

Gestion des eaux pluviales sur le bassin de l'Artus – Analyse du fonctionnement et préconisations pour la surveillance du bassin B6

Rapport d'étude



Rapport n°109762/Rapport d'étude/vC – 13 Octobre 2021

Projet suivi par Cécile AVESQUE – 07.88.84.99.33 – cecile.avesque@anteagroup.fr

Fiche signalétique

Gestion des eaux pluviales sur le bassin de l'Artus – Analyse du fonctionnement et préconisations pour la surveillance du bassin B6

CLIENT

BRGM - DPSM
DPSM/UTAM SUD
Pôle d'Activités Y.Morandat
1480 avenue d'Arménie
13 120 Gardanne
Aurélié LABASTIE
06 33.54.36.83

RAPPORT D'ANTEA GROUP

Responsable du projet	Cécile AVESQUE
Interlocuteur commercial	Cécile AVESQUE
	Implantation de Pérols
Implantation chargée du suivi du projet	04.67.64.93.39 secretariat.montpellier-fr@anteagroup.com

Rapport n°	109762
Version n°	Rapport d'étude
Votre commande et date	Contrat n°236038 du 5 février 2021
Projet n°	LROP200335

	Nom	Fonction	Date
Rédaction	Robin DOMINGUES	Ingénieur d'étude	Octobre 2021
Approbation	Lise MOUCHE	Chef de Projet	Octobre 2021

Suivi des modifications

Indice Version	Date de révision	Nombre de pages	Nombre d'annexes	Objet des modifications
A	22 Mars 2021	28 pages		
B	28 Septembre 2021			
C	13 Octobre 2021			

Sommaire

Introduction et objectifs de l'étude.....	5
1. Description du fonctionnement hydraulique du site.....	6
1.1. Historique et exploitation du site – fonctionnement du site de sa création jusqu'à la fin de la période d'exploitation des mines.....	6
1.2. Fonctionnement actuel de la zone d'étude.....	7
1.2.1. Caractéristiques hydrologiques de la zone d'étude et réseau hydrographique présents sur le site de l'Artus.....	7
1.2.2. Bassins de collecte (bassin 1 à 6).....	14
1.2.3. Fonctionnement du réseau de collecte des eaux souterraines.....	15
2. Analyse quantitative du fonctionnement.....	18
2.1. Débits souterrains.....	18
2.1.1. Drains de collecte	18
2.1.2. Penstocks.....	18
2.1.3. Conclusions.....	19
2.2. Débits générés par ruissellements sur les sous bassins versants de l'Artus	20
2.3. Calcul de la capacité d'écoulement des fossés de collecte et vérification du fonctionnement	24
2.4. Vérification de la capacité de stockage des bassins de rétention de l'Artus pour une pluie journalière centennale	28
2.5. Retour d'expérience : épisode du 11 mai 2020.....	30
2.6. Axes d'amélioration pour la gestion des eaux pluviales	30
3. Conclusions.....	32

Table des figures

Figure 1 - Présentation du site de l'Artus	5
Figure 2 - Dispositifs de drainage et de collecte des eaux de stockage de l'Artus (source : BRGM)	7
Figure 3 - Système de récupération des eaux au niveau des pistes d'accès	8
Figure 4 – Canalisation reliant les bassins entre eux (sur la photo canalisation reliant le bassin n°4 au bassin n°5)	9
Figure 5 - Cartographie du fonctionnement hydraulique du bassin de l'Artus	10
Figure 6 - Fossés de collecte des eaux pluviales	11
Figure 7 - Schéma de localisation des fossés et axes principaux d'écoulements sur le bassin de l'Artus	12
Figure 8 - Carte de la pluie journalière centennale simplifiée en 5 classes (source : Méthodologie pour la détermination des débits de crue de période de retour 100 ans dans le département de l'Aude, 2020)	13
Figure 9 - Cartographie des impluviums des bassins de collecte	15
Figure 10 – Vue de la sortie drain colature nord dans le bassin n°1	16
Figure 11 – Vue de la sortie des penstocks dans le bassin n°6	16

Figure 12 - Localisation des différents drains/penstocks	17
Figure 13 - Coefficient de ruissellement en fonction de la nature et de la pente des sols (SETRA,2006)	20
Figure 14 - Paramètres de rétention initiale (source : méthode Audoise, 2020)	22
Figure 15 – Levé topographique réalisé au droit de l'ouvrage de décantation au droit du fossé BV2 (source : TOPO & DAO)	26
Figure 16 - Schéma de fonctionnement - ouvrage de décantation	27

Table des tableaux

Tableau 1 - Coefficients de Montana pour la station pluviométrique de Carcassonne (source : Météo France)	13
Tableau 2 - Caractéristiques des bassins de collecte	14
Tableau 3 - Débits mesurés aux drains pour les différents épisodes pluvieux	18
Tableau 4 - Débits mesurés aux penstocks pour les différents épisodes pluvieux	19
Tableau 5 - Caractéristiques hydrologiques des sous-bassins versants	20
Tableau 6 - Comparaison des deux méthodes de détermination des coefficients de ruissellement	22
Tableau 7 - Vitesses moyenne de transfert des eaux pour chaque sous bassin versant	23
Tableau 8 - Débits centennaux estimés pour chaque sous bassin versant	23
Tableau 9 - Caractéristiques hydrauliques des fossés de collecte d'eaux pluviales	24
Tableau 10 - Volumes générés par un épisode centennal (impluvium seul)	28

Introduction et objectifs de l'étude

L'exploitation industrielle des mines de Salsigne a débuté au début du siècle dernier. Les usines de traitement du minerai se sont implantées historiquement sur les lieux d'extraction et se sont regroupées par la suite sur le site de la Combe du Saut.

Le stockage de l'Artus, plus communément appelé Bassin ou Site de l'Artus et dont le périmètre est indiqué en marron sur la carte ci-dessous, a permis de stocker les résidus de traitement à partir de 1987 et jusqu'à la fin de l'exploitation de la mine en 2004. Les dépôts ont été élevés progressivement au fil des années créant un remblai de plusieurs mètres de hauteur.

A la création du site, un système de drainage a été mis en place pour collecter les eaux de ressuyage. Les eaux sont orientées vers les bassins d'évaporation disposés en série (bassin n°1 à 6). Le bassin n°6 reçoit, en sus des eaux arrivant par le bassin n°5, les eaux d'infiltration des penstocks, ces eaux sont considérées comme polluées par les résidus de minerai. L'implantation des bassins est présentée en Figure 1.

En mai 2020, une pluie importante (120 mm sur 24 h) a causé une montée du niveau d'eau dans le bassin n°6 et provoqué un débordement accidentel vers le cours d'eau de l'Orbiel, exutoire naturel de la zone. Les eaux du bassin n°6, dans son fonctionnement normal, sont renvoyées vers la station de dépollution en rive droite de l'Orbiel et sont traités avant rejet vers le milieu naturel.

La présente étude vise à présenter et analyser le fonctionnement hydraulique du site dans la configuration actuelle pour définir les moyens à mettre en place sur le site des bassins de l'Artus dans le but d'éviter tout débordement des bassins de collecte dans l'Orbiel.

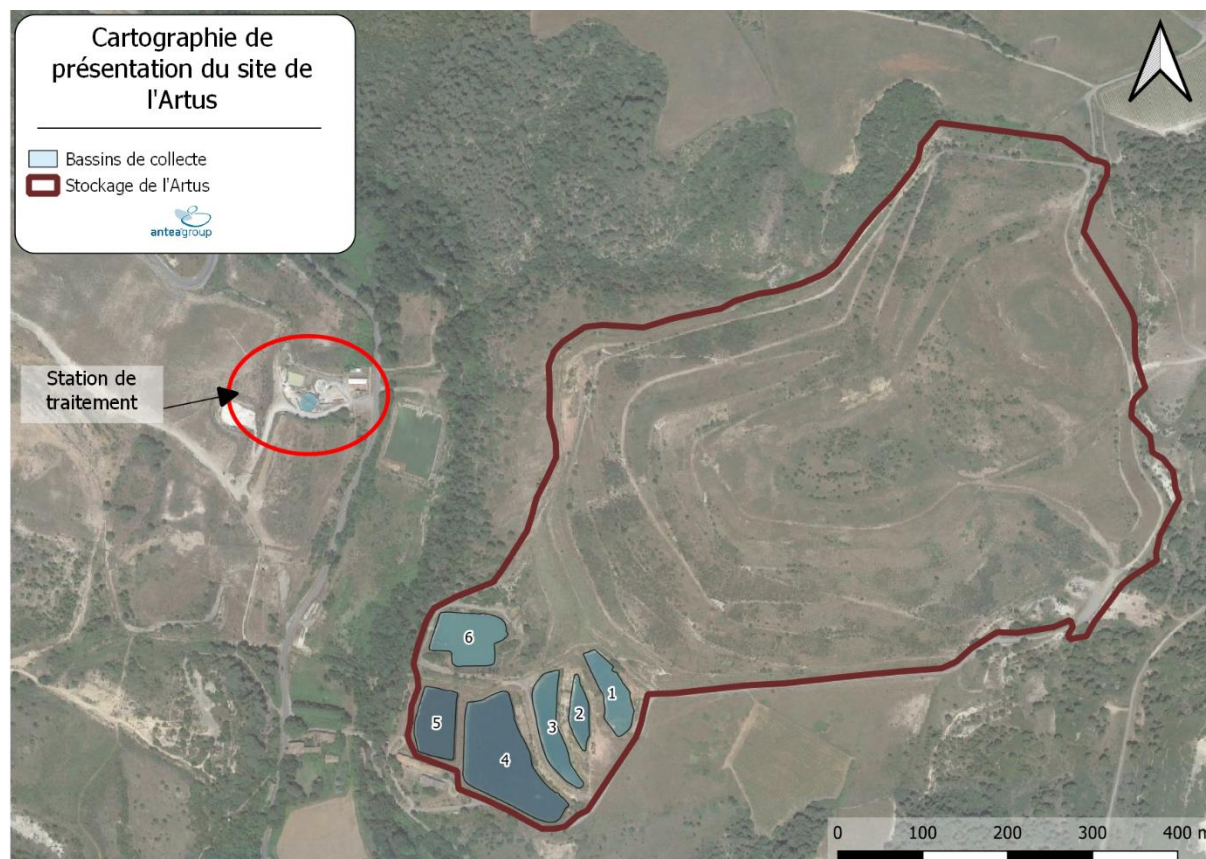


Figure 1 - Présentation du site de l'Artus

1. Description du fonctionnement hydraulique du site

1.1. Historique et exploitation du site – fonctionnement du site de sa création jusqu'à la fin de la période d'exploitation des mines

Ce paragraphe est grandement inspiré des données transmises par le BRGM concernant le fonctionnement hydrogéologique du stockage par le BRGM. Cet historique est nécessaire afin de comprendre le fonctionnement du bassin, et plus particulièrement des écoulements internes au site qui sont à l'œuvre lors d'épisodes pluvieux.

