

Association Le Réveil des Moulins du Quercy  
24 place du Foirail  
46160 Cajarc  
Numéro RNA W462006374



## Moulin-Bas sur le Candé à Lapenche



## Etude de faisabilité hydroélectrique

17/04/2023  
v.1.0

**LENOËL-HYDRO**  
Ingénierie-conseil en hydroélectricité

Damien Lenoël  
Avenue des Cévennes  
34380 Notre-Dame-de-Londres  
[lenoel-hydro@outlook.com](mailto:lenoel-hydro@outlook.com)  
SIREN 850 430 950

Suivi des modifications

Version	Date	Auteur	Commentaire
v.1.0	17/04/2023	DL	Version initiale

## Table des matières

Table des figures.....	5
Table des tableaux.....	6
Contexte de l'étude .....	7
1. Présentation du moulin.....	8
1.1. Localisation .....	8
1.2. Historique.....	9
1.3. Ouvrages hydrauliques .....	9
1.4. Enjeux.....	13
2. Situation administrative actuelle .....	14
2.1. Propriété .....	14
2.2. Urbanisme.....	15
2.3. Risques naturels .....	17
2.4. Protections d'espaces naturels.....	17
2.5. Protections du patrimoine.....	17
2.6. Protections spécifiques au cours d'eau .....	18
2.7. Usages.....	18
3. Démarches administratives .....	20
3.1. SDAGE Adour-Garonne .....	20
3.2. SAGE/Contrat de milieu .....	21
3.3. Code de l'énergie et Code de l'environnement.....	21
3.4. Droit fondé en titre.....	22
3.5. Police de l'eau .....	23
3.6. Déclaration ou autorisation de travaux .....	23
4. L'hydrologie.....	24
4.1. Présentation du cours d'eau.....	24
4.2. Détermination de la station hydrométrique de référence .....	25
4.3. Reconstitution hydrologique au droit du moulin .....	26
4.4. Chronique prospective .....	29
5. La chute .....	29
5.1. Chute brute .....	30
5.2. Pertes de charge.....	30
6. Débit dérivable .....	32
6.1. Débit réservé.....	32
6.2. Débit maximal de dérivation .....	32
6.3. Courbe des débits dérivables classés .....	32
7. Description du projet .....	33
7.1. Description du scénario d'équipement.....	33
7.2. Estimation de la production .....	37

8.	Aspects économiques .....	39
8.1.	Consommation électrique actuelle.....	39
8.2.	Hypothèses d'autoconsommation.....	40
8.3.	Economies réalisables .....	41
8.4.	Coûts d'investissement .....	41
8.5.	Coûts d'exploitation et de maintenance .....	44
8.6.	Calcul du temps de retour .....	45
9.	Définition d'un programme .....	46
10.	Synthèse.....	47
11.	Conclusion.....	48
12.	Annexes.....	49
13.	Références .....	50

## Table des figures

Figure 1 Situation du moulin à l'échelle régionale.....	8
Figure 2 Situation du moulin à l'échelle locale .....	9
Figure 3 Localisation des ouvrages hydrauliques .....	10
Figure 4 Illustration des ouvrages hydrauliques.....	12
Figure 5 Relevés de l'altitude des ouvrages hydrauliques .....	13
Figure 6 Plancher vitré dans le salon avec vue sur la salle des meules.....	13
Figure 7 Extrait de plan cadastral centré sur le moulin, commune de Lapenche, section B (source : DGFIP) .....	14
Figure 8 Extrait du zonage du PLU de Lapenche centré sur la zone d'étude .....	15
Figure 9 Localisation des seuils et des moulins en amont et en aval .....	19
Figure 10 Réseau hydrographique du Candé et position des stations hydrométriques par rapport au moulin (source : Sandre) .....	24
Figure 11 Illustration des bassins versants de la zone d'étude et de la station hydrométrique de référence .....	26
Figure 12 Chronique des débits journaliers moyens 2001-2022 .....	27
Figure 13 Chronique des débits annuels moyens 2001-2022 .....	28
Figure 14 Chronique des débits mensuels moyens 2001-2022 .....	28
Figure 15 Courbes de débits classés 2001-2022 et 2005 (année sèche).....	29
Figure 16 Calcul de la puissance hydraulique brute .....	29
Figure 17 Loi de chute en fonction du débit.....	30
Figure 18 Courbe des débits dérivables classés au Moulin-Bas .....	32
Figure 19 Vue en coupe du Moulin du Bazacle à Toulouse, d'après Bélidor.....	33
Figure 20 Rouet et cuve du Moulin de Batan, puissance électrique d'environ 3 kW .....	34
Figure 21 Récepteurs électriques dédiés : ballon de préchauffage d'eau chaude sanitaire et radiateurs électriques d'appoint.....	35
Figure 22 Installation d'une copie de rouet en acier sur son arbre (source : « blacour », Forum de la petite hydroélectricité).....	36
Figure 23 Système poulie-courroie et générateur de l'ordre de quelques kW (source : « blacour », Forum de la petite hydroélectricité) .....	36
Figure 24 Schéma synoptique de l'installation hydroélectrique.....	37
Figure 25 Courbe de rendement relatif du rouet en cuve en fonction du débit relatif .....	38
Figure 26 Puissances électriques classées de l'installation hydroélectrique .....	39
Figure 27 Consommation électrique mensuelle du moulin – année 2022 .....	40
Figure 28 Localisation des travaux liés à l'investissement d'entretien normal .....	42
Figure 29 Localisation des travaux liés à l'investissement spécifique au projet hydroélectrique.....	43
Figure 30 Programme du projet.....	46

## Table des tableaux

Tableau 1 Ouvrages hydrauliques et parcelles cadastrales .....	15
Tableau 2 Obstacles à l'écoulement à proximité du moulin .....	18
Tableau 3 Orientations et dispositions du SDAGE 2022-2027 et compatibilité du projet.....	21
Tableau 4 Etats et objectifs de la masse d'eau .....	21
Tableau 5 Caractéristiques des stations hydrométriques.....	25
Tableau 6 Détermination du coef. de Myer à partir du module de l'ONEMA- CEMAGREF/IRSTEA .....	27
Tableau 7 Caractéristiques hydrologiques reconstituées.....	27
Tableau 8 Pente typique des canaux et pertes de charge .....	31
Tableau 9 Caractéristiques techniques du rouet en cuve .....	37
Tableau 10 Rendements électriques .....	38
Tableau 11 Performances de l'installation hydroélectrique .....	39
Tableau 12 Tarifs du contrat d'électricité du moulin .....	41
Tableau 13 Décomposition de l'investissement d'entretien normal.....	42
Tableau 14 Décomposition de l'investissement spécifique au projet hydroélectrique .....	44
Tableau 15 Opérations et coûts de la maintenance .....	45
Tableau 16 Calcul du temps de retour sur investissement.....	45
Tableau 17 Synthèse des aspects analysés.....	47

## **Contexte de l'étude**

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'un projet coopératif et citoyen porté par l'association Le Réveil des Moulins du Quercy, dont l'objectif est la production d'hydroélectricité via la remise en exploitation de moulins à eau sur le territoire du Quercy (Lot et Tarn-et-Garonne).

L'objectif de cette étude est d'étudier la faisabilité administrative, environnementale, technique et économique de remise en exploitation du Moulin-Bas sur le Candé à Lapenche (82), sur la base du cahier des charges établi par l'ADEME : « Faisabilité de petites centrales hydroélectriques ».



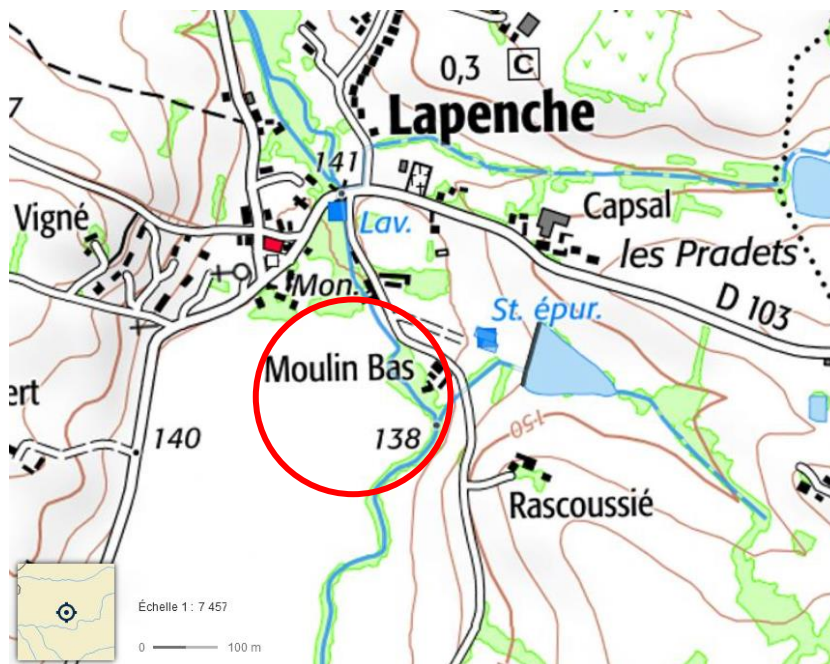


Figure 2 Situation du moulin à l'échelle locale

## 1.2. Historique

D'après la Plateforme ouverte du patrimoine<sup>1</sup>, l'origine du moulin remonterait au Moyen-Age, comme en attestent certains éléments architecturaux (poteau chanfreiné avec congés en pointe de diamant de la salle des meules, et encadrement chanfreiné de la porte en anse de panier). Il aurait été remanié en 1733, d'après des témoignages oraux et la date portée sur le linteau de la porte à l'étage.

Le moulin est un moulin à grains comportant 3 paires de meules, actionnées par des rouets en cuves typiques du Sud-Ouest de la France. Il a accueilli une activité de boulangerie, comme en témoigne le four de boulangerie en brique datant de la première moitié du XXI<sup>ème</sup> siècle.

## 1.3. Ouvrages hydrauliques

L'ensemble des ouvrages hydrauliques du Moulin-Bas a fait l'objet d'une visite technique le 31/08/2022.

Le moulin est constitué, d'amont en aval, des ouvrages suivants :

- un seuil maçonné de 12,2 m de large en travers du cours d'eau formant un angle droit à cet endroit. Sa largeur en crête est d'environ 60 cm ;
- une prise d'eau en rive gauche du seuil, dans l'axe du cours d'eau, d'une largeur de 4,68 m. Cette prise d'eau ne présente pas de système de vannage ;
- d'un canal de dérivation en terre, de section trapézoïdale, d'une longueur de 72 m environ, dont les berges sont maçonnées et verticales sur les 5 derniers mètres environ en amont immédiat du moulin ;
- d'une vanne de décharge, installée en rive droite du canal de dérivation à environ 40 m du seuil, constituée d'une pelle métallique de 2,0 m de hauteur et de 94 cm de largeur ;
- d'une entrée d'eau rive gauche :
  - largeur : 98 cm ;
  - hauteur : 1,47 m ;

- profondeur du radier : 2,20 m ;
- d'une entrée d'eau milieu :
  - largeur : 91 cm ;
  - hauteur : 2,06 m ;
  - profondeur du radier : 2,60 m ;
- d'une entrée d'eau rive droite :
  - largeur : 0,95 m ;
  - hauteur : 2,10 m ;
  - profondeur du radier : 2,60 m ;
- d'une salle des meules de longueur 4,83 m environ et de largeur 6,10 m environ, comportant 3 rouets en cuve de 1,0 m de diamètre environ, surmontés de 3 paires de meules ;
- d'une sortie d'eau voutée ;
- d'un canal de restitution de 40 m de longueur environ ;
- d'un point de restitution de l'eau au Candé.

Ces ouvrages sont localisés et illustrés sur les figures suivantes.

