sont pris par défaut égaux aux débits du mois de novembre pour prendre en compte un étiage prolongé.
- L'outil ne prend en compte que le déstockage et pas les contraintes liées au remplissage (gestion de crues)
- Il doit être adapté aux fonctionnements complexes (barrages en cascade, débits réservés variables...)
- Les enjeux particuliers à certains doivent être prises en compte dans l'interprétation des résultats : à titre d'exemple, le niveau de risque n'est pas équivalent pour un barrage alimentant une production AEP pouvant être secourue via le réseau d'interconnexion et une production qui ne peut pas l'être.

3. Données d'entrée nécessaires

Données d'exploitation de l'ouvrage

- Volume actualisé dans la retenue
- Volume non exploitable (culot hydraulique)
- Débit réservé sur la période d'étiage
- Prélèvement moyen sur la période d'étiage dans ou en aval de la retenue/ du prélèvement
- Si possible : Evaluation de la surface du plan d'eau (à estimer par exemple sur geoportail)

Données climatiques et hydrologiques disponibles sur internet

- Débits 2000 – 2019 ou 2003-2022 au point de calcul du débit réservé / à obtenir sur **simfen**¹
- Si possible : P et ETP journaliers sur la période étudiée à récupérer sur les sites Météo France

4. Méthodologie de calcul

Le fichier de calcul reconstitue le fonctionnement théorique de la retenue en année très sèche à partir des hypothèses suivantes :

- Année de référence : année pour laquelle les écoulements calculés via SIMFEN ont été les plus faibles entre mai et novembre lors des 20 dernières années (2000- 2019 dans les résultats fournis)
- Apports journaliers en amont du prélèvement « Q_entrants » : débits théoriques journaliers d'année sèche fournis par SIMFEN à hauteur du prélèvement, sur l'année de référence. En cas de prélèvement en aval d'un barrage, le débit correspond à un débit théorique non influencé par la présence de la retenue ;
- Débits sortants en aval du prélèvement « Q_sortants » : débit réservé indiqué sur la toute la durée de l'étiage
- Bilan évaporatoire sur la retenue « E_nettes » : bilan à partir des données journalières sur l'année de référence :
 - [Bilan évaporation = (ETP-P) x surface moyenne du plan d'eau]
- Calcul du volume résiduel dans la retenue « V_retenue » : le volume dans la retenue est calculé chaque jour par la formule suivante :
 - [V_retenue(jour n+1) = V_retenue(jour n) +Q_entrant - Q_sortant - E_nettes]

5. Résultats

Le fichier de calcul fournit :

- La date théorique à laquelle le barrage aura atteint son culot hydraulique (jusqu'au 31/12 de l'année en cours)
- La réserve théorique au 30/11, exprimée en nombre de jours d'autonomie
- Des facteurs pouvant nuancer les résultats :
 - Des facteurs explicatifs à remplir manuellement
 - La répartition des volumes disponibles selon leur origine, jusqu'à la date de défaillance du barrage
 - La répartition des différents volumes sortants, jusqu'à la date de défaillance du barrage

¹ L'outil SIMFEN, développé par le monde de la recherche scientifique bretonne et disponible sur internet permet de reconstituer des débits théoriques en tout point du réseau hydrographique breton, sur la base des stations hydrométriques existantes et sur une durée pouvant être adaptée aux besoins de l'étude

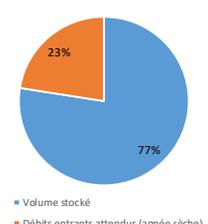
Exemple de résultats : le barrage de la Valière à Vitré

En cas d'année très sèche, si le barrage de la Valière contient 4 millions de m³ au 1er juin (donnée de remplissage fictive) et que le prélèvement moyen pour l'AEP est de 15 000 m³/j :

- ⇒ La date théorique de défaillance est évaluée au 19 novembre
- ⇒ Le volume stocké dans la retenue représente 77% des volumes disponibles sur la période d'été → faible apport du bassin versant
- ⇒ Les prélèvements pour l'eau potable représentent 73% des volume utilisés → faible incidence des débits réservés