L'exploitation industrielle des mines de Salsigne ont perduré durant 90 ans, jusqu'en 2004. Au cours de cette période, plusieurs usines de traitement du minerai se sont implantées sur le site. En 1987, le bassin de l'Artus a été créé. Il est composé de deux aires de stockage représentant un volume de 7 millions de m³. Ces deux unités sont séparées par une digue de retenue afin de maintenir les matériaux enfouis. Les bassins ont été érigés progressivement par méthode de cyclonage de résidus apportés par voie hydraulique depuis l'usine de l'Artus. Lors de leur recouvrement fin 2004, six bassins localisés dans la Figure 1 ont été creusés. Une seconde digue de retenue a également mis en place en amont de ses bassins, délimitant l'aire de stockage des dits-bassins.

Le bassin de l'Artus possède un dispositif de drainage et de collecte des eaux de la zone de stockage composé :

- De canalisations de collecte des eaux internes du stockage. Ces canalisations récupèrent, par l'intermédiaire de deux dispositifs les eaux drainées par le site :
 - Des tapis drainants captant les eaux souterraines ainsi que des drains de collecte récupérant les eaux captées par les tapis drainants permettant de récupérer les eaux piégées dans la porosité des matériaux de la zone de stockage.
 - Des penstocks drainant les eaux polluées du site. Ceux-ci étaient composés de puisards et de drains. Les puisards ne sont plus visibles à l'heure actuelle, seules les sorties des drains au droit du bassin n°6 sont détectables. La topographie du site, en cuvette au niveau du dôme, laisse supposer que les penstocks en place dans cette zone reçoivent toujours des eaux météoriques par infiltration, puisque les eaux précipitées ont tendance à s'y accumuler.
- De fossés de collecte des eaux de surfaces. Celles-ci sont redirigées par ruissellement vers le milieu naturel (Orbiel) ;
- De digues de pieds délimitant les deux aires de stockage entre elles et faisant également office de barrière entre les aires de stockage et le reste du bassin. A noter qu'à l'heure actuelle les digues de retenue de la carte ci-dessous ne sont plus visibles.

L'ensemble de ces dispositifs représente un véritable système hydrographique à part entière pour la zone d'étude. La figure ci-dessous illustre le fonctionnement global du bassin de l'Artus lors de sa création.

Dispositifs de drainage et de collecte des eaux de stockage de l'Artus

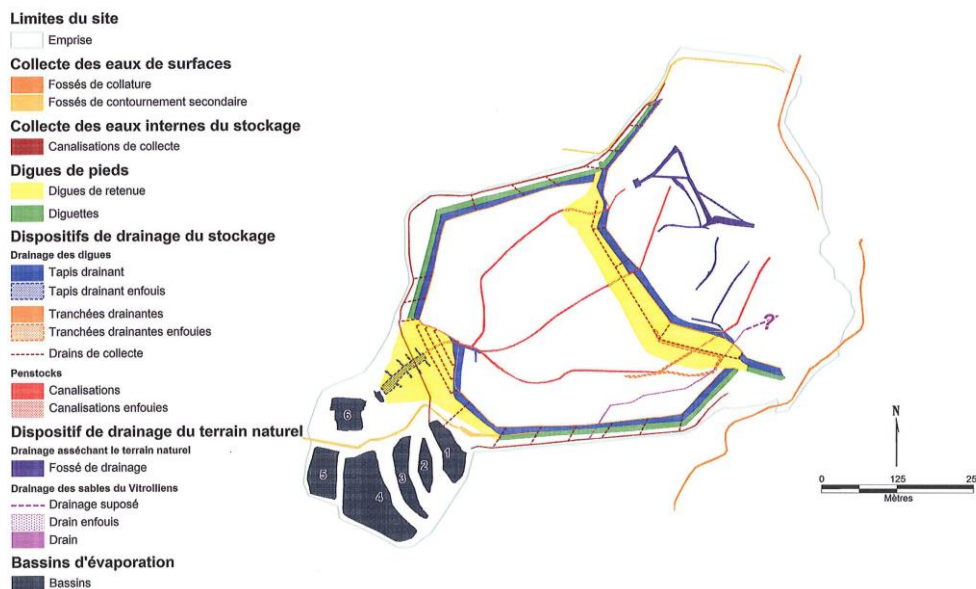


Illustration 9 Vue cartographique des dispositifs de drainage (document basé sur un plan de MCPC mai 1988)

37

Figure 2 - Dispositifs de drainage et de collecte des eaux de stockage de l'Artus (source : BRGM)

1.2. Fonctionnement actuel de la zone d'étude

1.2.1. Caractéristiques hydrologiques de la zone d'étude et réseau hydrographique présents sur le site de l'Artus

Le bassin de l'Artus possède une altimétrie comprise entre 160 mNGF et 250 mNGF environ, et draine une superficie approximative de 40 hectares.

Une visite de terrain a été réalisée le 15 février 2021 afin de mieux comprendre le fonctionnement global du site d'étude. Les informations récoltées sur terrain, mises en relation avec les données existantes (données transmises concernant le fonctionnement hydrogéologique du stockage) ont permis de mettre en évidence des axes d'écoulement de surface.

Le bassin de l'Artus est découpé en 4 sous bassins-versants, fonctionnant chacun de la façon suivante :

- **Sous bassin n°1 (BV1)** : de par sa topographie en cuvette, il permet le stockage et l'infiltration d'une partie des eaux météoriques qu'il reçoit. Sans données topographiques précises ni de test de perméabilité des terrains, il a été retenu, dans une approche sécuritaire, que les eaux sur ce bassin sont recueillies également par les bassins n°2 (BV2) et n°4 (BV4). En effet, concrètement une partie s'infiltré en direction des penstocks.
- **Sous- bassin n°2 (BV2)** : il collecte son propre impluvium, c'est-à-dire sa propre surface, auquel s'ajoute la moitié de l'impluvium du BV1 (voir hypothèse ci-dessus). Les écoulements ruissellent le long des pistes d'accès (cf. Figure 3), une partie les eaux s'infiltré via la tranchée localisée au sud du sous-bassin versant. L'autre partie des eaux ruisselle jusqu'au fossé périphérique sud et est dirigée vers l'ouvrage de décantation sud. Les eaux sont ensuite acheminées vers l'Orbiel par l'intermédiaire d'un fossé central (en aplat vert sur la Figure 5),

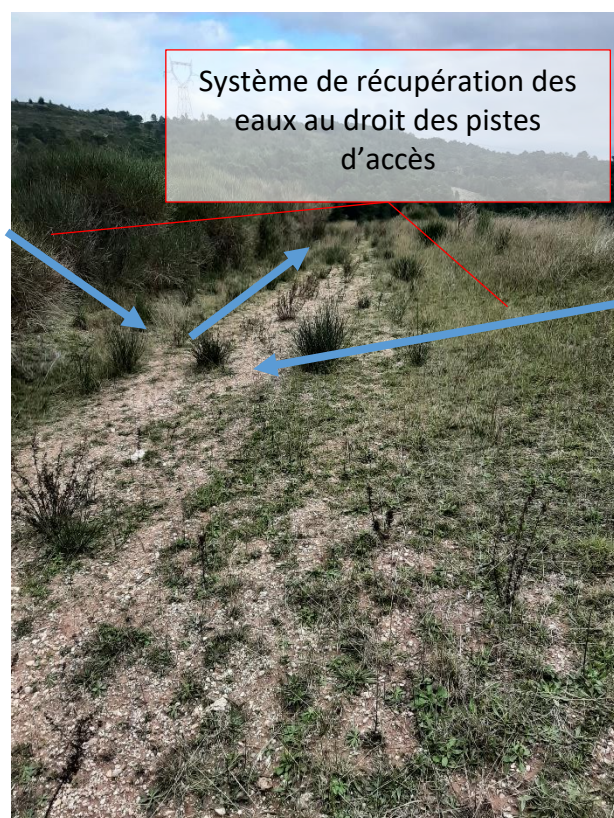


Figure 3 - Système de récupération des eaux au niveau des pistes d'accès

- Sous-bassin n°3 (BV3) : il collecte son propre impluvium uniquement, et possède un fonctionnement similaire au BV2.
- Sous-bassin n°4 (BV4) : il collecte son propre impluvium auquel s'ajoute l'autre moitié de l'impluvium du BV1. Son fonctionnement est similaire au fonctionnement du BV2. Les écoulements transitent jusqu'à l'ouvrage de décantation nord (en rouge sur la figure), puis sont directement redirigés vers le milieu naturel par l'intermédiaire d'un fossé périphérique nord. Un fossé relié à l'ouvrage de décantation nord permet l'évacuation la vidange de celui-ci vers le milieu naturel.
- Les bassins de stockage 1-2-3-4-5 collectent leur propre surface. Le bassin n°1 reçoit les eaux des drains de collecte, décrit au paragraphe 1.2.3. Les bassins 1 à 5 fonctionnent par trop-pleins successifs. Une canalisation PVC de petit diamètre (250mm environ) relie les bassins entre eux (cf. Figure 4). **Celles-ci présentaient un léger écoulement lors de la visite du 15 février 2021.**



Figure 4 – Canalisation reliant les bassins entre eux (sur la photo canalisation reliant le bassin n°4 au bassin n°5)

La présence d'un fossé au droit de l'ouvrage de décantation nord (cf. Figure 5) est à noter. Celui-ci permet l'évacuation des eaux transitant au sein de l'ouvrage, et se rejette directement dans le milieu naturel (hors site de stockage).