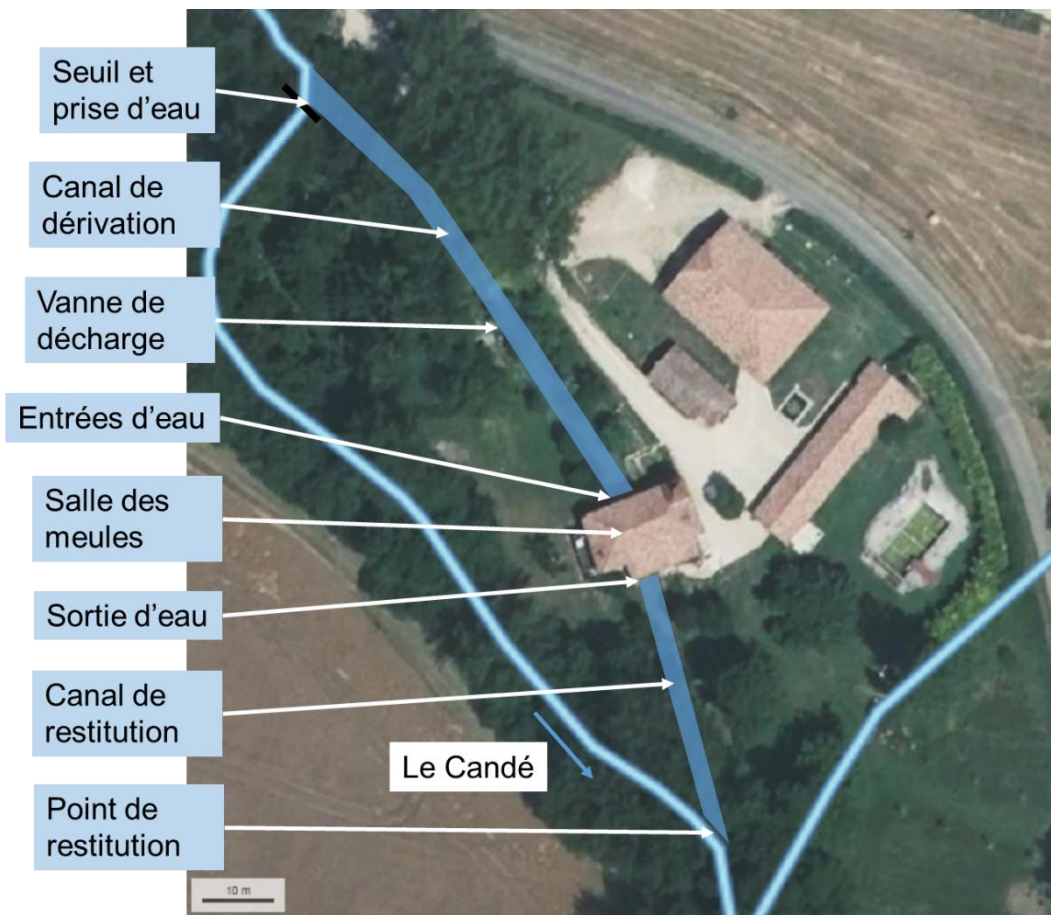


Figure 3 Localisation des ouvrages hydrauliques



Seuil de prise d'eau



Prise d'eau



Vannage de décharge



Canal de dérivation vu depuis le moulin



Face amont du moulin



Entrées d'eau du moulin



Figure 4 Illustration des ouvrages hydrauliques

Les altitudes des ouvrages ont été mesurées à partir d'un point de référence (crête du seuil) dont l'altitude est fixée à zéro. La figure suivante présente les relevés d'altitudes.

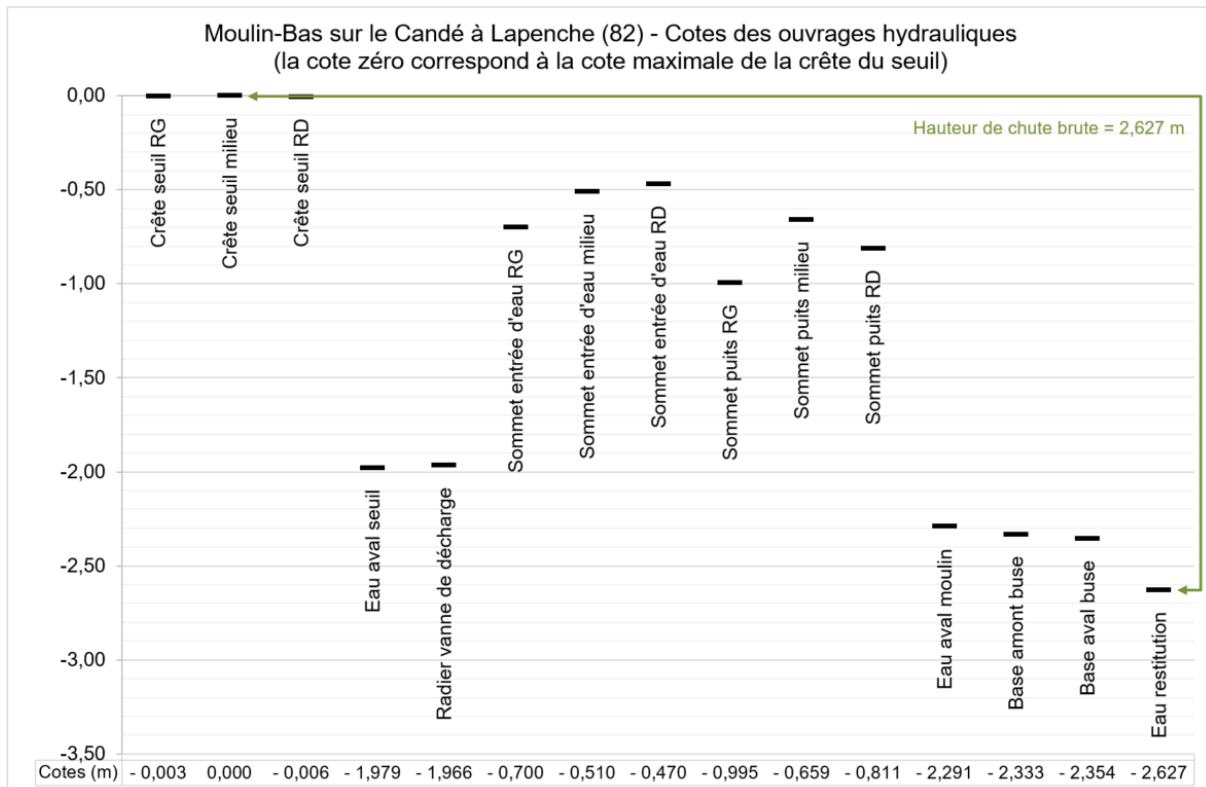


Figure 5 Relevés de l'altitude des ouvrages hydrauliques

## 1.4. Enjeux

La visite a également permis de dresser les enjeux du site. Le moulin étant actuellement à usage d'habitation, les enjeux sont de l'ordre :

- Esthétique : plancher vitré dans le salon directement au-dessus de la salle des meules, avec vue directe sur celles-ci – voir figure ci-après ;
- Acoustique : environnement calme, chute d'eau sur le seuil inaudible depuis l'habitation, salon au-dessus de la salle des meules, chambre à proximité ;
- Patrimonial : présence de rouets, cuves, meules, potence de relevage, etc.



Figure 6 Plancher vitré dans le salon avec vue sur la salle des meules



Ouvrage hydraulique	Parcelle
Seuil	Non-cadastré
Canal de dérivation et canal de décharge	B 0666
Bâtiment-moulin	B 0667
Canal de restitution	B 0621

Tableau 1 Ouvrages hydrauliques et parcelles cadastrales

On constate que l'ensemble des ouvrages hydrauliques du moulin s'inscrivent sur des parcelles propriété de M. et Mme Lebailly. La maîtrise foncière des ouvrages est donc optimale.

De plus, les parcelles directement riveraines à ces ouvrages sont également de la propriété de M. et Mme Lebailly, ce qui assure un accès optimal aux ouvrages pour leur exploitation et leur entretien.

On remarque que le seuil n'est pas cadastré. Or, d'après l'article 546 du Code civil<sup>3</sup>, « la propriété d'une chose soit mobilière, soit immobilière, donne droit sur tout ce qu'elle produit, et sur ce qui s'y unit accessoirement soit naturellement, soit artificiellement. Ce droit s'appelle "droit d'accession" ».

Ainsi, il apparaît que la propriété du seuil est bien rattachée à la propriété du moulin. L'existence d'une éventuelle servitude en rive gauche du seuil, pour l'entretien de celui-ci est à vérifier et à mettre en place le cas échéant.

Enfin, on constate que le Candé n'est pas cadastré. Or, celui-ci étant un cours d'eau non-domanial, les berges et le fond du cours d'eau jusqu'au milieu de celui-ci sont la propriété des riverains directs.

## 2.2. Urbanisme

La commune de Lapenche dispose d'un Plan Local d'Urbanisme (PLU) approuvé le 28/05/2018<sup>4</sup>. La Figure 4 présente un extrait du zonage du PLU centré sur le Moulin-Bas.

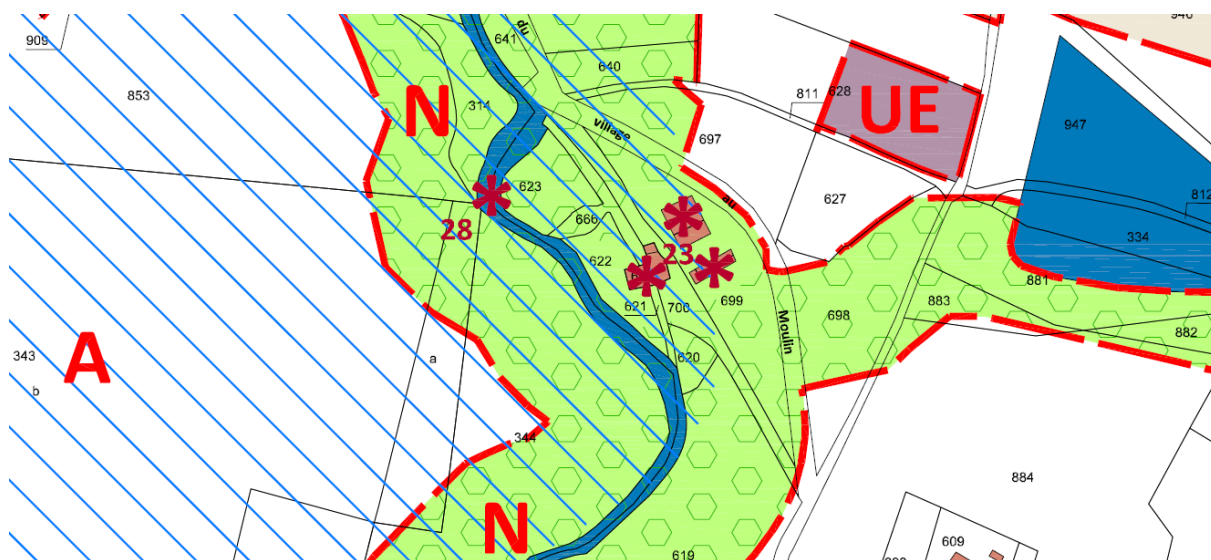








Figure 8 Extrait du zonage du PLU de Lapenche centré sur la zone d'étude

Légende :

-  **UE** Zone réservée aux équipements publics ou d'intérêt collectif
-  **N** Zone naturelle
-  **A** Zone agricole
-  Plan de Prévention des Risques Inondations
-  Secteurs contribuant aux continuités écologiques et à la trame verte et bleue au titre de l'article R.123-11 du Code de l'Urbanisme
-  \*<sub>25</sub> Éléments de paysages remarquables au titre de l'article L 151-19 du Code de l'Urbanisme

On observe que l'ensemble des ouvrages hydrauliques s'inscrivent dans la zone N « Zone naturelle » du PLU et dans un secteur contribuant aux continuités écologiques et à la trame verte et bleue au titre de l'art. R123-11 du Code de l'urbanisme.

Le Règlement du PLU indique pour la Zone N :

*« La zone N est une zone naturelle présentant des enjeux forts en termes de conservation des espaces naturels. »*

Dans la Zone N sont interdites :

*« Tous les travaux et aménagements ainsi que toutes les occupations et utilisations du sol susceptibles de compromettre l'existence et la qualité environnementale des continuités écologiques [repérées sur les pièces graphiques]. »*

Dans la Zone N sont soumises à des conditions particulières :

*« - toutes les constructions et installations doivent respecter les dispositions contenues dans les règlements des Plans de Prévention des Risques joints en annexes du PLU  
- [...] - l'aménagement et l'extension des constructions existantes à condition qu'elle soit mesurée dans la limite d'une augmentation de 30% de la surface de plancher de construction existante à la date de la première publication du PLU et d'une surface de plancher totale de 300 m<sup>2</sup> et à condition qu'elle ne compromette pas [...] la qualité paysagère du site »*

Aussi, le bâtiment-moulin est recensé comme un élément de paysage remarquable au titre de l'art. L151-19 du Code de l'urbanisme. Le règlement indique pour ces éléments :

*« Tous les travaux non soumis à permis de construire et ayant pour effet de modifier ou de supprimer un élément de paysage identifié par le P.L.U. seront soumis à déclaration préalable ou à permis de démolir.  
Ainsi tous travaux de démolition partielle, de ravalement de façade, d'agrandissement, de surélévation ou modification, ainsi que les projets de construction neuve sur les unités foncières supportant un élément de paysage à protéger sont autorisés à condition que ces travaux ne portent pas atteinte à l'intégrité de ce patrimoine et qu'ils constituent à assurer sa protection et sa mise en valeur. »*

## 2.3. Risques naturels

### Risque inondations

Le moulin se situe en Zone rouge du Plan de prévention des risques d'inondation (PPRI) du Secteur Aveyron, version du 27 août 2014<sup>5</sup>.

La Zone rouge « *comprend les zones où les hauteurs ou les vitesses de submersion sont telles que la sécurité des biens et des personnes ne peut être garantie ; sont également classées en zone rouge les zones non urbanisées qui sont des champs d'expansion de crues, ainsi que la totalité des zones submersibles non couvertes par un système d'annonce des crues.* »

Sont interdits dans cette zone « *toutes constructions, travaux, digues et remblais, clôtures, haies, plantations, installations et activités [futurs] de quelque nature qu'ils soient, à l'exception de ceux visés [...] ci-après.* »

Les biens et activité *futurs* suivants sont autorisés en zone rouge :

- « - Les bâtiments sanitaires, techniques ou de loisirs de moins de 10 m<sup>2</sup> d'emprise au sol ;  
[...]
- Les travaux et ouvrages directement liés à l'utilisation de la rivière, avec une protection située au-dessus de la crue de référence, sauf si impossibilité technique ;  
[...]

Les biens et activité *existants* suivants sont autorisés en zone rouge :

- « - les travaux de restauration, d'entretien et de gestion courante des biens et activités implantés antérieurement à la publication du présent plan, à condition de ne pas aggraver les risques et leurs effets; [...]

### Risque retrait-gonflement des argiles

L'ensemble du département de Tarn-et-Garonne est couvert par un Plan de prévention des risques naturels Mouvements différentiels de sols datant du 25 avril 2005.