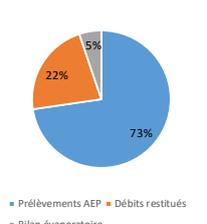
Calculs théoriques d'autonomie des barrages			Autres Facteurs à prendre en compte	
en jaune: à renseigner		NOM DU BARRAGE : Valière		
date disponibilité données		01-juin		
Volume d'eau dans la retenue actualisé	Mm ³	4,0	Facteurs pouvant aggraver la situation	EXEMPLE: - Secteur non secourable en totalité - Risques de reports de consommations (arrêt forages industriels et AEP, export vers voisins)
Culot inexploitable	Mm ³	1,0		
Surface moyenne du plan d'eau	m ²	900000	Facteurs d'adaptation en période de crise (gestion dégradée)	EXEMPLE - Prélèvements en dessous du culot théorique
Débit sortant théorique sur la période d'été (debit réservé)	m ³ /s	0,053		
Marge liée aux incertitudes de calcul	%	10%		
Baisse des débits attendus / situation de référence (changement climatique)	%	0%		
Prélèvements en fonctionnement optimisé	m ³ /j	15000		
Année de référence	date	2011		
Date de vidange théorique	date	19/11		
Nombre de jours restant	jours	171		
Réserve théorique au 30/11	jours	-11		

Origine des volumes disponibles



■ Volume stocké
■ Débits entrants attendus (année sèche)

Répartition des volumes sortants

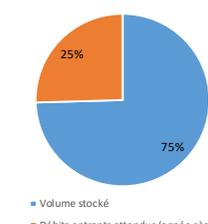


■ Prélèvements AEP ■ Débits restitués
■ Bilan évaporatoire

- ⇒ Si le prélèvement moyen pour l'AEP peut être réduit à 12 500 m³/j, alors la date théorique de faillance est décalée au 27 décembre

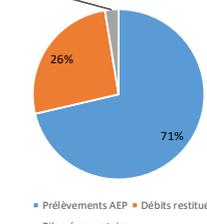
Calculs théoriques d'autonomie des retenues			Autres Facteurs à prendre en compte	
en jaune: à renseigner		BARRAGE : Valière		
date disponibilité données		01-juin		
Volume d'eau dans la retenue actualisé	Mm ³	4,0	Facteurs pouvant aggraver la situation	EXEMPLE: - Secteur non secourable en totalité - Risques de reports de consommations (arrêt forages industriels et AEP, export vers voisins)
Culot inexploitable	Mm ³	1,0		
Surface moyenne du plan d'eau	m ²	900 000	Facteurs d'adaptation en période de crise (gestion dégradée)	EXEMPLE - Prélèvements en dessous du culot théorique
Débit sortant théorique sur la période d'été (debit réservé)	m ³ /s	0,053		
Marge liée aux incertitudes de calcul	%	10%		
Baisse des débits attendus / situation de référence (changement climatique)	%	0%		
Prélèvements en fonctionnement optimisé	m ³ /j	12 500		
Année de référence	date	2011		
Date de vidange théorique	date	27/12		
Nombre de jours restant	jours	209		
Réserve théorique au 30/11	jours	21		

Origine des volumes disponibles



■ Volume stocké
■ Débits entrants attendus (année sèche)

Répartition des volumes sortants



■ Prélèvements AEP ■ Débits restitués
■ Bilan évaporatoire

Exemple de résultats : le barrage de la Haute Vilaine à Vitré

En cas d'année très sèche, si le barrage de Haute Vilaine contient 6,4 millions de m³ au 1^{er} juin (niveau maximal), avec un débit réservé réglementaire de 450 L/s en aval de la prise d'eau et un prélèvement AEP de 10 000 m³/j :

- ⇒ La date théorique de défaillance de la retenue est évaluée au 30 septembre.
- ⇒ Le volume stocké dans la retenue représente 84% des volumes disponibles sur la période d'étiage → faible apport du bassin versant
- ⇒ Les débits restitués au cours d'eau représentent 77 % des volume utilisés → faible incidence des prélèvements AEP