Ces informations figurent sur la cartographie exposée en page suivante.

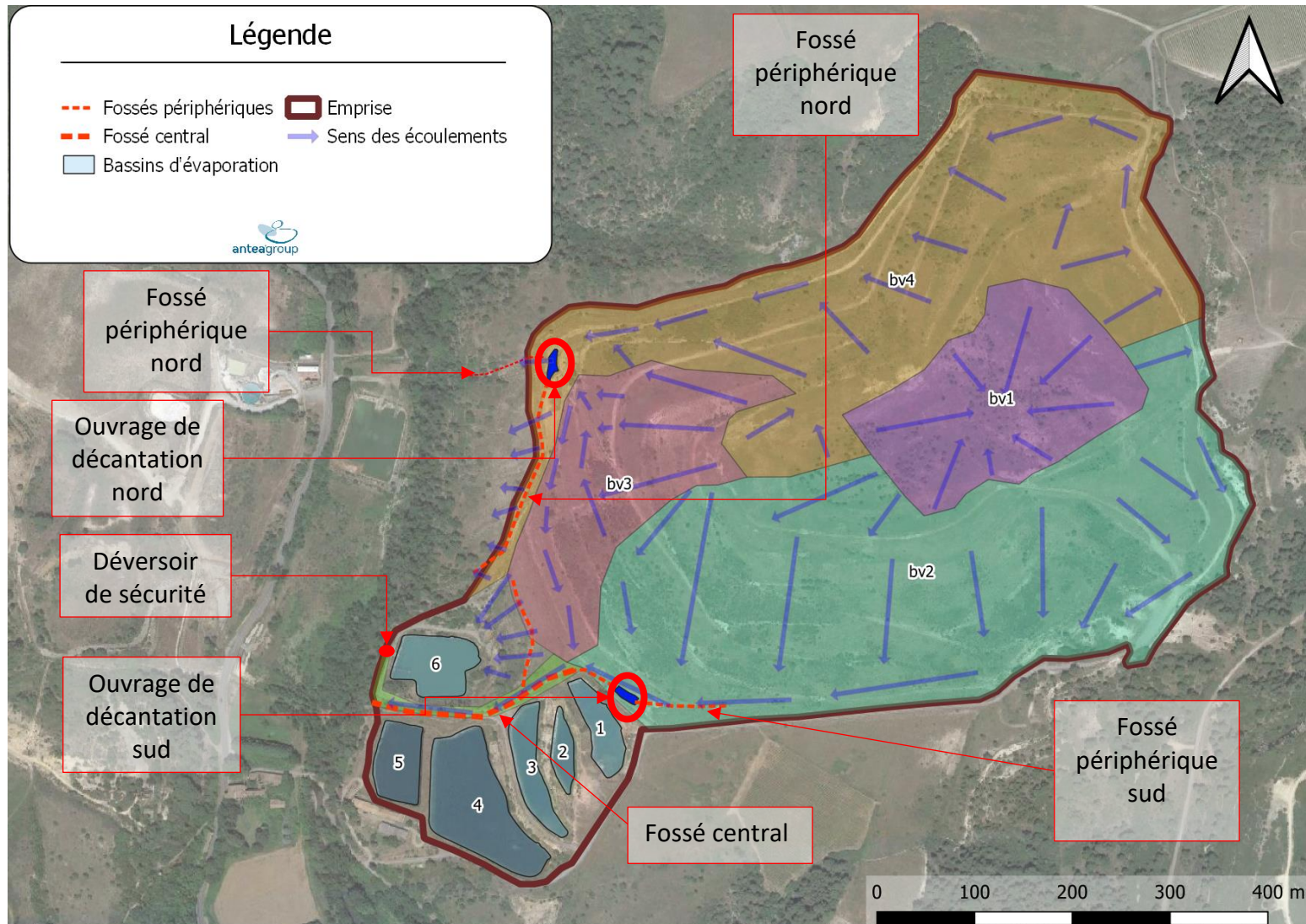


Figure 5 - Cartographie du fonctionnement hydraulique du bassin de l'Artus

En résumé, sur la zone de l'Artus, la part des eaux météoriques qui ruisselle :

- S'écoule en suivant la configuration des chemins d'accès (cf. Figure 3) qui crée des axes d'écoulements. La topographie y est telle que ces chemins font office de cunette qui canalisent les ruissellements superficiels.
- Est collectée par l'intermédiaire de fossés périphériques au pied du remblais de la zone de stockage et dirigée directement vers le milieu naturel (voir Figure 6).

Une vue schématique de la position des fossés et de la localisation des talwegs est montrée en Figure 7.



Figure 6 - Fossés de collecte des eaux pluviales

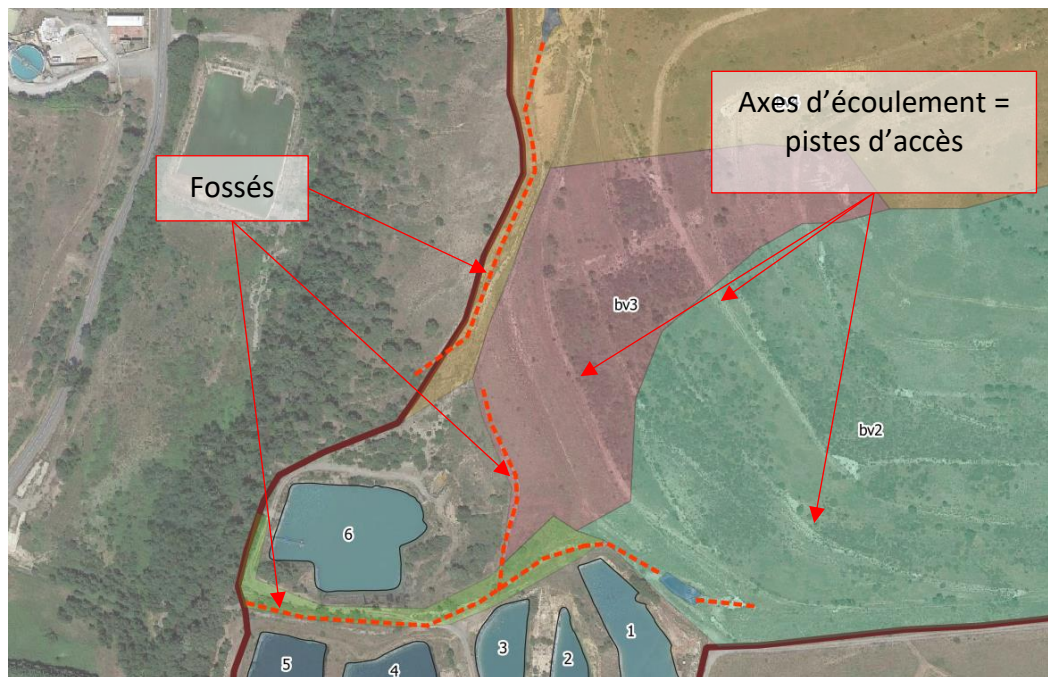


Figure 7 - Schéma de localisation des fossés et axes principaux d'écoulements sur le bassin de l'Artus

1.2.1.1. Bassin de collecte n°6

Le bassin n°6 est le bassin historique de l'Artus. Il récupère les débits des penstocks, en plus de son propre impluvium et des eaux provenant du bassin n°5. Les eaux captées par ce bassin sont ensuite pompées, le débit de pompage étant de l'ordre de 20 m³/h. en direction de la station de dépollution localisée en rive droite de l'Orbiel pour être traitées, puis rejetées dans le milieu naturel. Le bassin dispose d'un déversoir de sécurité superficiel en béton à la cote 161,88 m NGF.

Ce bassin ne présente pas de complexe d'étanchéité de type géomembrane.

1.2.1.2. Contexte climatique

Le bassin de l'Artus est localisé sur le site de la Combe du Saut, dans la commune de Limousis au nord de Carcassonne. Ce secteur est à la fois soumis au climat océanique et méditerranéen, et donc soumis à une pluviométrie moyenne relativement faible mais ne reflétant que la tendance générale du climat : les épisodes pluvieux y sont peu fréquents mais parfois exceptionnels.

1.2.1.3. Pluviométrie

La pluviométrie considérée s'appuie sur les mesures réalisées à la station Météo-France de Carcassonne (11), située à 10 km au sud de la zone de projet.

Dans le cadre de ce projet, Antea Group a acquis les quantiles statistiques de pluie actualisés à la station de Carcassonne. Ces données ont été calculées sur une période d'observation de 1984 à 2018. Les grandeurs retenues au droit du site sont les suivantes pour la pluie décennale (pour $h = a \cdot t^{(1-b)}$ avec h exprimé en mm et t en minutes).