L'article I-1-1 prescrit pour tous les bâtiments collectifs et permis groupés :

- « la réalisation d'une étude définissant les dispositions constructives nécessaires pour assurer la stabilité des constructions vis-à-vis du risque avéré de tassement ou de soulèvement différentiel et couvrant la conception, le pré-dimensionnement et l'exécution des fondations, ainsi que l'adaptation de la construction aux caractéristiques du site, conformément à la mission géotechnique type G0 + G12 spécifiée dans la norme NF P94-500. »

## 2.4. Protections d'espaces naturels

Le moulin ne s'inscrit dans aucune zone de protection d'espaces naturels (Site Natura 2000, parc naturel, réserve naturelle, arrêté de protection du biotope, ZNIEFF, etc.).

## 2.5. Protections du patrimoine

Le moulin ne s'inscrit dans aucune zone de protection du patrimoine (monument ou abords de monument classé ou inscrit, site classé ou inscrit, etc.)

## 2.6. Protections spécifiques au cours d'eau

### Liste 1 et liste 2

La Loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) de 2006<sup>6</sup> a introduit, dans l'article L214-17 du Code de l'environnement<sup>7</sup>, deux listes de cours d'eau :

- la liste 1, sur lesquels « *aucun nouvel ouvrage faisant obstacle à la continuité écologique ne peut être construit* » ;
- la liste 2, sur lesquels les ouvrages existants doivent être « *gérés, entretenus et équipés* » afin de permettre la « *libre circulation des poissons* » et le « *transit suffisant des sédiments* ».

Le Candé n'est classé ni liste 1, ni liste 2. Il n'est pas considéré comme réservoir biologique au titre du Code de l'environnement.

### Inventaire frayères

Le préfet de Tarn-et-Garonne a dressé l'inventaire des frayères du département dans l'arrêté préfectoral n°2012354-0007 du 19/12/2012<sup>8</sup>.

Dans cet inventaire, le Candé est considéré comme susceptible d'abriter des frayères des espèces de poissons suivantes :

- truite fario ;
- vandoise.

Aussi, l'inventaire indique qu'a été observée sur le Lère et ses affluent (dont le Candé) la présence de l'espèce de crustacés suivante :

- écrevisse à pieds blancs.

## 2.7. Usages

### Seuils et moulins

Le Référentiel des obstacles à l'écoulement (ROE)<sup>9</sup> recense les seuils à proximité du moulin (d'amont en aval) tels que présentés dans le tableau ci-dessous.

N° de ROE	Nom de l'obstacle
70273	Seuil du lavoir de Lapenche
70274	Seuil du moulin-Bas
70275	Seuil du moulin de Bro

Tableau 2 Obstacles à l'écoulement à proximité du moulin

A 400 m linéaire en amont se trouve le Moulin-Haut, implanté sur le ruisseau de Gleich, affluent rive droite du Candé. A 1,35 km linéaire en aval se trouve le Moulin de Bro, sur le Candé.

Ces seuils et moulins sont localisés sur la figure ci-dessous.

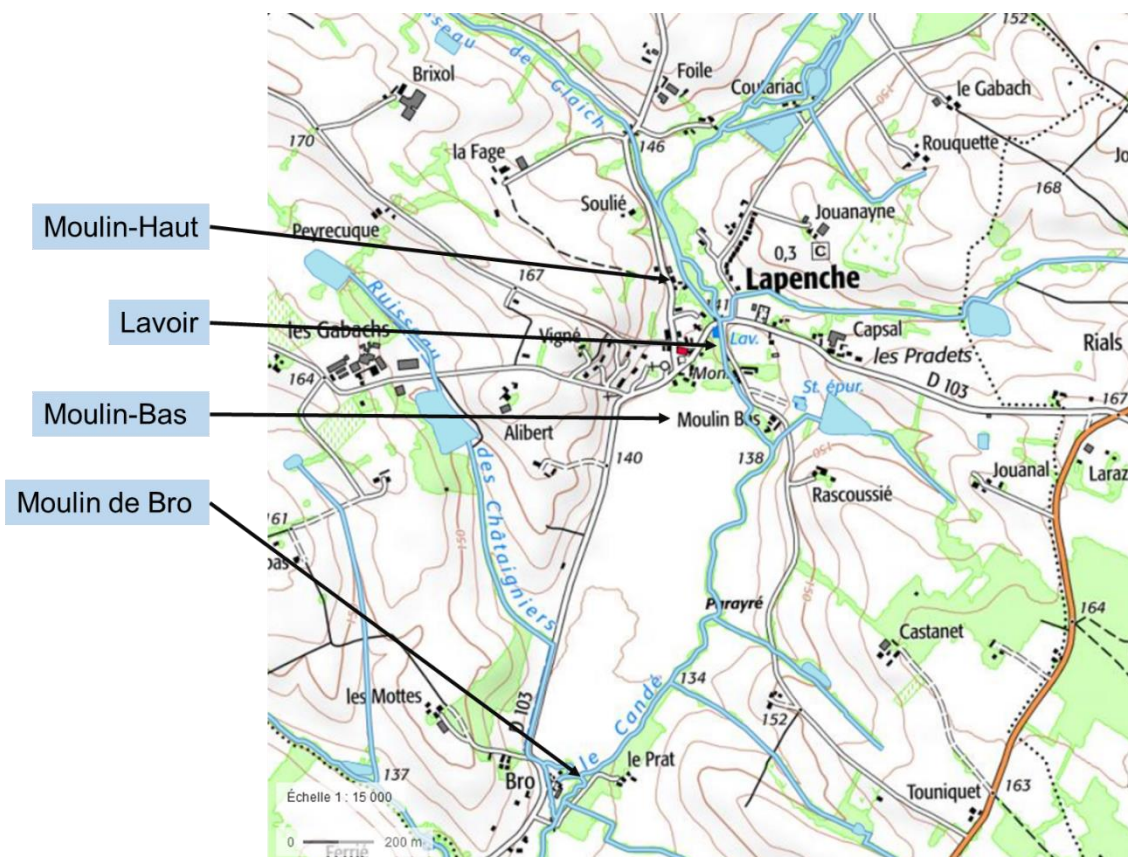


Figure 9 Localisation des seuils et des moulins en amont et en aval

## Prélèvements

La Base nationale des prélèvements en eau<sup>10</sup> recense à Lapenche un volume d'eau prélevé de plus de 175 000 m<sup>3</sup> en 2020, par l'intermédiaire de 9 ouvrages de prélèvement d'eau de surface. L'eau prélevée est destinée exclusivement à l'irrigation.

## Pêche

D'après la carte interactive de la Fédération départementale de pêche et de protection des milieux aquatiques de Tarn-et-Garonne<sup>11</sup>, le Candé est un cours d'eau de 2<sup>ème</sup> catégorie piscicole.

### 3. Démarches administratives

#### 3.1. SDAGE Adour-Garonne

Le Schéma directeur d'aménagement et de gestion de l'eau (SDAGE) Adour-Garonne en vigueur est le SDAGE 2022-2027, adopté par le comité de bassin le 10/03/2022<sup>12</sup>.

Le Tableau 3ci-après présente les orientations et dispositions du SDAGE 2022-2027 qui concernent particulièrement le projet hydroélectrique au Moulin-Bas, ainsi que les conditions pour que le projet soit compatible avec ces dispositions.

Orientation	Disposition	Compatibilité
<b>B</b> Réduire les pollutions	<b>B31</b> Maintenir et restaurer la qualité des eaux de baignade, dans un cadre concerté à l'échelle des bassins versants	Evitement des rejets de produits dans l'eau. Utilisation de produits biodégradables (huiles, graisses, etc.)
<b>C</b> Agir pour assurer l'équilibre quantitatif	<b>C26</b> Gérer la crise	Règlement d'eau du moulin à adapter aux situations de crise hydrique
<b>D</b> Préserver et restaurer les fonctionnalités des milieux aquatiques et humides	<b>D1</b> Favoriser l'atteinte du meilleur équilibre entre les enjeux de préservation des milieux aquatiques et de production hydroélectrique	Equipement d'un ouvrage existant Pas de création de nouveau seuil
	<b>D5</b> Analyser les régimes hydrologiques à l'échelle du bassin et adapter les règlements d'eau	Règlement d'eau du moulin à adapter aux régimes hydrologiques
	<b>D7</b> Fixation, réévaluation et ajustement du débit réservé en aval des ouvrages	Débit réservé à (ré)évaluer en fonction des besoins du milieu
	<b>D9</b> Améliorer la gestion des matériaux stockés dans les retenues pour favoriser le transport naturel des sédiments des cours d'eau	Besoins en transit sédimentaire au niveau de la retenue à étudier et règlement d'eau à adapter le cas échéant
	<b>D23</b> Mettre en œuvre les mesures nécessaires à la restauration de la continuité écologique	Dispositifs spécifiques à mettre en œuvre en fonction des besoins (montaison, dévalaison, etc.) et selon les obligations réglementaires
	<b>D30</b> Préserver les milieux aquatiques et humides à forts enjeux environnementaux	Séquence Eviter-Réduire-Compenser (ERC) à mener sur les impacts éventuels sur les milieux aquatiques
	<b>D45</b> Préserver les espèces des milieux aquatiques et humides	Les habitats et sites de reproduction des espèces

	remarquables menacées et quasi-menacées de disparition du bassin	menacées doivent être identifiés et préservés le cas échéant
--	--	--

Tableau 3 Orientations et dispositions du SDAGE 2022-2027 et compatibilité du projet

A noter qu'au sens du SDAGE 2022-2027, le Candé :

- n'est pas considéré comme réservoir biologique ;
- n'est pas considéré en très bon état écologique ;
- n'est pas considéré comme un axe à grands migrateurs amphihalins.

Le Tableau 4 présente les états écologique et chimique de la masse d'eau FRFR380 : « Le Candé<sup>13</sup> » ainsi que les objectifs inscrits dans le SDAGE 2022-2027.

	Etat actuel	Objectif SDAGE 2022-2027
Etat écologique	Bon état	Bon état 2015
Etat chimique	Bon état	Bon état 2015

Tableau 4 Etats et objectifs de la masse d'eau

### 3.2. SAGE/Contrat de milieu

La zone d'étude :

- ne s'inscrit pas dans le périmètre d'un établissement public territorial de bassin (EPTB) ou dans le périmètre d'un établissement public d'aménagement et de gestions des eaux (EPAGE)<sup>14</sup> ;
- ne s'inscrit pas dans le périmètre d'un syndicat mixte de bassin ou de rivière ;
- ne s'inscrit pas dans le périmètre d'un Schéma d'aménagement et de gestion de l'eau (SAGE) en projet, en vigueur ou achevé<sup>15</sup>.

A noter qu'un contrat de milieu intitulé « Aveyron Aval-Lère » a été porté par le Conseil général de Tarn-et-Garonne entre 2000 et 2005. Ce contrat est actuellement achevé<sup>16</sup>.

### 3.3. Code de l'énergie et Code de l'environnement

Les installations hydroélectriques sont soumises aux dispositions du Livre V du Code de l'énergie. Notamment, l'article L511-1 du Code de l'énergie<sup>17</sup> stipule que :

« Nul ne peut disposer de l'énergie des marées, des lacs et des cours d'eau, quel que soit leur classement, sans une concession ou une autorisation de l'Etat. »

Toutefois, l'article L511-4 du même code<sup>18</sup> précise :

« Ne sont pas soumises aux dispositions du présent livre : 1° Les usines ayant une existence légale ; [...] »

L'article L214-3 du Code de l'environnement<sup>19</sup> stipule que :

« I.-Sont soumis à autorisation de l'autorité administrative les installations, ouvrages, travaux et activités susceptibles de présenter des dangers pour la

*santé et la sécurité publique, de nuire au libre écoulement des eaux, de réduire la ressource en eau, d'accroître notablement le risque d'inondation, de porter gravement atteinte à la qualité ou à la diversité du milieu aquatique, notamment aux peuplements piscicoles. [...]*

*II.-Sont soumis à déclaration les installations, ouvrages, travaux et activités qui, n'étant pas susceptibles de présenter de tels dangers, doivent néanmoins respecter les prescriptions édictées en application des [articles L. 211-2 et L. 211-3](#).*

Toutefois, l'article L214-6 du même code<sup>20</sup> précise :

*« II.-Les installations, ouvrages et activités déclarés ou autorisés en application d'une législation ou réglementation relative à l'eau antérieure au 4 janvier 1992 sont réputés déclarés ou autorisés en application des dispositions de la présente section. Il en est de même des installations et ouvrages fondés en titre. »*

L'article R214-18-1 du Code de l'environnement ajoute :

*« I. – Le confortement, la remise en eau ou la remise en exploitation d'installations ou d'ouvrages existants fondés en titre ou autorisés avant le 16 octobre 1919 pour une puissance hydroélectrique inférieure à 150 kW sont portés, avant leur réalisation, à la connaissance du préfet avec tous les éléments d'appréciation.*

*II. – Le préfet, au vu de ces éléments d'appréciation, peut prendre une ou plusieurs des dispositions suivantes :*

*1° Reconnaître le droit fondé en titre attaché à l'installation ou à l'ouvrage et sa consistance légale ou en reconnaître le caractère autorisé avant 1919 pour une puissance inférieure à 150 kW ;*

*2° Constater la perte du droit liée à la ruine ou au changement d'affectation de l'ouvrage ou de l'installation ou constater l'absence d'autorisation avant 1919 et fixer, s'il y a lieu, les prescriptions de remise en état du site ;*

*3° Modifier ou abroger le droit fondé en titre ou l'autorisation en application des dispositions du II ou du II bis de l'article L. 214-4 ;*

*4° Fixer, s'il y a lieu, des prescriptions complémentaires dans les formes prévues à l'article R. 181-45. »*

### **3.4. Droit fondé en titre**

Dans le cadre de cette étude, le Moulin-Bas fait l'objet d'une Note technique de détermination de droit fondé en titre, fournie en Annexes.