Calculs théoriques d'autonomie des barrages			Autres Facteurs à prendre en compte		
en jaune: à renseigner		BARRAGE : Haute Vilaine			
date disponibilité données		01-juin			
Volume d'eau dans la retenue actualisé	Mm3	6,4		Facteurs pouvant aggraver la situation	EXEMPLE: - Secteur non secourable en totalité - Risques de reports de consommations (arrêt forages industriels et AEP, export vers voisins)
Culot inexploitable	Mm3	0,8			
Surface moyenne du plan d'eau	m ²	960000		Facteurs d'adaptation en période de crise (gestion dégradée)	EXEMPLE - Baisse du débit de soutien d'étiage
Débit sortant théorique sur la période d'étiage (debit réservé)	m3/s	0,45			
Marge liée aux incertitudes de calcul	%	10%			
Baisse des débits attendus / situation de référence (changement climatique)	%	0%			
Prélèvements en fonctionnement optimisé	m3/j	10000			
Année de référence	date	2011			
Date de vidange théorique	date	30/9			
Nombre de jours restant	jours	121			
Réserve théorique au 30/11	jours	-59			

Origine des volumes disponibles

Répartition des volumes sortants

- ⇒ Si le débit réservé est abaissé à 350 L/s dès le 1^{er} juin, la date théorique de défaillance est décalée au 12 novembre.

Calculs théoriques d'autonomie des barrages			Autres Facteurs à prendre en compte		
en jaune: à renseigner		BARRAGE : Haute Vilaine			
date disponibilité données		01-juin			
Volume d'eau dans la retenue actualisé	Mm3	6,4		Facteurs pouvant aggraver la situation	EXEMPLE: - Secteur non secourable en totalité - Risques de reports de consommations (arrêt forages industriels et AEP, export vers voisins)
Culot inexploitable	Mm3	0,8			
Surface moyenne du plan d'eau	m ²	960000		Facteurs d'adaptation en période de crise (gestion dégradée)	EXEMPLE - Baisse du débit de soutien d'étiage
Débit sortant théorique sur la période d'étiage (debit réservé)	m3/s	0,35			
Marge liée aux incertitudes de calcul	%	10%			
Baisse des débits attendus / situation de référence (changement climatique)	%	0%			
Prélèvements en fonctionnement optimisé	m3/j	10000			
Année de référence	date	2011			
Date de vidange théorique	date	12/11			
Nombre de jours restant	jours	164			
Réserve théorique au 30/11	jours	-22			

Origine des volumes disponibles

Répartition des volumes sortants

ANNEXE 1 : Schémas simplifiés de fonctionnement de retenues (exemples)