Tableau 1 - Coefficients de Montana pour la station pluviométrique de Carcassonne (source : Météo France)

Période de retour	Coefficients de Montana	
	a	b
5 ans	6.482	0.649
10 ans	7.62	0.637
20 ans	8.624	0.623
30 ans	9.162	0.614
50 ans	9.818	0.602

Les coefficients de Montana ne sont cependant pas disponibles pour une période de retour 100 ans.

Suite aux crues récentes survenues dans le département de l'Aude, la DDTM a organisé la mise à jour de la Méthodologie pour la détermination des débits de crue de période de retour 100 ans dans le département de l'Aude, initialement parue en 2001. Celle-ci donne des coefficients de Montana pour une période de retour 100 ans ainsi qu'une valeur de pluie journalière centennale.

Par application de la cette méthode, les paramètres suivants ont été retenus :

- Les coefficients sont les suivants ($h=a*t^{(1-b)}$ avec h en mm et t en heures) :
 $a = 69,72$ $b = 0.566$
- La pluie centennale sur la zone d'étude est égale à 250 mm (277 mm en appliquant les coefficients de Montana).

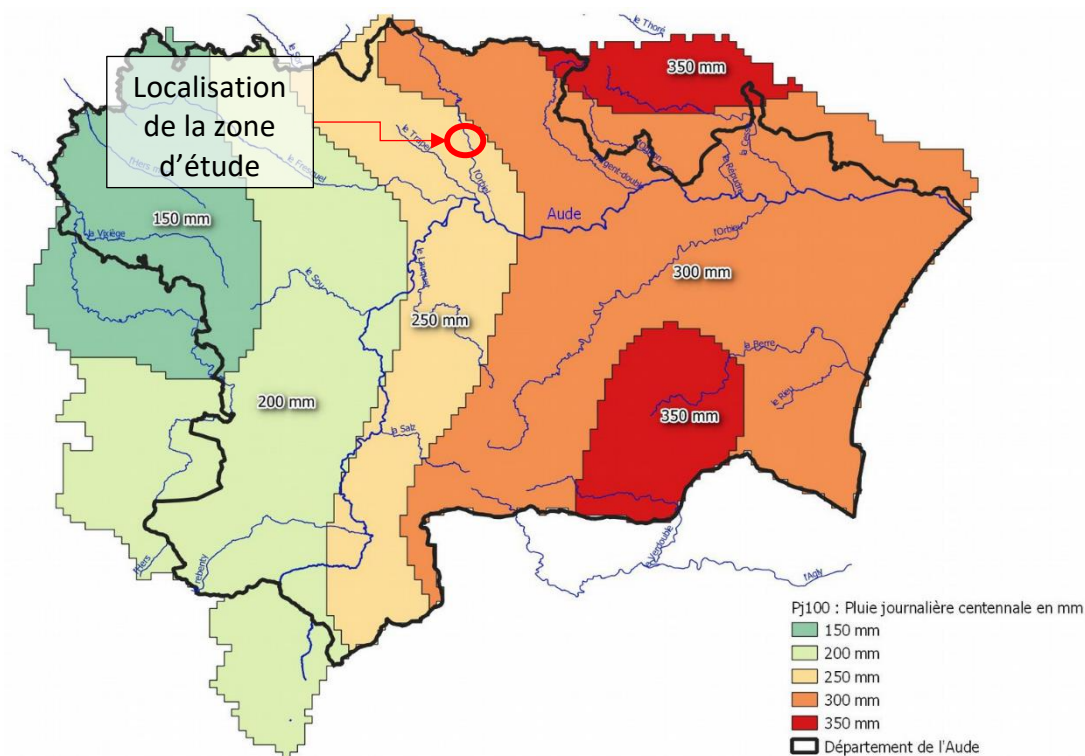


Figure 8 - Carte de la pluie journalière centennale simplifiée en 5 classes (source : Méthodologie pour la détermination des débits de crue de période de retour 100 ans dans le département de l'Aude, 2020)

Cette méthode, dite « méthode Audoise », est un document de référence dans le département de l'Aude pour le calcul des débits engendrés pour une pluie de période de retour 100 ans. Ce document fait donc foi pour le dimensionnement des fossés pluviaux et la détermination de la capacité des bassins de collecte.

1.2.2. Bassins de collecte (bassin 1 à 6)

Pour rappel ces bassins ont été creusés afin de permettre l'évaporation des eaux internes collectées. En outre, les matériaux extraits ont permis la couverture du site lors de l'arrêt de l'exploitation.

Lors de la visite de terrain réalisée le 15 février 2021 une estimation des volumes des bassins de collecte a été réalisée à l'aide d'une mire, au bord des chemin d'accès. Cette méthode est approximative et paraît sous-estimer le volume des bassins. La revanche a également été mesurée : elle correspond au volume disponible entre le niveau d'eau du bassin lors de la visite et la hauteur du terrain naturel avant débordement.

Les impluviums des bassins de collecte sont renseignés sur la Figure 9.

Ces données sont synthétisées dans le Tableau 2.

Tableau 2 - Caractéristiques des bassins de collecte

	Bassin n°1	Bassin n°2	Bassin n°3	Bassin n°4	Bassin n°5	Bassin n°6
Impluvium considéré (m²)	6'290	4'940	6'850	13'570	7'030	13'810
Hauteur d'eau au 15/02/2021 (m)	1,5	1,8	2,3	1,3	1,6	2,2
Revanche (m)	1,3	1,2	0,7	1	1	1,5
Superficie du bassin (m²)	2'800	1'400	3'400	10'100	3'500	4'400
Volume estimé au 15/02/2021 (m³)	4'200	2'600	7'700	13'100	5'600	9'700
Volume maximal estimé en tenant de la revanche (m³)	7'800	4'300	10'100	23'200	9'200	16'300
Pourcentage de remplissage au niveau du trop plein	54%	60%	77%	57%	62%	59%

Ces valeurs ont été estimées sur la base des valeurs mesurées lors de la visite de site le 15 février 2021. Pour plus de précisions, il est nécessaire de réaliser un levé bathymétrique des bassins.

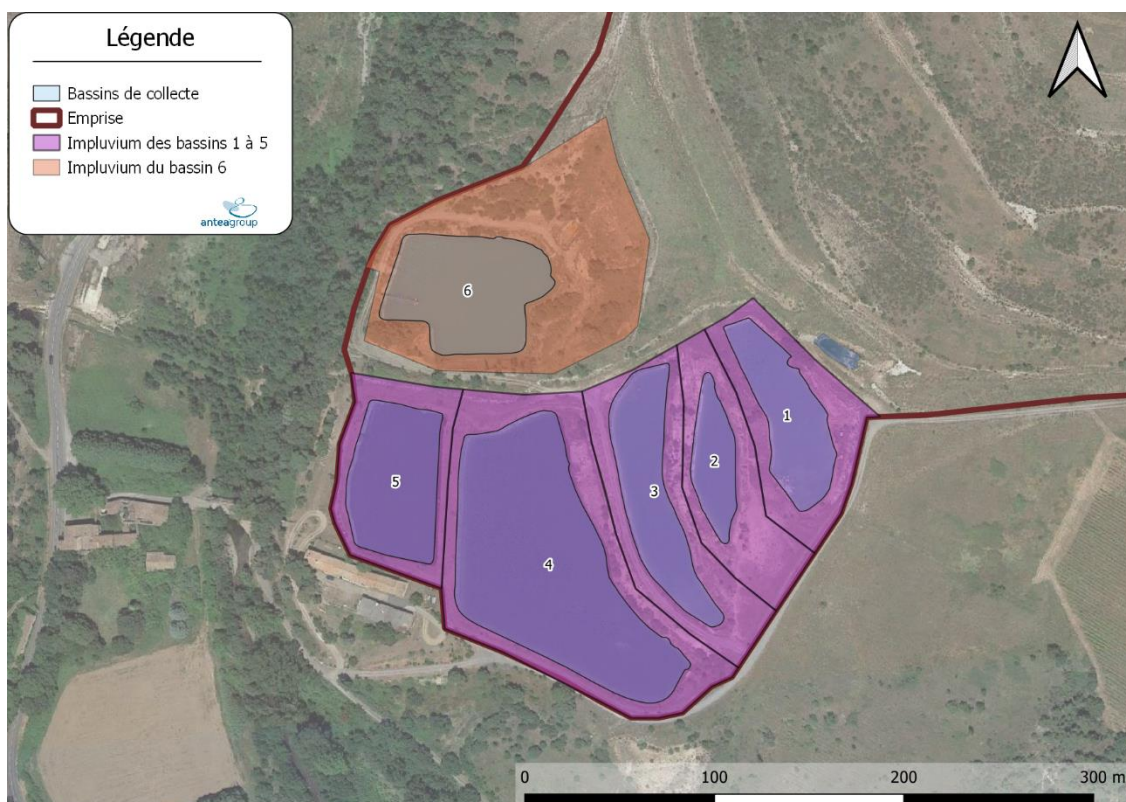


Figure 9 - Cartographie des impluviums des bassins de collecte

1.2.3. Fonctionnement du réseau de collecte des eaux souterraines

Le fonctionnement du réseau de drainage souterrain est identique à celui mis en place à l'époque de la création du bassin de l'Artus, à savoir :

- Trois drains différents sont disponibles sur la zone d'étude : drain de colature Nord, Centre et Sud. Ceux-ci sont localisés sur la Figure 12.