Cette note démontre l'existence légale du moulin, et argumente la consistance légale sur la base des valeurs suivantes :

- Hauteur de chute brute : 2,627 m ;
- Débit maximal de dérivation : 5,3 m<sup>3</sup>/s ;
- Puissance maximale brute (consistance légale) : 136,6 kW.

Il est à noter que conformément à l'article R214-18-1 du Code de l'environnement sus-cité, il appartient au préfet de reconnaître le droit d'eau fondé en titre (existence et consistance légales) et qu'à cette occasion, il peut fixer des prescriptions complémentaires.

### **3.5. Police de l'eau**

Les droits d'eau fondés en titre restent soumis à la Police de l'eau, et notamment aux dispositions suivantes du Code de l'environnement :

- Art. L214-4<sup>21</sup> : ils peuvent être abrogés ou modifiés, sans indemnité, pour des motifs de salubrité publique, de sécurité publique, de préservation des milieux aquatiques ou si les ouvrages sont abandonnés ou non-entretenus ;
- Art. L214-17 sus-cité : les obligations de conformité vis-à-vis de la continuité écologique (circulation des poissons migrateurs et transport des sédiments) s'appliquent aux ouvrages fondés en titre ;
- Art. L214-18 : obligations de maintenir à l'aval immédiat des ouvrages un débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux (voir plus bas).

### **3.6. Déclaration ou autorisation de travaux**

Dans le cadre de la remise en exploitation du moulin, les travaux nécessaires pourront faire l'objet d'une déclaration ou d'une autorisation au titre de l'article R214-1 du Code de l'environnement<sup>22</sup>, notamment vis-à-vis des rubriques suivantes :

- 3.1.2.0. : installations, ouvrages, travaux ou activités conduisant à modifier le profil en long ou le profil en travers du lit mineur d'un cours d'eau ;
- 3.1.4.0. : consolidation ou protection des berges ;
- 3.1.5.0. : installations, ouvrages, travaux ou activités, dans le lit mineur d'un cours d'eau, étant de nature à détruire les frayères, les zones de croissance ou les zones d'alimentation de la faune piscicole, des crustacés et des batraciens, ou dans le lit majeur d'un cours d'eau, étant de nature à détruire les frayères de brochet ;
- 3.2.1.0. : entretien de cours d'eau ou de canaux.

Enfin, s'il était avéré que des espèces protégées devaient être détruites, une demande de dérogation pour la destruction d'espèces protégées devra également être sollicitée.

L'autorité administrative compétente est la préfecture de Tarn-et-Garonne, via le service de Police de l'eau de la DDT 82<sup>23</sup>.

## 4. L'hydrologie

### 4.1. Présentation du cours d'eau

Le Candé est un cours d'eau naturel non navigable de 18 km de longueur. Il prend sa source dans la commune de Labastide-de-Penne (82) à 332 m d'altitude et se jette dans La Lère au niveau de la commune de Caussade (82) à 110 m d'altitude. Le Candé est un sous-affluent de l'Aveyron.

Le réseau hydrographique du Candé, de sa source jusqu'à son confluent, est représenté sur la figure ci-dessous Figure 10.

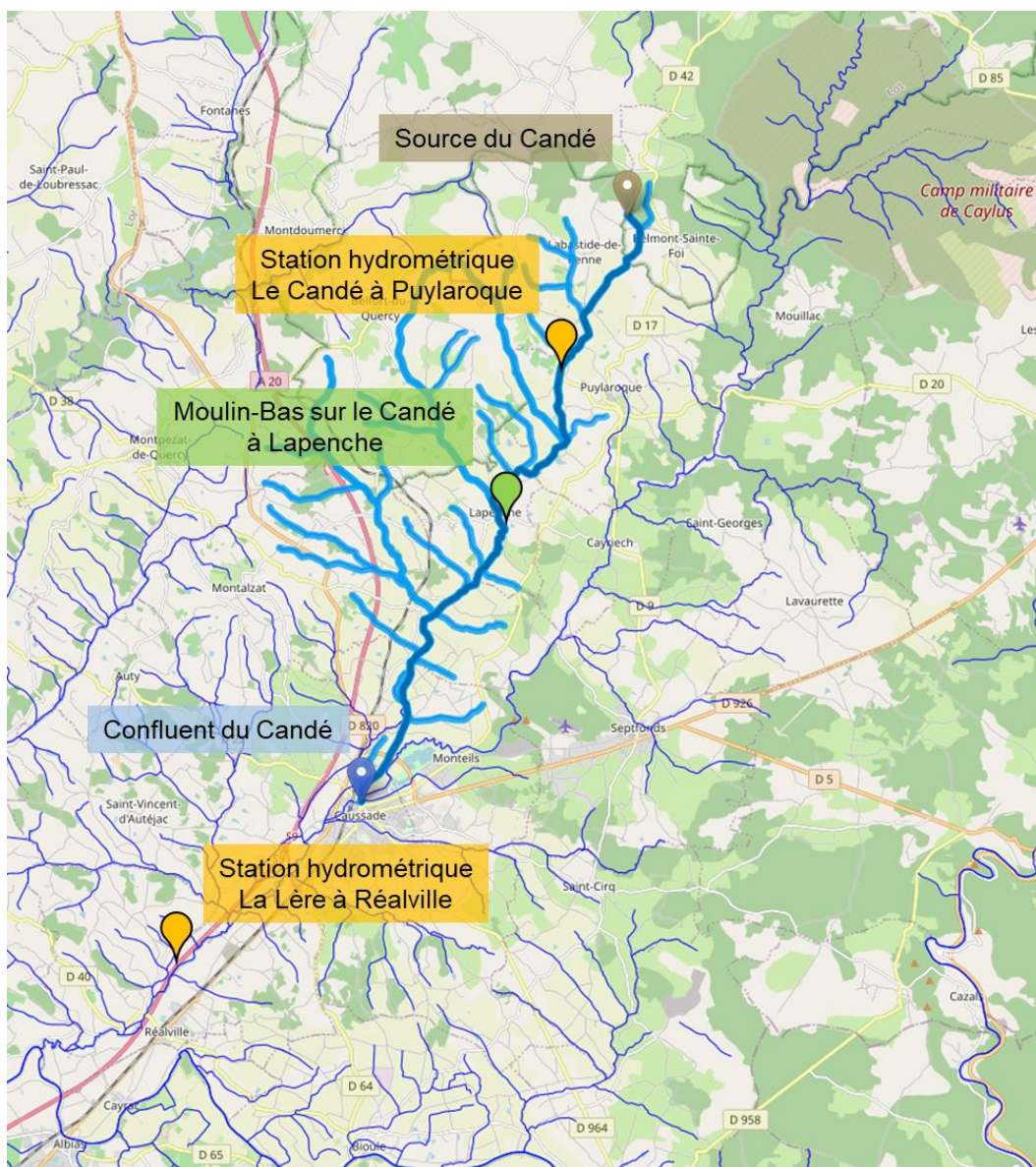


Figure 10 Réseau hydrographique du Candé et position des stations hydrométriques par rapport au moulin (source : Sandre<sup>24</sup>)

Le Candé possède une source karstique au droit du village de Puylaroque, drainant le secteur sud du Causse de Limogne. Cette source a fait l'objet de plusieurs études hydrogéologiques, dont 2 études récentes du Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)<sup>25,26</sup>.

Des traçages réalisés en 1999 révèlent un bassin d'alimentation commun entre la source du Candé et la source de la Lère. La surface du bassin d'alimentation du Candé est estimée par le BRGM à 100 km<sup>2</sup>.

D'après un rapport de la société Sogreah d'avril 1997, cité par le BRGM, le débit moyen annuel naturel de la source est estimé à 305 l/s, avec de fortes fluctuations allant de 500 l/s en période pluvieuse à moins de 60 l/s en période d'étiage.

Cette source a longtemps alimenté en eau potable le village de Puylaroque, puis le réseau d'eau potable du Syndicat des Eaux et de l'Assainissement de Montpézat-Puylaroque, et aujourd'hui le Syndicat Intercommunal des Eaux et d'Assainissement Candé Aveyron (SIEACA), via un champ captant comportant 4 ouvrages de prélèvements, dont un forage de 70 m de profondeur mis en service en 2003.

La Base nationale des prélèvements en eau recense plus d'1 millions de m<sup>3</sup> d'eau prélevés par an en moyenne dans la source du Candé pour l'eau potable.

## 4.2. Détermination de la station hydrométrique de référence

Le Candé dispose d'une unique station hydrométrique installée à Puylaroque. Toutefois, cette station a pour finalité le suivi des étiages et est régulièrement inactive. Les données disponibles sont donc très parcellaires.

La deuxième station hydrométrique la plus proche est installée sur la Lère à Réalville, en aval du confluent avec le Candé.

Le portail de données hydrométriques Hydroportail<sup>27</sup> recense les caractéristiques concernant ces stations comme consigné dans le tableau ci-dessous Tableau 5.

	Station du Candé à Puylaroque	Station de la Lère à Réalville
<b>Code station</b>	O582 0001 01	O588 2510 01
<b>Distance avec la zone d'étude</b>	4,8 km linéaires en amont	15,6 km linéaires en aval
<b>Surface de bassin versant</b>	15 km <sup>2</sup>	366 km <sup>2</sup>
<b>Activité de la station</b>	[2002-2022] Soit 21 ans	[1968-2023] Soit 55 ans
<b>Qualité des données</b>	Toutes les années sont qualifiées provisoires	Toutes les années sont qualifiées bonnes jusqu'en 2016, puis provisoires
<b>Complétude des données</b>	Presque toutes les années sont incomplètes	Presque toutes les années sont complètes

*Tableau 5 Caractéristiques des stations hydrométriques*

On remarque que les données de la station de la Lère sont beaucoup plus longues et de meilleure qualité que les données de la station du Candé. Bien que cette station soit plus éloignée du moulin est située sur la rivière confluyente, celle-ci est prise comme station de référence.

Afin de refléter au mieux les débits actuels, mais aussi dans l'objectif de dégager des tendances, les 20 dernières années complètes de données sont considérées dans la suite, c'est-à-dire la chronique 2001-2022 (les années 2007 et 2008 étant écartées).

### 4.3. Reconstitution hydrologique au droit du moulin

La reconstitution hydrologique consiste ainsi à appliquer un facteur aux débits de la station hydrométrique de référence afin de reconstituer les débits au droit du moulin. La formule de calcul par analogie de bassins versants, appliquée aux débits moyens journaliers, est utilisée :

$$QJM_{Le\ Candé\ au\ Moulin-Bas\ (reconstitués)} = \left( \frac{SurfBV_{Le\ Candé\ au\ Moulin-Bas}}{SurfBV_{station\ hydrométrique\ de\ réf.}} \right)^{Coeff_{Myer}} \times QJM_{station\ hydrométrique\ de\ réf. (mesurés)}$$

La différence de surface de bassin versant entre la zone d'étude et la station hydrométrique de référence est illustrée sur la figure ci-dessous. Le rapport de surface est égal à 0,11.



Figure 11 Illustration des bassins versants de la zone d'étude et de la station hydrométrique de référence

La valeur du coefficient de Myer, qui traduit la différence d'hydraulicité entre un bassin versant et un sous-bassin versant, est déterminée de telle sorte que le module résultant de la reconstitution hydrologique est égal au module calculé par l'ONEMA-CEMAGREF/IRSTEA en 2012 sur la période [1970-2005]<sup>28</sup>, recalibré sur la période [2001-2022] à partir des données à la station hydrométrique de référence, comme indiqué dans le tableau ci-dessous.

	Station hydrométrique La Lère à Réalville	Le Candé au Moulin-Bas
Module simulé (ONEMA-CEMAGREF/IRSTEA 2012) [1970-2005]	2,53 m3/s	0,265 m3/s
Module mesuré (Hydroportail) [2001-2022]	1,96 m3/s	-
Facteur de recalibration	0,77	
Module simulé recalibré	-	0,204 m3/s
Coefficient de Myer de la reconstitution hydrologique	-	1,02
Module de la reconstitution hydrologique	-	0,204 m3/s

Tableau 6 Détermination du coef. de Myer à partir du module de l'ONEMA-CEMAGREF/IRSTEA

On note que le module simulé du Candé sur la période [1970-2005] est cohérent avec le débit moyen annuel naturel de la source du Candé estimé par Sogreah en 1997 (305 l/s).

Les caractéristiques hydrologiques ainsi reconstituées du Candé au droit du Moulin-Bas sont consignées dans le tableau suivant Tableau 7.

Le Candé au Moulin-Bas	
Module	0,204 m3/s
Débit médian	0,077 m3/s
Module spécifique	5,1 l/s/km <sup>2</sup>
QMNA5	0,004 m3/s

Tableau 7 Caractéristiques hydrologiques reconstituées

Le QMNA5 représente le débit mensuel d'étiage ayant une probabilité d'être dépassé 4 années sur 5.