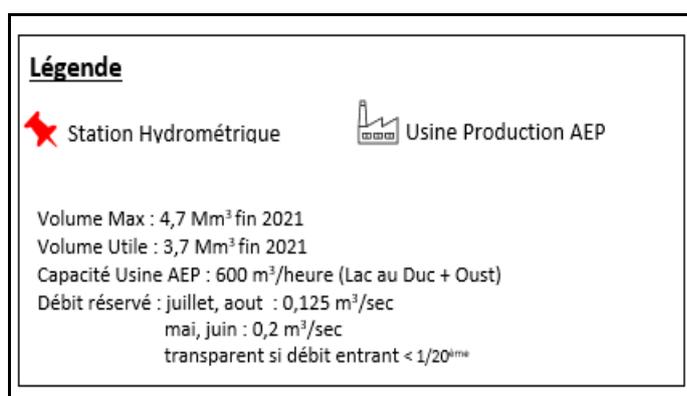
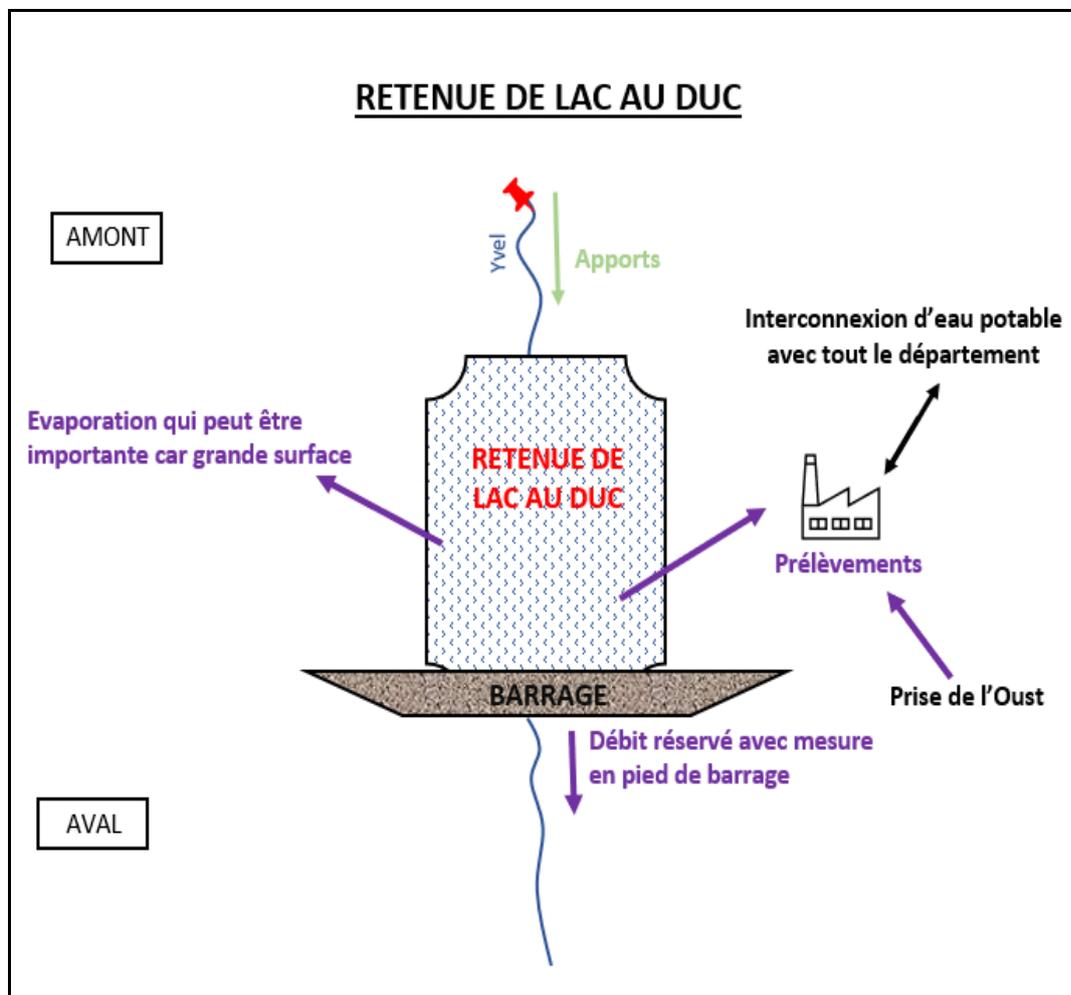


Schéma de fonctionnement de retenue (cas simple)