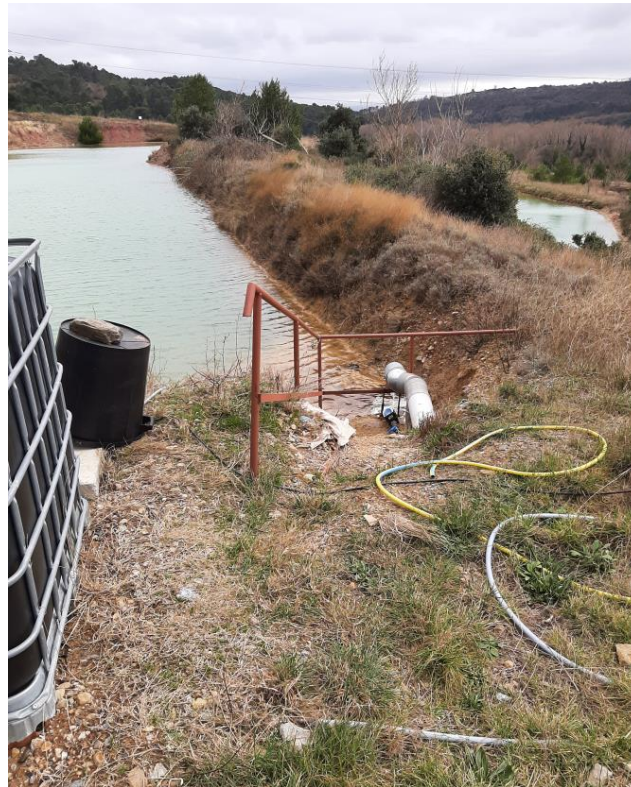


Figure 10 – Vue de la sortie drain colature nord dans le bassin n°1

- Les penstocks sont toujours présents (en marron sur la Figure 12). Ils ont toujours pour exutoire le bassin n°6.



Figure 11 – Vue de la sortie des penstocks dans le bassin n°6

Le schéma ci-dessous représente la localisation des drains et penstocks sur le site.

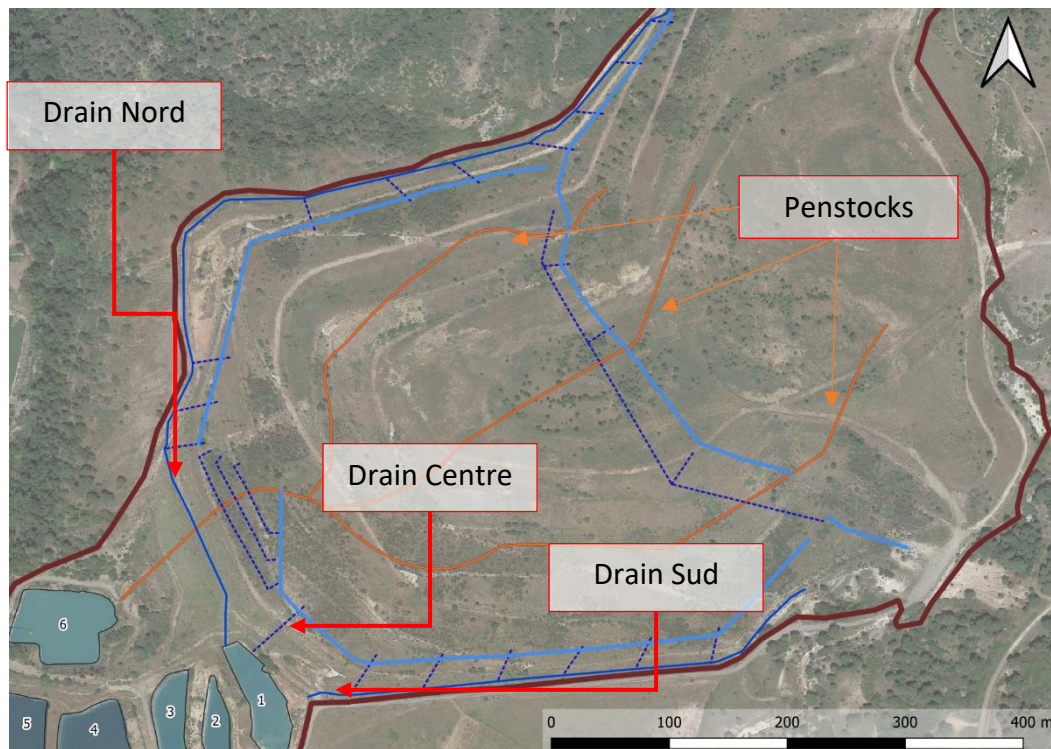


Figure 12 - Localisation des différents drains/penstocks

2. Analyse quantitative du fonctionnement

2.1. Débits souterrains

Les débits horaires hebdomadaires des drains de collecte (penstocks + drains) sont mesurés depuis 2013. Ceux-ci ont été analysés afin de comprendre leur fonctionnement et les débits y transitant.

2.1.1. Drains de collecte

L'analyse des débits a permis de mettre en évidence une variation de 300 l/h en période sèche à 3 200 l/h lors d'épisodes pluvieux importants sur le drain Nord, de 300 l/h à 3 600 l/h sur le drain sud et de 30 l/h à 200 l/h sur le drain central. Trois épisodes pluvieux ont été analysés :

- Les données pluviométriques mesurées par la station implantée sur site et gérée par le BRGM a permis de mesurer les précipitations lors de l'épisode pluvieux du 14 octobre 2018. **176 mm** se sont alors écoulés sur le bassin en 24 heures. Il est à noter qu'un nettoyage des drains a été effectué 4 semaines auparavant.
- Le 14 février 2017, **170 mm** s'abattent sur le bassin en 48h.
- A l'inverse, un épisode faiblement pluvieux sur 11 jours (**67 mm** précipités sur 11 jours) survient début Mai 2015.

Les débits mesurés pour chaque épisode sont consignés dans le Tableau 3.

Tableau 3 - Débits mesurés aux drains pour les différents épisodes pluvieux

Episode	Drain nord	Drain central	Drain sud
14 octobre 2018 (24h, 176 mm)	3'212 l/h (631 l/h semaine précédente)	200 l/h (40 l/h semaine précédente)	3'568 l/h (425 l/h semaine précédente)
14 février 2017 (48h, 170 mm)	2'506 l/h (413 l/h semaine précédente)	108 l/h (37 l/h semaine précédente)	3'600 l/h (270 l/h semaine précédente)
Mai 2015 (11 jours, 67 mm)	900 l/h – 1'200 l/h	80 l/h constants	1'000 l/h constants

Globalement, les drains sont très réactifs aux épisodes pluvieux, avec une augmentation de plus de 500% des débits par rapport aux semaines qui précèdent les épisodes du 14 octobre 2018 et du 14 février 2017.

Le débit horaire moyen sur la semaine du 14 octobre 2018, en additionnant les débits des trois drains s'élève à environ 7 m³/h.

2.1.2. Penstocks

L'analyse des débits a permis de mettre en évidence une variation de 4'400 l/h en période sèche à 7'000 l/h lors d'épisodes pluvieux importants. En comparaison avec les drains de collecte, les penstocks semblent moins sensible face aux variations de pluviométrie. (+159 % entre période sèche et épisode pluvieux important).

La réaction des penstocks pour les 3 épisodes pluvieux les plus marquants sont synthétisés dans le

tableau ci-dessous :

Tableau 4 - Débits mesurés aux penstocks pour les différents épisodes pluvieux

Episode	Penstock
14 octobre 2018 (24h, 176 mm)	7'000 l/h (4'660 l/h semaine précédente)
14 février 2017 (48h, 170 mm)	6'600 l/h (4'950 l/h semaine précédente)
Mai 2015 (11 jours, 67 mm)	5'800 l/h – 6'600 l/h

Comme indiqué plus haut, les débits des penstocks sont moins sensibles aux variations de pluviométrie. Par ailleurs, une valeur seuil de débit semble être observée comprise entre 6 600 l/h et 7 000 l/h.

2.1.3. Conclusions

Suite à cette analyse, il en ressort que :

- Tel qu'indiqué dans le §2.1.2, le débit mesuré aux penstocks n'est que très légèrement influencé par l'intensité de la pluie et sa durée. Ce débit semble atteindre une valeur seuil égale à 7'000 l/h (potentiellement due à la saturation des sols limitant le débit restitué aux penstocks). Il est donc supposé que pour un épisode centennal (250 mm sur 24 heures), **le débit transitant dans les penstocks sera pris égal à 7'000 l/h en moyenne sur une semaine.**
- Les drains de collectes sont réactifs aux évènements pluvieux. Par conséquent, le débit en sortie des trains de collecte est calculé à partir du débit observé le 14 octobre 2018 et de la pluviométrie (homothétie). **La valeur 10'000 l/h est donc retenue.**

2.2. Débits générés par ruissellements sur les sous bassins versants de l'Artus

La zone d'étude a été découpée en quatre sous bassins versants tel que décrit au §1.2.1.

Pour chaque sous bassin versant, le coefficient de ruissellement a été estimé à partir de la pondération des différents coefficients pour chaque type de surface drainée. Ces coefficients ont été déterminés à partir du « Guide technique de l'assainissement routier, Setra 2006 » et dépendent de la nature du sol et de sa pente moyenne (voir Figure 13).