On obtient une chronique de débits moyens journaliers sur la période 2001-2022 au droit du Moulin-Bas, comme présenté ci-après Figure 12.

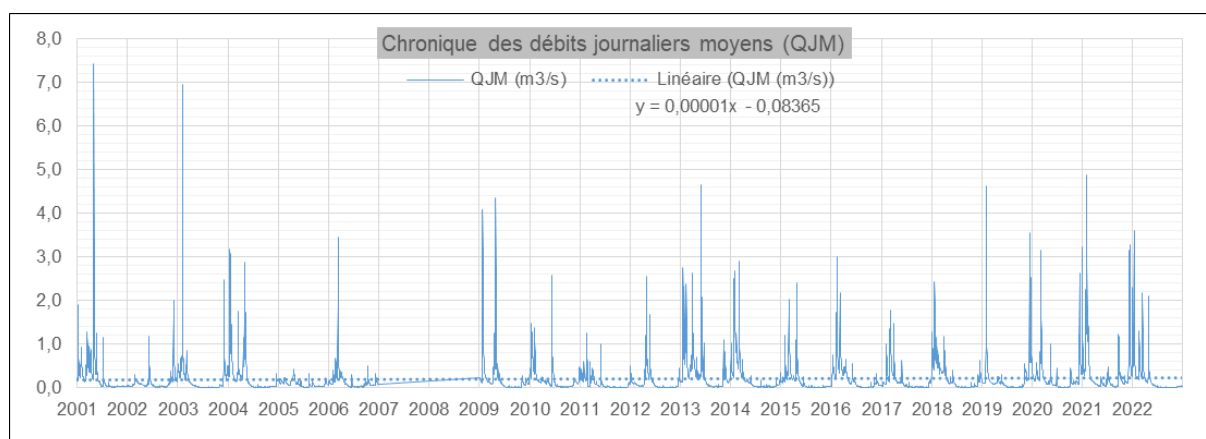


Figure 12 Chronique des débits journaliers moyens 2001-2022

On observe une grande variation des débits journaliers moyens, de quelques l/s à plusieurs m3/s. Le débit journalier moyen le plus important sur la période est observé le 01/05/2001 avec 7,43 m3/s.

En observant les débits annuels moyens, présentés sur la figure suivante Figure 13, on constate une grande variation de l'hydraulicité, avec par exemple une année 2005 particulièrement sèche (0,082 m<sup>3</sup>/s en moyenne) et une année 2021 particulièrement humide (0,365 m<sup>3</sup>/s en moyenne). La tendance globale sur cette période est très légèrement à la hausse avec + 0,003 m<sup>3</sup>/s/an en moyenne.

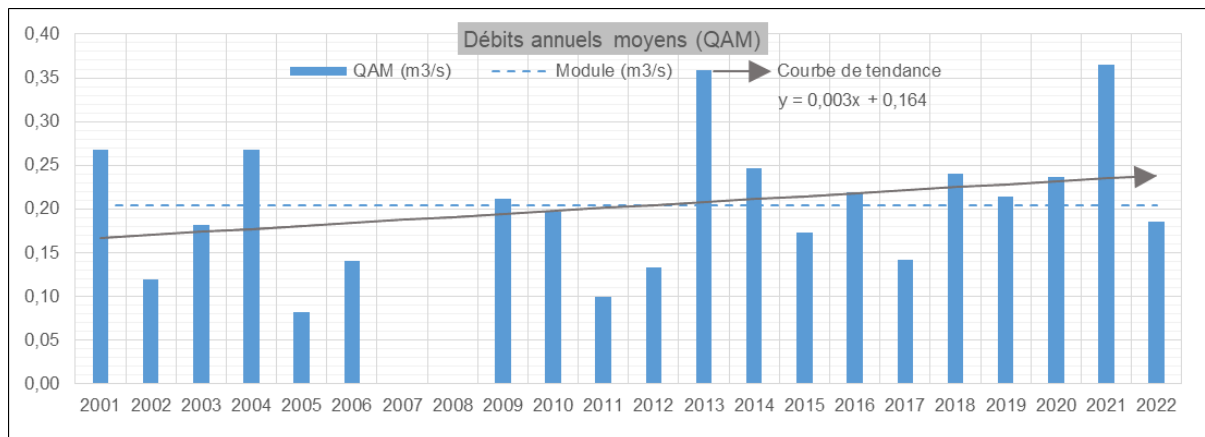


Figure 13 Chronique des débits annuels moyens 2001-2022

Sur le graphique des débits mensuels moyens ci-dessous, on constate que le régime hydraulique est de type pluvial, avec un maximum atteint en février (0,480 m<sup>3</sup>/s) et un minimum atteint en août (0,017 m<sup>3</sup>/s). La saison d'étiage s'étire de juin à novembre inclus.

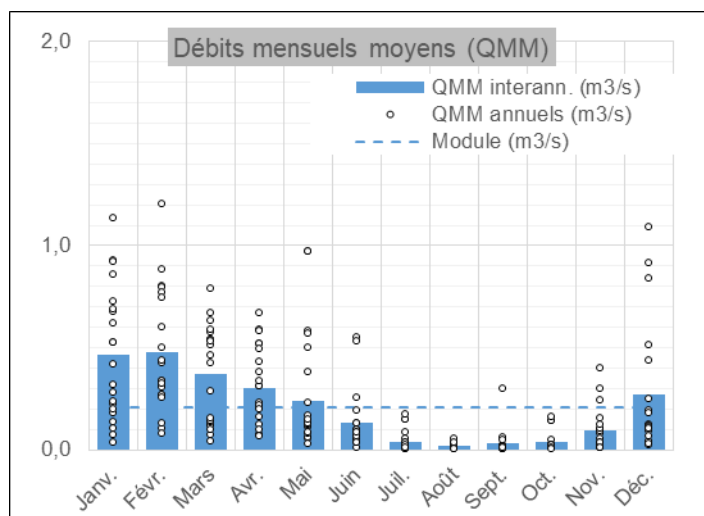


Figure 14 Chronique des débits mensuels moyens 2001-2022

Les courbes des débits classés selon leur fréquence de dépassement, représentés sur une échelle logarithmique, pour l'ensemble de la chronique, ainsi que pour l'année sèche (2005) sont présentées Figure 15.

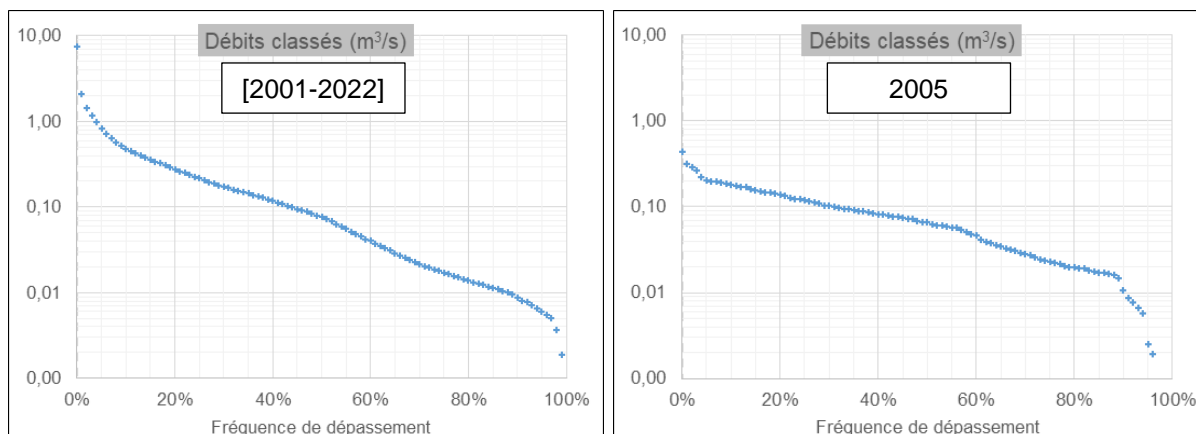


Figure 15 Courbes de débits classés 2001-2022 et 2005 (année sèche)

La fiche de synthèse hydrologique pour la période 2001-2022 est disponible en Annexes.

#### 4.4. Chronique prospective

Dans la suite de l'étude, les performances énergétiques de la centrale hydroélectrique sont simulées à partir d'une chronique de débit dite prospective, tenant compte des tendances observées sur la chronique étudiée ci-avant.

Or, il a été remarqué sur la chronique 2001-2022, représentant les 20 dernières années complètes de données, que la tendance globale était très légèrement à la hausse.

Afin de rester conservatif dans les simulations de performances, il est proposé ici de prendre comme chronique prospective la chronique 2001-2022, sans appliquer la tendance à la hausse constatée.

### 5. La chute

Il est rappelé dans le tableau ci-dessous le calcul de la puissance hydraulique brute d'une centrale hydroélectrique, basée sur l'exploitation de l'énergie d'une chute d'eau.

Type de centrale	Centrale hydroélectrique
Energie exploitée	Energie potentielle de l'eau (énergie d'une chute d'eau)
Paramètre-clé	$H$ hauteur de chute (m)
Calcul de la puissance hydraulique brute	$P (kW) = H \times Q \times 9,81$ Avec : • $Q$ débit de l'eau (m <sup>3</sup> /s)

Figure 16 Calcul de la puissance hydraulique brute

Dans la suite, on s'intéresse à la détermination de la hauteur de chute au droit du moulin.

## 5.1. Chute brute

La hauteur de chute brute en période d'étiage a été mesurée le jour de la visite à 2,627 m. Cette valeur correspond à la hauteur de chute administrative.

La hauteur de chute brute au module est inférieure à la hauteur de chute brute en période d'étiage, en raison du phénomène d'effacement de la chute avec l'augmentation du débit. Ce phénomène est dû au fait que le niveau aval monte plus vite que le niveau amont, et est spécifique à chaque site.

A défaut de mesures disponibles de la hauteur de chute au droit du moulin pour différentes valeurs de débit du cours d'eau, une loi de chute standard est adoptée, et est présentée sur la figure ci-dessous.

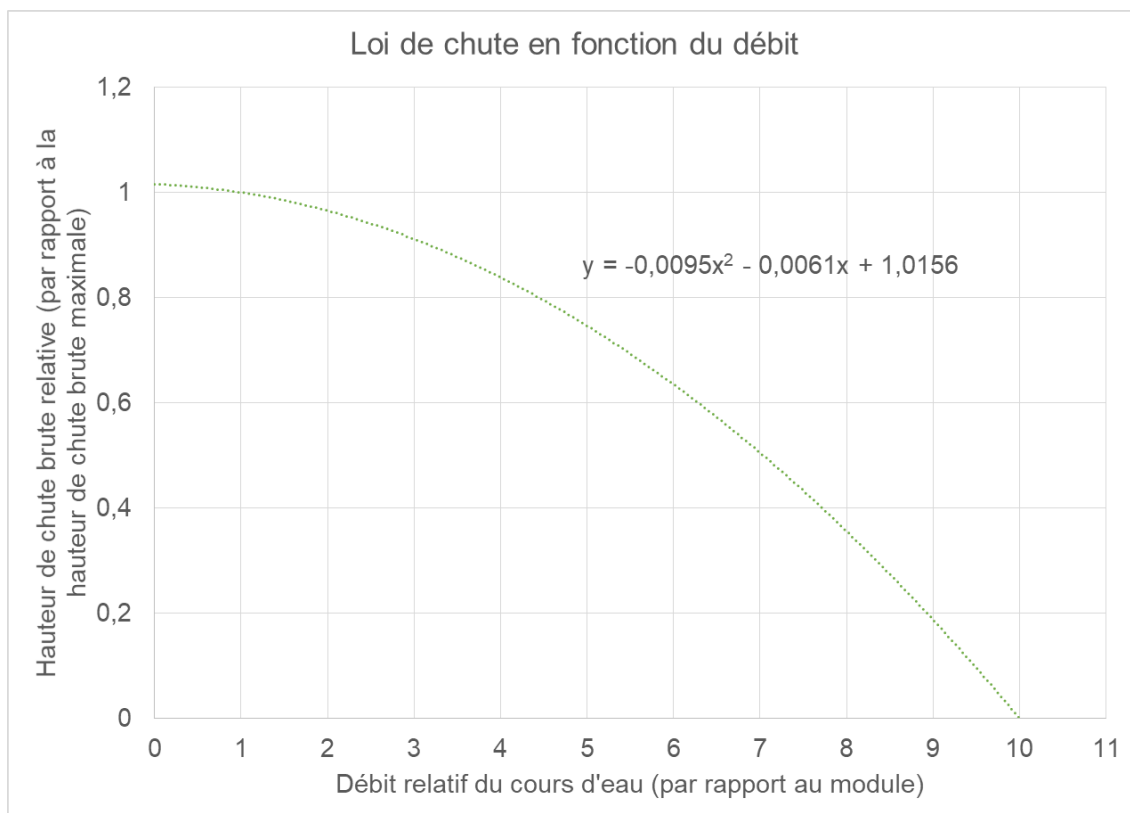


Figure 17 Loi de chute en fonction du débit

Ainsi, la hauteur de chute brute au module peut être déduite de la loi de chute et de la hauteur de chute brute en période d'étiage.

D'après l'analyse hydrologique décrite ci-avant, le débit journalier moyen du Candé au droit du moulin le jour des mesures était de 0,004 m<sup>3</sup>/s, soit 0,02 fois le module.

Avec une hauteur de chute brute ce jour de 2,627 m, et en appliquant la formule de la loi de chute, la hauteur de chute brute au module est égale à 2,59 m.