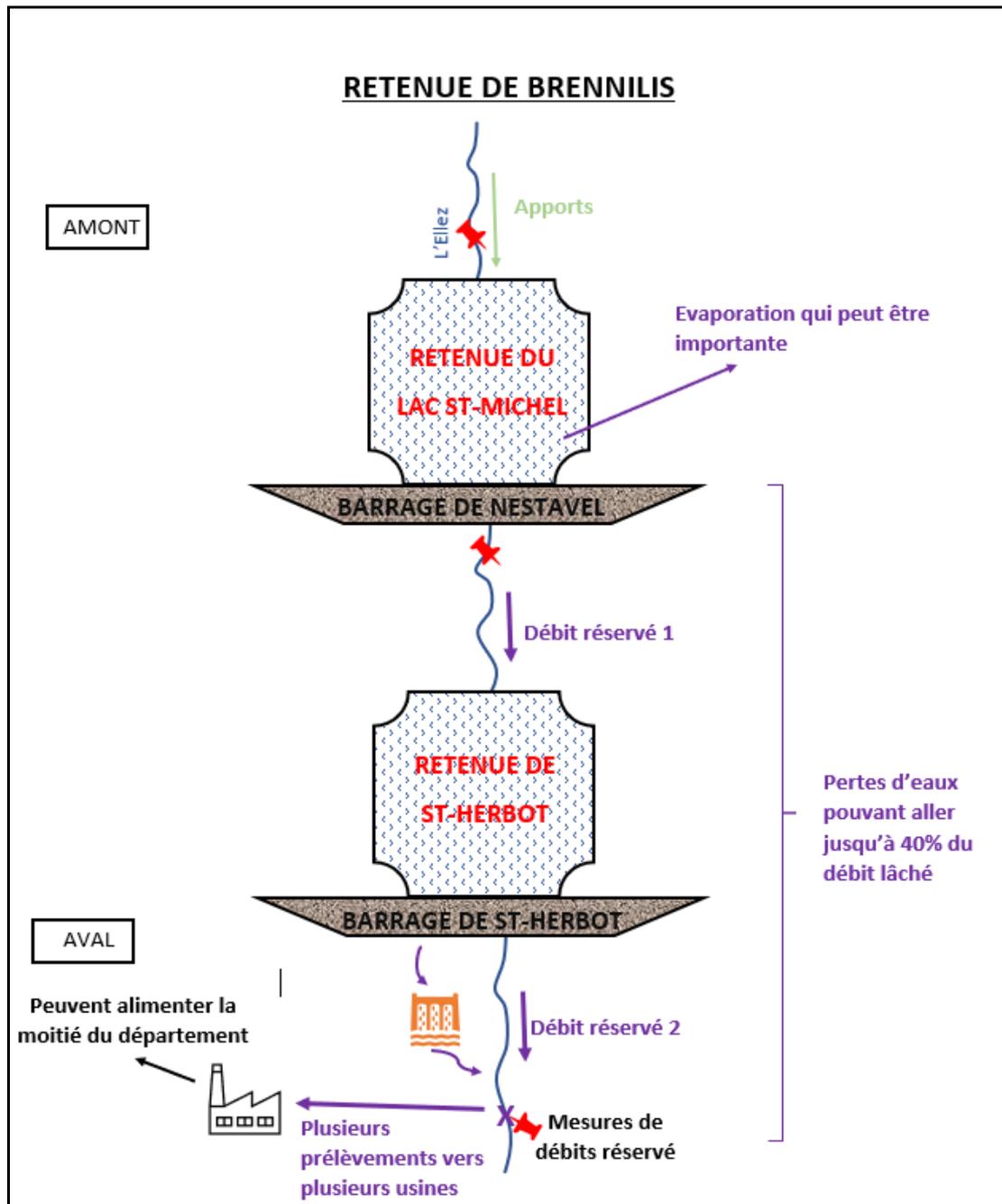


Schéma de fonctionnement de retenue (cas complexe)

ANNEXE 2 : Mode d'emploi fichier de calcul

Mode d'emploi du fichier

- Onglet IMPORT_SIMFEN : Importer et coller les données de débit au point de calcul du débit réservé en m³/s (SIMFEN) sur 20 ans dans les colonnes A et B. Attention au format de nombre (séparateur virgule) et ne pas modifier les noms de colonnes. La durée doit être de 20 ans.
- Onglet IMPORT_ETP : Importer les données journalières P, ETP représentatives du secteur (attention au format)
- Onglet BILAN_DEBITS Actualiser le tableau croisé dynamique
- Onglet PARAMETRES : Renseigner les champs en jaune dans l'onglet « paramètres »
- Onglet mot de passe : Certaines cellules sont protégées par mot de passe, indiqué dans cet onglet

ANNEXE 3 : Rapport de stage sur l'établissement d'indicateurs de risque pour les retenues (Damien Doyonnard, SMG-Eau35, 2021)

ANNEXE 4 : Rapport de stage sur l'amélioration des indicateurs de risque pour les retenues (Houa Bedjil, SMG-Eau35, 2022)