Couverture végétale	Morphologie	Pente %	Terrain sable grossier	Terrain limoneux	Terrain argileux
Bois	presque plat ondulé montagneux	$p < 5$	0,10	0,30	0,40
		$5 \leq p < 10$	0,25	0,35	0,50
		$10 \leq p < 30$	0,30	0,50	0,60
Pâturage	presque plat ondulé montagneux	$p < 5$	0,10	0,30	0,40
		$5 \leq p < 10$	0,15	0,36	0,55
		$10 \leq p < 30$	0,22	0,42	0,60
Culture	presque plat ondulé montagneux	$p < 5$	0,30	0,50	0,60
		$5 \leq p < 10$	0,40	0,60	0,70
		$10 \leq p < 30$	0,52	0,72	0,82

Figure 13 - Coefficient de ruissellement en fonction de la nature et de la pente des sols (SETRA,2006)

Il est considéré que les sols sont de type limoneux avec une couverture végétale de type « pâturages ». Les caractéristiques des sous bassins versant sont données dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5 - Caractéristiques hydrologiques des sous-bassins versants

Sous bassin versant	Surface (ha)	Longueur hydraulique (m)	Pente moyenne (%)	Coefficient de ruissellement
BV1	4	-*	<5%*	-*
BV2 +1/2BV1	14,9	1'250	7,2%	0,36
BV3	2,5	410	15,8%	0,42
BV4+1/2BV1	13,1	1'200	5,8%	0,36

*Le BV1, tel qu'expliqué plus tôt dans ce rapport, fonctionne à la façon d'une cuvette. Dans une optique de dimensionnement sécuritaire, les volumes ruisselés sur le BV1 participeront aux débits de engendrés par le BV2 et le BV4.

● Application de la méthode Audoise

Dans le cadre de la définition des Plans de Prévention du Risque Inondation (P.P.R.I.) et après les deux évènements pluvieux marquants survenus dans le département de l'Aude (décembre 1994 et 12 et 13 novembre 1999), la Direction Départementale de l'Équipement de l'Aude a souhaité que soit menée une réflexion approfondie sur le calcul du débit de crue de période de retour 100 ans. A cet effet, un groupe de travail comprenant les Services de l'État ainsi que des bureaux d'étude a établi un document écrit officiel présentant la méthode Audoise : « Méthodologie pour la détermination des débits de crue de période de retour 100 ans dans le département de l'Aude ».

La méthode Audoise est une méthode de calcul de débits de crue centennale, à partir de coefficients de Montana pour une période de retour égale à 100 ans et de valeurs de pluies journalières centennales.

Cette méthode, initialement parue en 2001, a été révisée en 2020 suite à la survenue de nouveaux épisodes de crue et d'inondations majeures, qui ont montré les limites de mesures de prévention inscrites aux PPRI (sous-estimation des emprises inondées).

Dans ce paragraphe, les débits centennaux sont calculés pour chaque sous-bassin versant (voir Figure 5).

Pour des bassins versants de surface inférieure à 20 km², le débit centennal est calculé de la façon suivante :

$$Q_{100} = \frac{C_r}{3,6} * a * \left(\frac{L}{3,6 * V} \right)^{-b} * S$$

Avec :

- C_r correspondant au coefficient de ruissellement,
- a et b correspondant aux coefficients de Montana pour une période de retour centennale,
- L correspondant à la longueur hydraulique du bassin versant, à savoir la longueur la plus longue que puisse parcourir une goutte d'eau sur le bassin versant (en km),
- V correspondant à la vitesse moyenne de transfert des eaux (m/s),
- S correspondant à la surface du bassin versant (km²)

■ Coefficient de ruissellement

Le calcul du coefficient de ruissellement selon la méthode Audoise s'établit avec la formule suivante :

$$C = 0,8 * \left(1 - \frac{P_0}{Pj_{100}} \right)$$

Avec P_0 représentant la rétention initiale qui est déterminée à partir de la nature du sol et de sa pente (voir Figure 14), et Pj_{100} représentant la pluie journalière centennale.

Couverture végétale	Morphologie	Pente %	Terrain sable grossier	Terrain Limoneux	Terrain argileux ou rocaillieux compact
Bois Garrigue	presque plat	0 - 5	90	65	50
	ondulé	5 - 10	75	55	35
	montagneux	10 - 30	60	45	25
Pâturages et prairies	presque plat	0 - 5	85	60	50
	ondulé	5 - 10	80	50	30
	montagneux	10 - 30	70	40	25
Cultures	presque plat	0 - 5	65	35	25
	ondulé	5 - 10	50	25	10
	montagneux	10 - 30	35	10	0
Terrain artificialisé	Dense (plus de 20 bâtiments à l'hectare)	Sans objet	0		
	Peu dense (moins de 20 bâtiments à l'hectare)	Sans objet	25		

Figure 14 - Paramètres de rétention initiale (source : méthode Audoise, 2020)

Les coefficients alors obtenus sont légèrement supérieurs à ceux déterminés à partir du guide SETRA.

Tableau 6 - Comparaison des deux méthodes de détermination des coefficients de ruissellement

Sous bassins versants	Coefficient de ruissellement selon le guide SETRA	Coefficient de ruissellement selon la méthode Audoise
BV2	0,36	0.4
BV3	0,42	0.48
BV4	0,36	0.4

Il est à noter que le guide du SETRA fournit des coefficients de ruissellement pour une période de retour 10 ans. Par conséquent, les coefficients déterminés par la méthode Audoise sont retenus pour la suite des calculs.

■ Vitesse de transfert des eaux

Celle-ci est calculée de la façon suivante :

- Pour une pente i comprise entre 1 et 10 % : $V = 1 + (i - 1)/9$,
- Pour une pente supérieure à 10 % : $V = 2 \text{ m/s}$

Tableau 7 - Vitesses moyenne de transfert des eaux pour chaque sous bassin versant

Sous bassins versants	Vitesse moyenne de transfert des eaux (m/s)
BV2	1,69
BV3	2
BV4	1,53

■ Débits centennaux

Les débits centennaux sont ensuite calculés pour chaque sous bassin versant. Afin de prendre en compte l'impluvium du BV1 : **à la surface drainée par le BV2 est additionnée la moitié de la surface drainée par le BV1. Il en va de même pour le BV4.**

Par ailleurs, comme vu dans le §1.2.1, les ruissellements des BV2 et BV3 sont acheminés vers un fossé de collecte puis évacué vers le milieu naturel. Le débit généré par ces deux entités est donc calculé :

- Les surfaces drainées sont additionnées,
- Le coefficient de ruissellement est calculé par pondération des surfaces de chaque bassin : **Cr = 0,41,**
- La longueur hydraulique retenue est la plus grande des deux sous bassins (**L = 1'250 m**),
- La pente et la vitesse de transferts retenues sont celles correspondant à la plus grande longueur hydraulique (**i = 7,2%, V = 1,69 m/s**).

Tableau 8 - Débits centennaux estimés pour chaque sous bassin versant

Sous bassin versant	Surface actualisée (ha)	Débit centennial estimé (m ³ /s)
BV2	16,9	3,2
BV3	2,5	1,18
BV4	15,1	2,77
BV2+BV3	19,4	3,77

2.3. Calcul de la capacité d'écoulement des fossés de collecte et vérification du fonctionnement

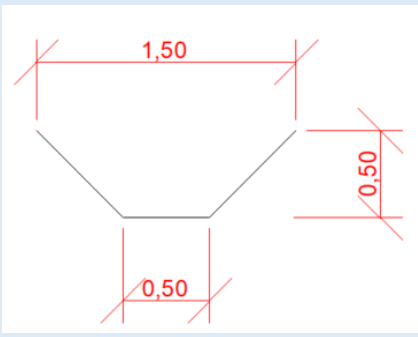
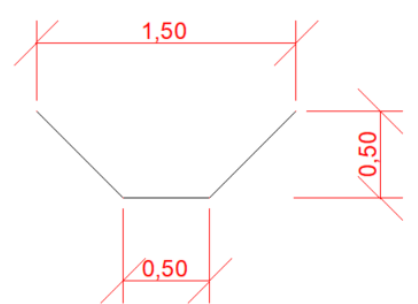
Comme évoqué dans le §1.2.1, des fossés périphériques/central permettent de collecter les eaux ruisselées (cf. Figure 6) :

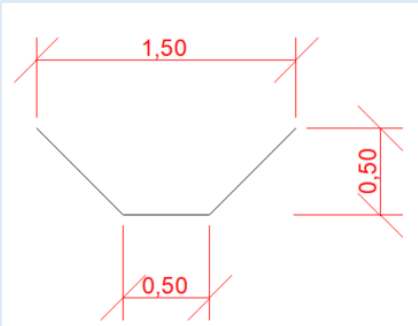
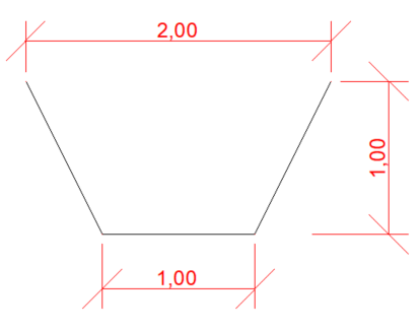
Il est nécessaire de déterminer si ces fossés sont en capacité de recevoir et faire transiter les débits calculés au paragraphe 2.2.

Le tableau ci-après synthétise les caractéristiques hydrauliques de chaque fossé.

N.B. : Les dimensions des fossés présentées dans ce paragraphe sont approximatives et résultent d'observations sur site. Il est nécessaire de réaliser un levé topographique de ces derniers afin d'évaluer précisément leur capacité.

Tableau 9 - Caractéristiques hydrauliques des fossés de collecte d'eaux pluviales

	Dimensions	Pente moyenne (%)	Ks (m ^{1/3} /s)	Débit capable du fossé (m ³ /s)	Débit centennal (m ³ /s)	Débordement
Fossé BV2		5	30	1,37	3,2	Débordements probables pour une pluie centennale
Fossé BV3		5	30	1,37	1,18	Pas de débordements

<p>Fossé BV4</p>		5	30	1,37	2,77	Débordements probables pour une pluie centennale
<p>Fossé principal</p>		5	30	5,39	3,77	Pas de débordements

Il en ressort que les fossés correspondant au BV2 et au BV4 ne sont pas capacitaires en cas d'épisode pluvieux centennal.

En cas de débordement du fossé BV4 ou du fossé BV2 en amont de l'ouvrage de décantation, les écoulements sont évacués directement vers le milieu naturel.