## 5.2. Pertes de charge

Les pertes de charge maximales dans les canaux de dérivation et de restitution sont estimées à partir de la pente typique des canaux et de leur longueur, comme décrit dans le tableau ci-dessous.

	Canal de dérivation	Canal de restitution
Pente typique	2,5 ‰	
Longueur	72 m	40 m
Pertes de charge estimées au module	0,18 m	0,10 m
<b>TOTAL</b>	0,28 m	

*Tableau 8 Pente typique des canaux et pertes de charge*

Ainsi, les pertes de charges maximales totales sont de l'ordre de 0,28 m, et la hauteur de chute nette au module est arrêtée à 2,3 m.

## 6. Débit dérivable

### 6.1. Débit réservé

Le débit plancher à maintenir dans le cours d'eau au droit du moulin, prévu à l'article L214-18 du Code de l'environnement<sup>29</sup>, afin de garantir en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux, correspond à 1/10<sup>ième</sup> du module du cours d'eau, soit 20 l/s.

A noter que le débit réservé, fixé *in fine* par la DDT 82 dans le cadre de la remise en service du Moulin-Bas, peut être supérieur à cette valeur, en fonction des enjeux du cours d'eau.

Le débit dérivable instantané est ainsi égal au débit instantané du Candé retransché du débit réservé.

### 6.2. Débit maximal de dérivation

Afin de rester dans le cadre du droit fondé en titre du moulin, il est nécessaire que le débit dérivé au Moulin-Bas soit en permanence inférieur ou égal au débit maximal de dérivation du moulin.

Le débit dérivable au Moulin-Bas est donc plafonné à 5,3 m<sup>3</sup>/s, valeur estimée du débit maximal de dérivation du moulin.

### 6.3. Courbe des débits dérivables classés

La figure ci-après présente la courbe des débits dérivables classés au Moulin-Bas.

On observe que la période de dérivation possible représente 65 % du temps seulement. Sur cette période, le débit dérivable médian est égal à 0,131 m<sup>3</sup>/s. Le débit dérivable maximum (5,3 m<sup>3</sup>/s) est atteint moins de 1 % du temps.

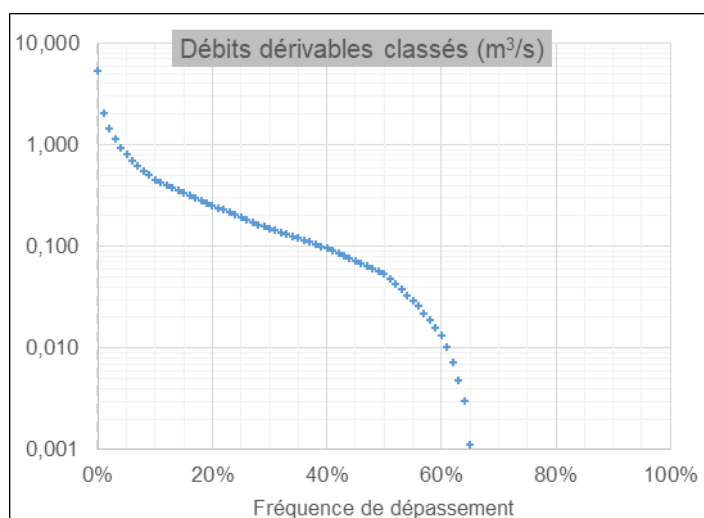


Figure 18 Courbe des débits dérivables classés au Moulin-Bas

## 7. Description du projet

### 7.1. Description du scénario d'équipement

Au vu de la hauteur de chute nette au module de 2,3 m, et du débit dérivable au moulin, la puissance hydraulique est très modeste. Pour cette raison, le scénario d'équipement retenu consiste à rénover les équipements existants (rouet en cuve), et à minimiser les investissements afin de conserver une certaine rentabilité.

#### Description des rouets en cuve

Les rouets en cuve sont typiques des moulins de basse chute du sud-ouest de la France. Leur fonctionnement est similaire à une turbine rudimentaire, à mi-chemin entre la turbine à action (exploitant l'énergie cinétique de l'eau) et la turbine à réaction (exploitant l'énergie cinétique de l'eau et la différence de pression).

Ce type de rouet ne doit pas être confondu avec les rouets dits « volants », également répandus dans le sud-ouest, travaillant à pression atmosphérique et exploitant uniquement l'énergie cinétique de l'eau.

Ces différents types de rouets ont été décrits par Bélidor dans son ouvrage intitulé « Architecture Hydraulique » daté de 1737<sup>30</sup>. Le moulin du Bazacle à Toulouse était muni de 25 rouets à cuve.

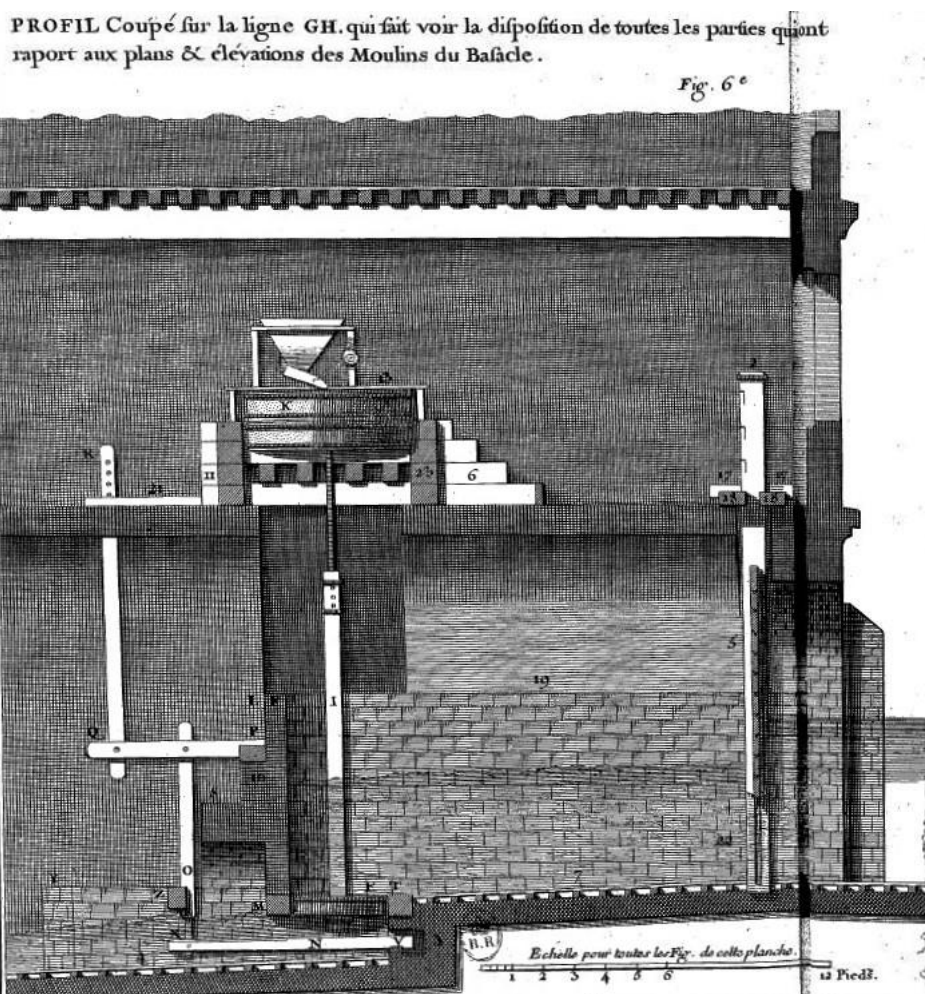


Figure 19 Vue en coupe du Moulin du Bazacle à Toulouse, d'après Bélidor

L'inconvénient principal des rouets réside dans leur faible rendement mécanique (de l'eau à l'arbre). Celui-ci est mal documenté et dépend largement de la qualité de leur conception et de leur fabrication. A ce stade, on considérera une valeur de rendement mécanique des rouets égale à 50 %.

De plus, les rouets ayant été utilisés pour actionner directement des meules, leur vitesse de rotation est voisine de 80 t/min, ce qui est faible.

### **Description de l'installation**

L'installation pourrait comprendre un rouet dans sa cuve, relié en bout d'arbre à un ensemble poulie-courroie, pour amener la vitesse de rotation à environ 400 t/min et entraîner un alternateur à aimants permanents (PMG), dont la faible vitesse de rotation limite par ailleurs les nuisances sonores.

A titre d'illustration, la figure ci-dessous présente un rouet re-fabriqué en polyester et réinstallé dans sa cuve par le propriétaire du Moulin du Batan sur la Gélise à Barbaste (47)<sup>31</sup>. Cette installation produit de l'électricité pour l'alimentation de résistances électriques de chauffage.



*Figure 20 Rouet et cuve du Moulin de Batan, puissance électrique d'environ 3 kW*

Différents charges résistives dédiées pourraient être reliées à l'alternateur, et pilotées par une régulation de type ballast, afin de conserver une vitesse de rotation à peu près constante quel que soient les conditions hydrauliques.

Ces charges résistives constitueraient les uniques récepteurs électriques de l'installation, et pourraient être :

- Un ballon de préchauffage d'eau chaude sanitaire, d'une puissance de l'ordre de 1000 W ;
- Des radiateurs électriques d'appoint pour le chauffage direct de l'air intérieur (habitation/salle des meules/annexes), d'une puissance unitaire de l'ordre de 500 W.



Figure 21 Récepteurs électriques dédiés : ballon de préchauffage d'eau chaude sanitaire et radiateurs électriques d'appoint

### Avantages et inconvénients du scénario

Ce scénario présente les avantages suivants :

- Compatibilité totale avec les conditions hydrauliques du moulin ;
- Préservation totale des techniques et du bâti existants;
- Besoins en régulation limités ;
- Coûts réduits.

Les inconvénients de ce scénario sont les suivants :

- Faible rendement mécanique du rouet ;
- Faible vitesse de rotation obligeant la multiplication par poulie-courroie ;
- Faible qualité de l'électricité produite, imposant l'utilisation de récepteurs électriques dédiés de type résistifs.

Les deux figures suivantes présentent la re-fabrication d'un rouet en acier, et son montage avec un ensemble poulie-courroie et un générateur à aimants permanents. Cette installation est décrite par son propriétaire sur le Forum de la petite hydroélectricité<sup>32</sup>.



Figure 22 Installation d'une copie de rouet en acier sur son arbre (source : « blacour », Forum de la petite hydroélectricité)



Figure 23 Système poulie-courroie et générateur de l'ordre de quelques kW (source : « blacour », Forum de la petite hydroélectricité)

Un schéma synoptique de l'installation hydroélectrique du Moulin-Bas est présenté ci-dessous.

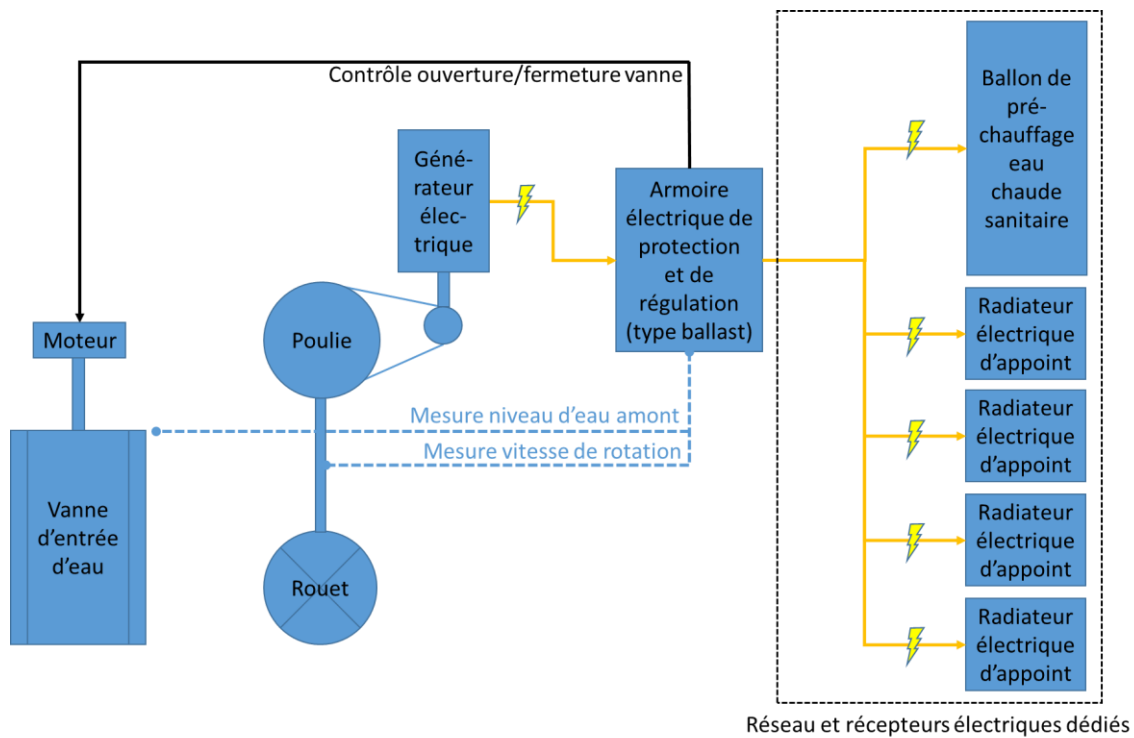


Figure 24 Schéma synoptique de l'installation hydroélectrique

## 7.2. Estimation de la production

### Performances électriques

Les caractéristiques techniques du rouet en cuve sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Rouet en cuve	
Hauteur de chute nominale	2,3 m
Débit nominal (estimé)	0,300 m <sup>3</sup> /s
Vitesse de rotation	80 t/min env.
Rendement nominal	50 %

Tableau 9 Caractéristiques techniques du rouet en cuve

Ce type de moteur hydraulique, ne comportant aucun élément de réglage intrinsèque (pales mobiles, distributeur réglable, etc.), présente une courbe de rendement très pointue, comme présentée sur la figure ci-dessous.

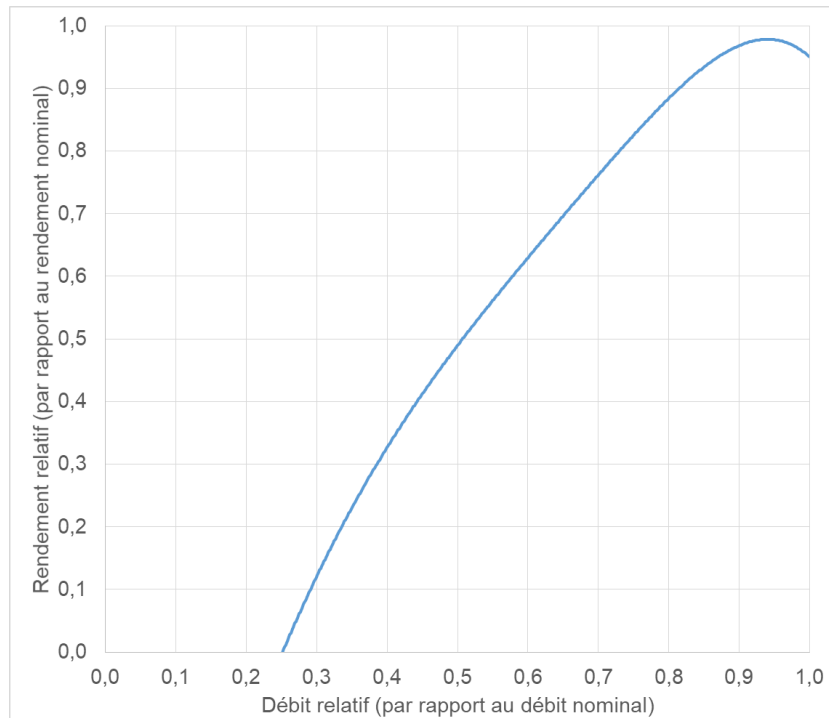


Figure 25 Courbe de rendement relatif du rouet en cuve en fonction du débit relatif

Par ailleurs, les rouets en cuve fonctionnant pour partie grâce à la pression de l'eau, le débit absorbé est dépendant de la hauteur de chute instantanée, comme décrit par l'équation ci-dessous.

$$Q_{\text{absorbé}} = Q_{\text{nominal}} \times \sqrt{\frac{H}{H_{\text{nominale}}}}$$

Enfin, les rendements électriques considérés sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Rendements électriques	
Transmission poulie-courroie	0,97
Générateur PMG	0,90

Tableau 10 Rendements électriques

Le rendement global nominal est ainsi égal à 0,45 %, et la puissance électrique nominale est égale à 2,9 kW.

Les performances sont simulées au pas de temps journalier à partir de la chronique de débits reconstitués. Les résultats détaillés de la simulation sont présentés en Annexes.

On obtient les puissances électriques classées comme présenté sur la figure suivante.

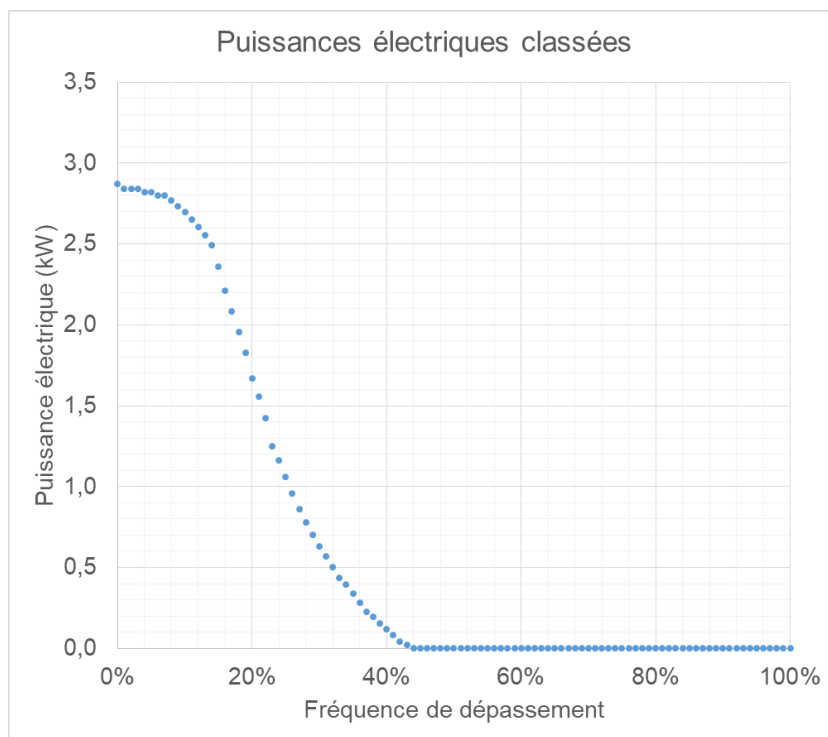


Figure 26 Puissances électriques classées de l'installation hydroélectrique

On constate que l'installation produit de l'électricité seulement 43 % du temps. La puissance électrique nominale n'est atteinte que 10 % du temps environ.

En-dehors des périodes où l'installation ne produit pas, la puissance électrique médiane est de 1,4 kW, et la puissance électrique moyenne est de 1,5 kW.

Installation hydroélectrique	
Fréquence de fonctionnement	43 %
Fréquence de fonctionnement à pleine puissance (95 %)	10 %
Productible annuel moyen	5,75 MWh

Tableau 11 Performances de l'installation hydroélectrique

## 8. Aspects économiques

### 8.1. Consommation électrique actuelle

Les données de consommation électrique du moulin au pas de temps infra-horaire ont été recueillies auprès d'ENEDIS sur accord formel du propriétaire-occupant du moulin.

Sur l'année 2022, la consommation électrique du moulin s'est élevée à 5,1 MWh. La consommation mensuelle moyenne est de 430 kWh.

La répartition mensuelle de cette consommation est représentée sur la figure ci-dessous.

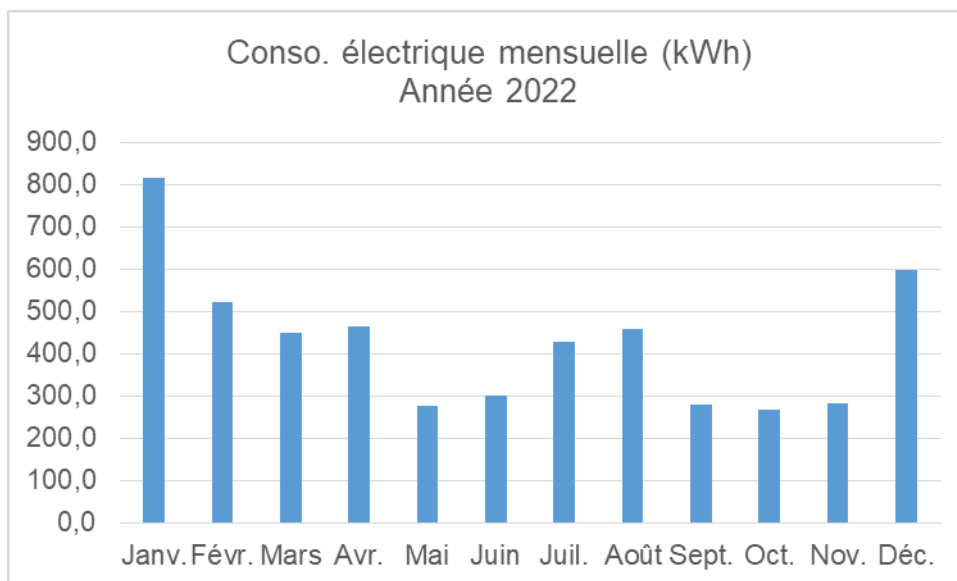


Figure 27 Consommation électrique mensuelle du moulin – année 2022

On remarque que la consommation est assez thermosensible, avec des consommations supérieures à la moyenne de décembre à avril. On note aussi des consommations supérieures à la moyenne en juillet et en août.

## 8.2. Hypothèses d'autoconsommation

La production étant maximale durant les mois humides (décembre-mai), qui sont aussi les plus froids, la valorisation de l'électricité produite sous forme de chaleur (chauffage, eau chaude sanitaire) est particulièrement pertinente. En-dehors des périodes de chauffage, seule la valorisation via le chauffage de l'eau chaude sanitaire est possible.

La production d'hydroélectricité permet ainsi de satisfaire une partie des usages existants suivants :

- Production d'eau chaude sanitaire du moulin, via l'installation d'un ballon de préchauffage de l'eau chaude sanitaire ;
- Chauffage occasionnel de la « petite maison », via l'installation de radiateurs électriques d'appoint dédiés.

La production d'hydroélectricité permet également de satisfaire de nouveaux usages, améliorant le confort de l'habitat, comme :

- Amélioration du chauffage du moulin, via l'installation de radiateurs électriques d'appoint dédiés (chambre, salle de bains, salon) ;
- Chauffage occasionnel de la future « écurie », via l'installation de radiateurs électriques d'appoint dédiés ;
- Chauffage réduit continu de la « petite maison » et de la future « écurie ».

A partir de ce constat, il est fait l'hypothèse qu'environ 75 % du productible annuel moyen sera effectivement consommable, et donc produit, ce qui représente 4,3 MWh par an.

### 8.3. Economies réalisables

Le moulin dispose actuellement d'un contrat heures-pleines/heures-creuses dont les tarifs sont présentés dans le tableau ci-dessous.

	Heures-pleines	Heures-creuses
<b>Périodes</b>	Lundi, mardi, jeudi, vendredi 6h - 22h	Lundi, mardi, jeudi, vendredi 22h - 6h  Mercredi, samedi, dimanche 0h - 24h
<b>Tarif</b>	24,94 c€ TTC/kWh	17,49 c€ TTC/kWh

*Tableau 12 Tarifs du contrat d'électricité du moulin*

En faisant l'hypothèse que sans l'installation hydroélectrique, et à service équivalent (usages existants et nouveaux usages), l'électricité serait soutirée du réseau pour 1/3 en heures-pleines et pour 2/3 en heures-creuses, on obtient un tarif moyen de 19,97 c€/kWh, arrondi à 20 c€/kWh.

On considérant un taux d'inflation du tarif de l'électricité de 3 % par an, et une durée de vie de l'installation hydroélectrique de 20 ans, le tarif moyen de l'électricité sur la durée de vie du projet est égal à 27 c€/kWh.

Pour une quantité d'énergie autoproduite de 4,3 MWh par an, on obtient ainsi une économie de 1 160 €/an avec l'installation hydroélectrique.

### 8.4. Coûts d'investissement

Les coûts d'investissement sont scindés en deux catégories :

- Investissement d'entretien normal indépendant du projet hydroélectrique ;
- Investissement spécifique au projet hydroélectrique.

#### **Investissement d'entretien normal indépendant du projet hydroélectrique**

Cet investissement concerne des travaux d'entretien et d'équipement qui apparaissent nécessaire pour la bonne gestion hydraulique du moulin, en-dehors de tout projet d'équipement.

Ces travaux comprennent :

- La création d'une échancrure dans le seuil, calibrée de manière à restituer le débit réservé décrit plus haut ;
- La mise en place d'un système de vannage au niveau de la prise d'eau, permettant à la fois d'isoler hydrauliquement le moulin pour les travaux d'entretien (notamment sur le canal de dérivation), mais aussi d'empêcher la pénétration des embâcles lors des périodes de hautes-eaux ;
- L'entretien des vannes de décharge et d'entrées d'eau du moulin, afin de garantir leur bonne manœuvre et étanchéité.

Ces travaux sont localisés sur la figure ci-dessous.