Au droit de l'ouvrage de décantation du fossé BV2, un levé topographique réalisé par le cabinet TOPO & DAO le 12 avril 2021 (cf. Figure 15) met en exergue le fonctionnement hydraulique suivant :

- Les eaux du fossé BV2 sont captées par l'ouvrage de décantation, qui est ceinturé à l'ouest par un merlon de près de 2,5 m de haut ;
- Un dispositif de surverse permet la restitution des eaux vers le fossé principal situé en aval de l'ouvrage de décantation, en cas de trop-plein ;
- L'ouvrage de décantation n'est donc pas susceptible de déborder vers les bassins situés en aval.

Un schéma de fonctionnement est disponible en Figure 16.

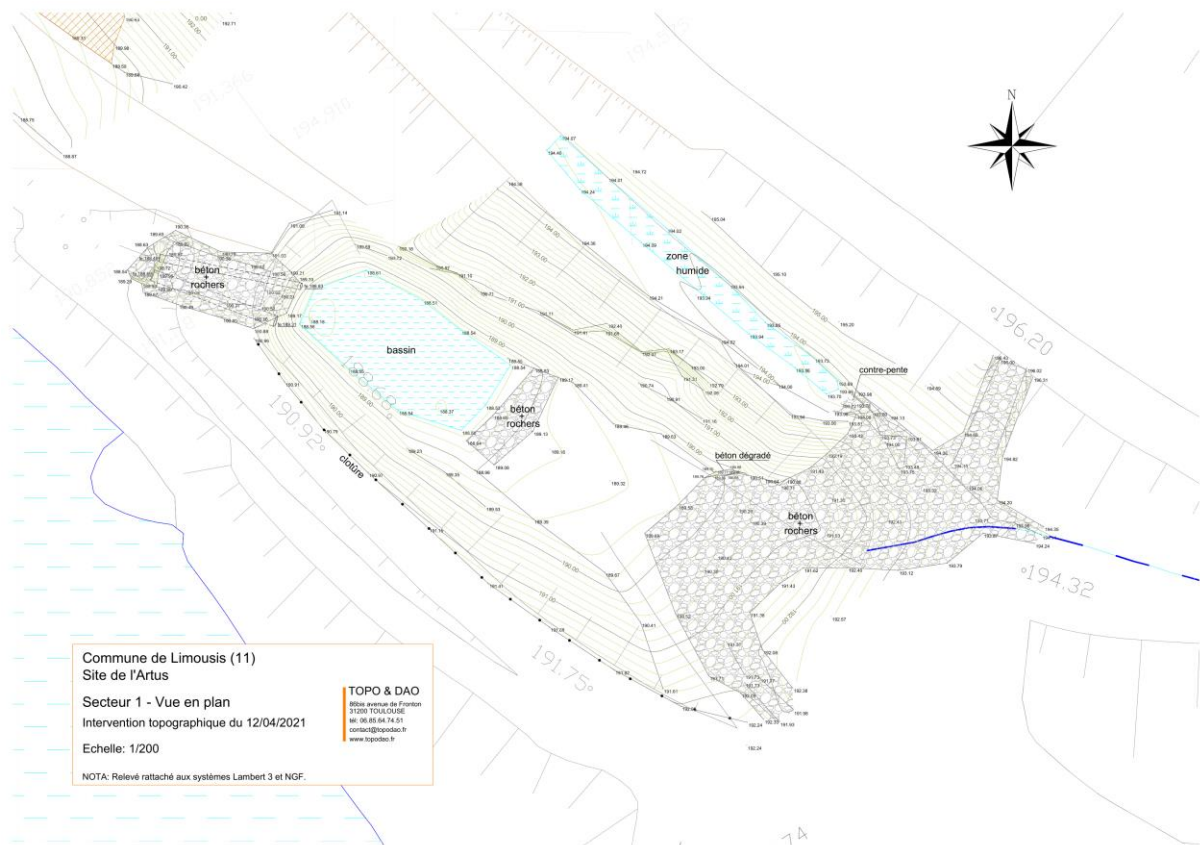


Figure 15 – Levé topographique réalisé au droit de l'ouvrage de décantation au droit du fossé BV2 (source : TOPO & DAO)

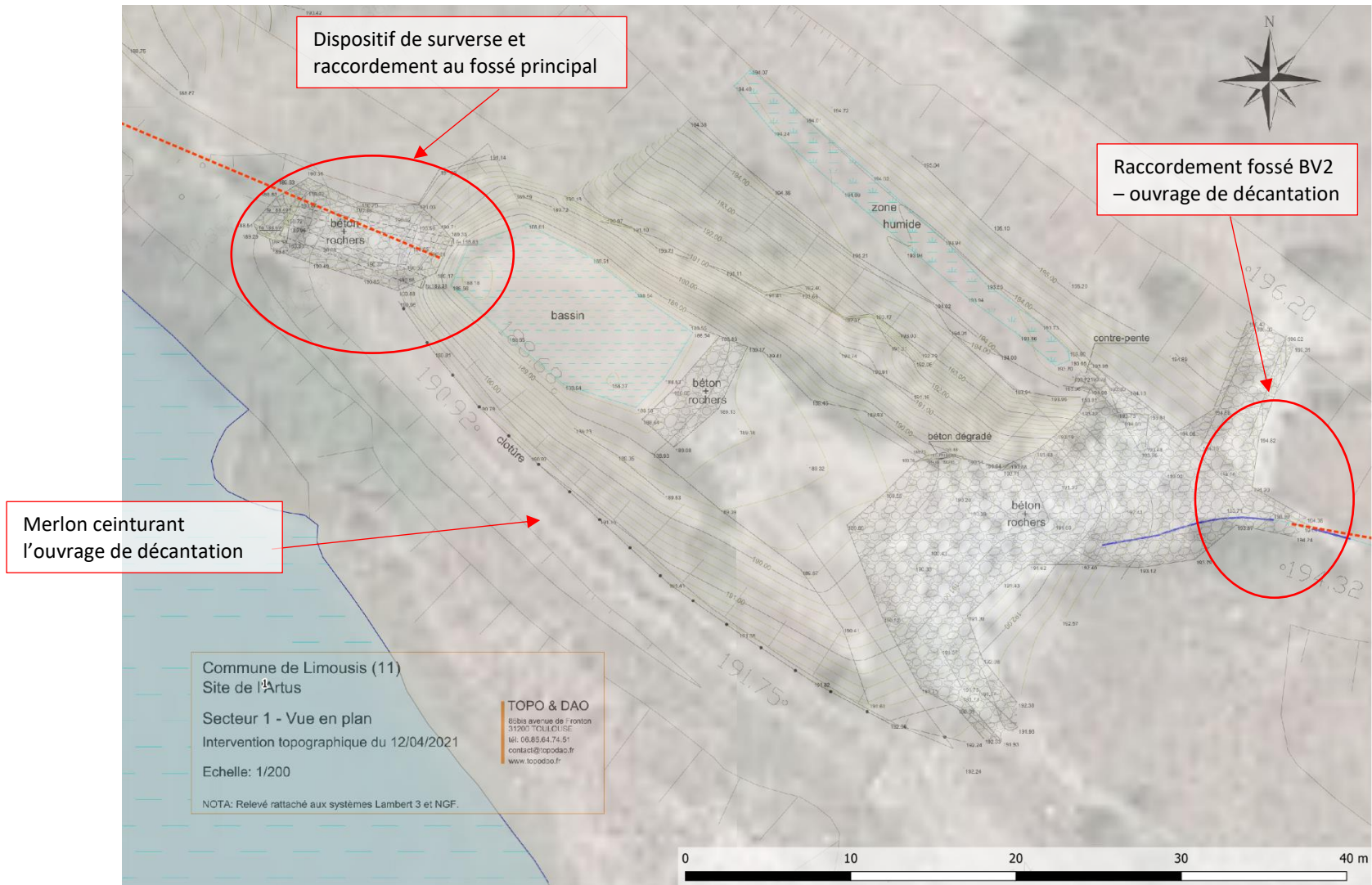


Figure 16 - Schéma de fonctionnement - ouvrage de décantation

2.4. Vérification de la capacité de stockage des bassins de rétention de l'Artus pour une pluie journalière centennale

● Hypothèses

Dans ce paragraphe, la valeur $P_{j_{100}} = 277 \text{ mm}$ sera retenue (correspond à la pluie journalière centennale calculée à partir des coefficients de Montana, voir §1.2.1.3).

Il est également supposé que, dans la suite des calculs, l'épisode centennial survient pour un niveau initial de remplissage de bassins défavorable, correspondant à ceux observés le 15 février 2021. En effet :

- Aucune donnée de suivi des niveaux d'eau (en mNGF) ne permet de réaliser de statistiques de remplissage des bassins ou de contre calage des calculs ;
- Cette hypothèse considère un volume initial de remplissage déjà important (de l'ordre de 50% à 75% du volume de bassin disponible selon les bassins) ;
- Une analyse pluviométrique réalisée sur la station de Carcassonne-Salvaza (source Infoclimat) met en évidence :
 - Un cumul pluviométrique important sur la période septembre 2020 – janvier 2021 (**343 mm**, contre 293 en moyenne sur la période 1981-2010) ;
 - Un ensoleillement en baisse sur les mois de décembre 2020 (**53,9 heures** ; 91,6 h en moyenne) et janvier 2021 (**87,6 h** ; 97,2 heures en moyenne) ne favorisant pas l'évaporation au sein des bassins.
 - Un épisode pluvieux survenu entre le 30 janvier et le 1^{er} février 2021 (40 mm), suivi de quelques journées de pluie entre le 8 février et le 12 février.

Par ailleurs, la réflexion est menée en considérant un volume utile disponible dans les bassins diminué par la présence de sédiments accumulés en fond de bassin. Pour rappel, la visite réalisée le 15 février 2021 faisait état d'un cumul important de sédiments en fond de bassin.

N.B. : Dans la suite du paragraphe, le volume généré est calculé à partir de la pluie centennale sur 24 heures. Cette durée de pluie est caractéristique au climat local, qui est méditerranéen.

● Volumes générés par ruissellement

Les volumes générés par ruissellement pour un épisode de période de retour centennale pour chaque bassin sont donnés dans le Tableau 10.

Tableau 10 - Volumes générés par un épisode centennial (impluvium seul)

Bassin de collecte	Volume total à sec (m ³)	Volume disponible avant pluie (m ³)	Volume généré (m ³) par la PJ100	Volume disponible avant débordement (m ³)	Pourcentage de remplissage
1	7'800	3'600	1'700	1'800	76 %
2	4'300	1'700	1'400	400	91 %
3	10'100	2'300	1'900	400	96 %
4	23'200	10'000	3'800	6'200	73 %
5	9'200	3'500	2'000	1'500	83 %
6	16'300	6'700	3'800	2'900	82 %

Les volumes générés par ruissellement de surface (donc hors écoulements souterrains) ne sont donc pas de nature à générer un débordement des bassins de collecte.

A noter que le pourcentage de remplissage des bassins ne tient pas compte des débits de fuite (bassin n°1 à n°5) et débit pompé (bassin n°6) et est donc maximaliste.

- **Volumes générés par les écoulements souterrains**

Le volume généré par les drains en entrée de bassin 1 est de 10 m³/h, ce qui représente un volume hebdomadaire d'environ 1 700 m³.

Le volume des drains n'est pas de nature à générer des débordements pour les bassins, qui pour rappel sont alimentés en cascade par l'intermédiaire de canalisation PVC.

Le bassin n°6, quant à lui reçoit les eaux de drainage des penstocks, ce qui représente un débit de 7 m³/h soit un volume hebdomadaire de 1 200 m³.

Ces volumes remplissent davantage les bassins de collecte n°1 et n°6. En prenant en compte ces volumes, le pourcentage de remplissage des bassins 1 et 6 est respectivement égal à **99% (100 m³ disponible)** et **90% (1 700 m³ disponible)**.

- **Volumes générés par les écoulements interbassins**

Une inspection de la canalisation entre le bassin n°5 et n°6 réalisée le 10 août 2021. Celle-ci a permis de déterminer le diamètre de la canalisation, égal à 200 mm. Un assemblage réduit la conduite en largeur (-22%) et limite son débit capable. Il est donc supposé, pour la suite du calcul, que le diamètre de la conduite est égal à **180 mm**. L'altimétrie reste toutefois inconnue et ne permet pas de préciser la pente de la canalisation. Celle-ci est en PVC sur sa première partie, et en acier sur sa seconde partie.

En considérant une pente de la conduite égale à 3% et un Ks égal à 75, le débit capable de la conduite est égal à 150 m³/h. Un volume d'environ 3 600 m³ supplémentaire serait donc généré en une journée (en supposant que la canalisation soit en eau pendant toute la durée de la pluie)¹. **La capacité du bassin B6 serait dépassée et pourrait entraîner une surverse.**

***N.B.:** Il est difficile d'estimer le volume évacué du bassin 5 à 6, compte tenu de la variabilité de la hauteur d'eau dans chacun des bassins. Des levés topographique et bathymétriques des bassins et de la canalisation, ainsi qu'une modélisation hydraulique des bassins de collecte permettraient de déterminer les volumes échangés entre chaque bassin en prenant en compte les débits d'arrivée et de sortie de chacun des bassins pour une pluie d'occurrence fixée.*

- **Synthèse**

Tel qu'expliqué au paragraphe 2.3, le fossé BV2 est non capacitaire pour une pluie de période de retour 100 ans en amont de l'ouvrage de décantation. Aucun débordement des fossés vers les bassins de rétention n'est constaté. Concernant le bassin n°6, il semblerait qu'une surverse puisse se produire pour une pluie de période de retour 100 ans.

Il est également à noter que le volume en provenance des penstocks ne représente qu'entre 10 et 15% des apports en eau pour une pluie centennale : en négligeant ces apports, une surverse du bassin B6 aurait quand même lieu. Par ailleurs, en pratique, ce volume arrive en différé en comparaison du

¹ Cette valeur est préjudiciable dans la mesure où elle est supérieure aux apports dans B5 pour une pluie centennale (2000 m³)

volume ruisselé et en provenance du bassin B5 (les écoulements souterrains étant moins rapides que les écoulements de surface).

2.5. Retour d'expérience : épisode du 11 mai 2020

Le 11 mai 2020, près de 140 mm s'abattent sur le site de l'Artus et provoquent un débordement du bassin de collecte n°6. La surverse se produit directement dans l'Orbiel.

Au 6 mai 2020, la cote d'eau est située 50 cm sous la cote du déversoir. Le volume disponible avant débordement du bassin B6 est donc estimé à 2 200 m³, soit un volume bien inférieur au volume apporté par une pluie centennale. Le volume généré par ruissellement (hors penstocks et transferts B5 -> B6) est estimé à 1 950 m³.

Toutefois, malgré cette surverse, la qualité de l'eau ne fut pas impactée. En effet, le bassin B6 permet la décantation des métaux lourds récoltés par les penstocks. Par ailleurs, le volume généré par les penstocks arrivant en différé, la surverse du bassin B6 eut lieu avant l'arrivée de ce volume dans le bassin, limitant les rejets pollués.

2.6. Axes d'amélioration pour la gestion des eaux pluviales

Cette étude fait suite à un débordement accidentel des eaux du bassin 6 vers l'Orbiel. Une pompe permet la redirection des eaux du bassin à la station de dépollution. Il est donc nécessaire de maintenir un niveau d'eau en dessous de la cote calculée ci-après.

Lors de la visite de terrain du 15 février 2021, la cote du niveau d'eau du bassin n°6 a été estimée à 160,30 mNGF, la cote du déversoir est quant à elle à 161,88 mNGF.

Pour éviter qu'il ne déborde, il est donc nécessaire de maintenir un niveau d'eau au-dessous de la cote 161,88 mNGF. Cela permet de s'assurer qu'aucun rejet d'eaux polluées n'ira en direction du milieu naturel.

Les volumes générés par ruissellement, restitués par les penstocks et par transfert du bassin B5 vers le bassin B6 est estimé à **8 600 m³** sur une journée pour un épisode centennal, correspondant à une montée des eaux de 2,00 m environ.

Il est donc proposé de mettre en place une astreinte permettant le suivi de la montée des eaux du bassin B6. **Un seuil de vigilance situé à la cote 159,38 mNGF (soit 2,5 mètres en dessous de la cote du déversoir), et un seuil d'alerte situé à la cote 159,88 mNGF (soit 2 mètres).**

Ce seuil d'alerte est déterminé à partir du volume généré par ruissellement et par écoulements souterrains, soit une montée des eaux estimée à **2,00 m**.

Cette astreinte permettra d'optimiser la surveillance du bassin B6 dans le but d'éviter les risques de surverse. Un système d'alarme sera mis en œuvre afin de permettre l'asservissement du pompage depuis la station de dépollution.

Le maintien des opérations de curage et des inspections périodiques sont nécessaires pour vérifier a minima le maintien de la bathymétrie actuelle.

Un suivi de la hauteur des boues présentes dans le bassin permettrait également d'évaluer la capacité de stockage des bassins dans le temps et ainsi prévoir de les extraire si nécessaires.

Ces mesures pourraient utilement être complétées par la vidange préventive des bassins (en particulier B5 et B6) en période estivale afin de maximiser le volume disponible au moment de la saison pluvieuse.

Par ailleurs, la mise en place d'une vanne sur la canalisation existante entre B5 et B6 pourrait être étudiée, de façon à permettre une gestion optimisée des niveaux dans ces deux ouvrages et éviter les débordements de B5 et de B6.

Le maintien du suivi de la qualité des eaux dans les bassins permet de quantifier le risque de pollution en cas de débordement.

3. Conclusions

Aucun débordement n'est observable pour les bassins de collecte 1 à 5 pour une pluie centennale. Les réseaux de collecte sont dans l'ensemble correctement dimensionnés pour un occurrence centennale. Des compléments topographiques sont nécessaires pour lever certains doutes notamment au droit du fossé périphériques sud.

Il est par ailleurs intéressant de rappeler que les volumes écoulés ont été surestimés au vu des hypothèses rappelés ci-après :

- Les pertes par infiltration/évaporation ne sont pas prises en compte pour les bassins de collecte,
- Les volumes générés par écoulement souterrains sur 7 jours ont été estimés à partir du débit horaire hebdomadaire moyen,
- La méthode Audoise a été réalisée à partir de l'analyse de bassins dont les superficies sont comprises entre 16 km² et 586 km². Il est donc possible que les débits calculés soient surestimés pour des petits bassins versants.

Le bassin de collecte n°6 est toutefois susceptible de déborder comme ce fut le cas le 11 mai 2020. Des levés topographiques du réseau interbassins (buses de liaison) et de la bathymétrie des bassins est nécessaire afin de déterminer plus exactement les volumes échangés, notamment entre le bassin B5 et B6.

Le suivi et protocole d'astreinte pour le bassin n°6 tel que proposé dans cette présente étude, permettrait de limiter le risque de pollution du milieu naturel. Le risque de pollution est toutefois relativement faible au vu de la configuration du site. En effet, la surverse est essentiellement générée par les eaux météoriques ruisselées et en provenance du bassin B5 (eaux ayant subi une décantation dans le bassin n°5 et précédant).

Observation sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celle-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.



2020

antea[®]group