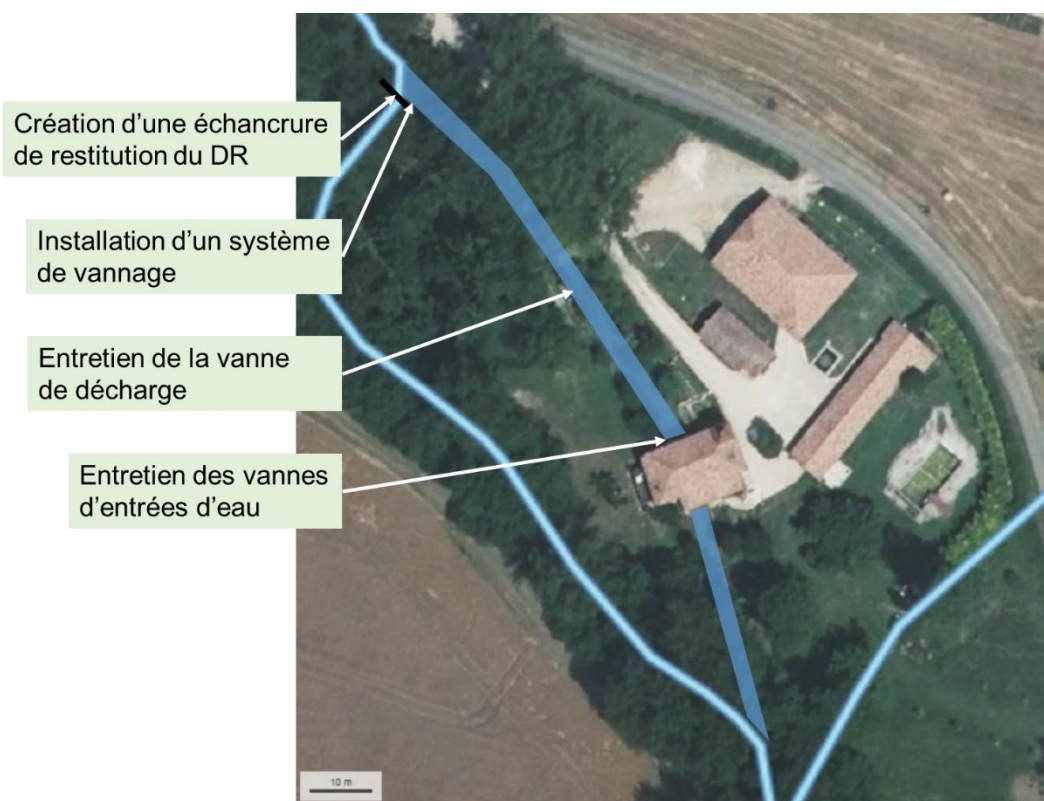


Figure 28 Localisation des travaux liés à l'investissement d'entretien normal

La décomposition de l'investissement associé à ces travaux est présentée dans le tableau ci-dessous.

Poste	Localisation	Description	Coût estimatif (€ HT)
Terrassement, génie-civil	Seuil	Création d'une échancrure pour la restitution du débit réservé	250
	Prise d'eau	Mise en place et retrait d'un batardeau	500
		Création d'un radier béton pour le système de vannage	1 000
	Décharge	Suivi de la maçonnerie, décapage du radier (concrétions calcaires)	250
Chaudronnerie, vantellerie	Prise d'eau	Installation d'un système de vannage (vannes, crics et crémaillères, passerelle) permettant d'isoler hydrauliquement le moulin	2 000
	Décharge	Entretien de la vanne (réglage mécanique, graissage, peinture)	250
	Entrées d'eau moulin	Entretien des vannes (remise en fonctionnement, réglage mécanique, graissage, peinture)	500
		<b>TOTAL</b>	<b>4 750 € HT</b>

Tableau 13 Décomposition de l'investissement d'entretien normal

A noter qu'une partie de ces travaux pourraient être réalisés directement par le propriétaire du moulin, réduisant ainsi notablement leur coût.

### Investissement spécifique au projet hydroélectrique

Cet investissement concerne les travaux liés à la production d'hydroélectricité, et comprend les travaux suivants :

- Curage des canaux (dérivation et restitution), entretien des berges, et dépose du passage busé existant (canal de restitution) afin d'optimiser l'écoulement de l'eau et de réduire les pertes de charge ;
- Installation d'un plan de grille devant l'entrée d'eau utilisée, afin d'éviter la pénétration des poissons et des flottants (feuilles, bois, déchets) dans le moulin, et mise en place d'une passerelle pour assurer le dégrillage manuel ;
- Réfection de la maçonnerie d'une cuve et de son admission en sifflet, en vue de la réinstallation d'un rouet ;
- Réfection d'un rouet (rouet, palier-bas, arbre, palier-haut) sur la base des pièces existantes ;
- Installation du matériel mécano-électrique (poulie-courroie, alternateur PMG, armoire électrique de protection et de régulation de type ballast) et des récepteurs (ballon de préchauffage de l'eau chaude sanitaire, radiateurs électriques d'appoint dédiés) ;
- Automatisation de la vanne d'entrée d'eau utilisée, afin de fermer automatiquement l'entrée d'eau en cas de charge électrique insuffisante (thermostats du ballon de préchauffage de l'eau chaude sanitaire et des radiateurs électriques en déclenchement) ou de niveau d'eau amont insuffisant (cote inférieure à la cote de retenue normale).

Ces travaux sont localisés sur la figure ci-dessous.

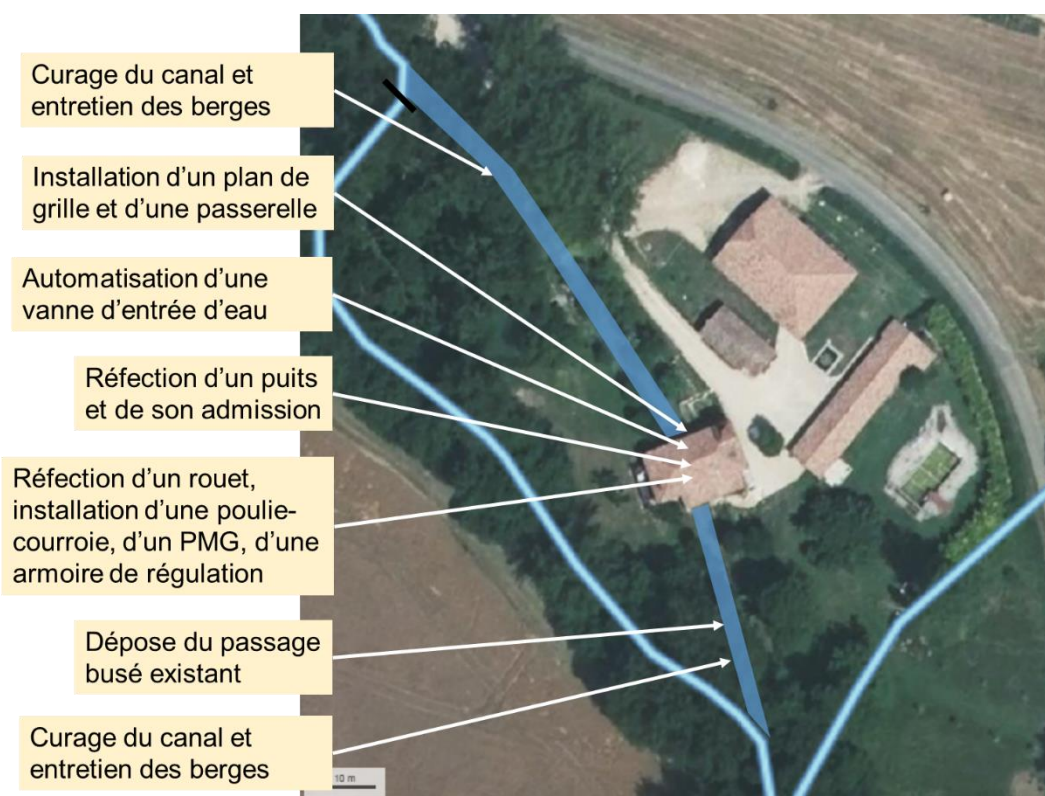


Figure 29 Localisation des travaux liés à l'investissement spécifique au projet hydroélectrique

La décomposition de l'investissement associé à ces travaux est présentée dans le tableau ci-dessous.

Poste	Localisation	Description	Coût estimatif (€ HT)
Terrassement, génie-civil	Canal de dérivation	Curage du canal et entretien des berges	500
	Canal de restitution	Mise en place et retrait d'un batardeau	250
		Curage du canal et entretien des berges	500
		Dépose du passage busé existant, installation d'un pont-cadre ou d'une passerelle	1 000
	Salle des meules	Réfection de la maçonnerie d'une cuve et de son admission en sifflet	500
Chaudronnerie, vannerie	Entrées d'eau moulin	Installation d'un plan de grille à espacement large devant l'entrée d'eau utilisée et d'une passerelle pour son entretien (dégrillage)	1 500
Mécanique générale	Salle des meules	Réfection d'un rouet (rouet, palier-bas, arbre, palier-haut) sur la base des pièces existantes	2 500
		Installation d'une poulie-courroie	500
Electricité, automatisme	Salle des meules	Installation d'un alternateur à aimants permanents (PMG) 3 kW à 400 t/min	1 500
		Installation d'une armoire de régulation de type ballast	2 000
		Automatisation de la vanne d'entrée d'eau	1 000
		Installation des récepteurs électriques (ballon ECS, radiateurs électriques)	1 500
		<b>TOTAL</b>	<b>13 250 € HT</b>

Tableau 14 Décomposition de l'investissement spécifique au projet hydroélectrique

A noter qu'une partie de ces travaux pourraient être réalisés directement par le propriétaire du moulin, réduisant ainsi notablement leur coût.

## 8.5. Coûts d'exploitation et de maintenance

### Coûts d'exploitation

L'exploitation consiste principalement dans les tâches suivantes :

- Manœuvre manuelle des vannes de garde et de la vanne de décharge en cas de crue ;
- Dégrillage manuel régulier de la grille d'entrée d'eau (surtout en périodes de chute de feuilles, et après les crues) ;
- Retrait des embâcles après les crues ;
- Graissage régulier des paliers ;
- Surveillance régulière du bon fonctionnement en mode automatique des ouvrages et des équipements ;
- Mise en route et arrêt des équipements, en fonction des besoins.

Cette exploitation peut être réalisée directement par le propriétaire du moulin. Le temps de travail associé est estimé entre 2 et 6 fois 10 min par jour, en fonction des besoins de dégrillage.

Le coût associé est estimé à environ 150 € HT par an (équipements de protection individuelle, matériel de dégrillage et de retrait des embâcles, graisse, etc.).

### Coûts de maintenance

La maintenance consiste essentiellement en les opérations présentées et budgétisées dans le tableau ci-dessous.

Tâche	Fréquence	Coût
Contrôle et réglage des équipements mécaniques	5 ans	500 € HT
Contrôle et réglage des équipements électriques	5 ans	500 € HT
Révision du PMG	10 ans	1 000 € HT

*Tableau 15 Opérations et coûts de la maintenance*

Cette maintenance est effectuée de préférence par de petites entreprises locales, afin de réduire les coûts de main-d'œuvre et de déplacement.

Le coût annualisé de la maintenance est ainsi estimé à environ 300 € HT/an.

## 8.6. Calcul du temps de retour

Un indicateur de la rentabilité économique du projet est le temps de retour de l'investissement qui prend en compte :

- le coût d'investissement du projet (conception, construction et mise en service) ;
- l'économie annuelle réalisée ;
- les frais d'exploitation annuels ;
- les frais de maintenance annuels.

Le temps de retour sur investissement se calcule comme suit :

$$\text{Temps de retour (ans)} = \frac{\text{coût d'investissement}}{\text{économie annuelle} - (\text{frais d'exploitation et de maintenance annuels})}$$

Afin de refléter le temps de retour spécifique au projet hydroélectrique, seul le coût d'investissement spécifique au projet hydroélectrique est considéré ici. Le calcul du temps de retour est présenté dans le tableau ci-dessous.

	Valeur
Investissement (spécifique à l'installation hydroélectrique)	13 250 € HT
Economie annuelle	1 160 €
Frais d'exploitation annuels	150 € HT
Frais de maintenance annuels	300 € HT
Temps de retour sur investissement	<b>18,7 ans</b>

*Tableau 16 Calcul du temps de retour sur investissement*

A noter que, comme déjà précisé plus haut, si une partie des travaux sont réalisés directement par le propriétaire du moulin, les coûts d'investissement peuvent être notablement réduits, ce qui réduit mécaniquement le temps de retour sur investissement.

## 9. Définition d'un programme

Le programme administratif et technique du projet est présenté ci-dessous.



Figure 30 Programme du projet

## 10. Synthèse

Le tableau ci-après présente une synthèse des différents aspects analysés ci-dessus.

Aspect	Points positifs	Points de vigilance
<b>Enjeux</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moulin habité</li> <li>• Salle des meules juste en-dessous du salon</li> <li>• Plancher vitré avec vue sur les meules</li> </ul>
<b>Administratif</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moulin fondé en titre</li> <li>• Cours d'eau non-domaniaux</li> <li>• Maitrise foncière du moulin et de ses ouvrages</li> <li>• Remise en exploitation dans le cadre de la consistance légale</li> <li>• Démarches simplifiées (porter à connaissance)</li> <li>• Aucune protection environnementale du cours d'eau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consistance légale du moulin à reconnaître par la DDT</li> </ul>
<b>Hydrologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tendance récente légèrement à la hausse des débits</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Débits faibles</li> </ul>
<b>Chute</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chute brute de 2,627 m</li> <li>• Chute nette estimée à 2,30 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effacement de la chute avec l'augmentation du débit, appréhendée de manière théorique à ce stade</li> </ul>
<b>Débit dérivable</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Maximum administratif estimé à 5,3 m<sup>3</sup>/s</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Débits dérivable moyen très faible</li> <li>• Aucun débit dérivable 35 % du temps</li> </ul>
<b>Technique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilisation du bâti et des équipements existants (rouet en cuve)</li> <li>• Insertion paysagère optimale</li> <li>• Utilisation d'un PMG</li> <li>• Nuisance sonore faible à nulle</li> <li>• Régulation simple (type ballast)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faible rendement mécanique du rouet en cuve</li> <li>• Faible vitesse de rotation du rouet</li> <li>• Puissance et productible faibles</li> <li>• Utilisation limitée de l'électricité produite (récepteurs dédiés de type résistifs)</li> </ul>
<b>Economique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coûts relativement faibles</li> <li>• Economies annuelles liées à la satisfaction d'une partie des usages existants et de futurs usages</li> <li>• Réduction possible des coûts d'investissement par autoréalisation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas de vente d'électricité</li> <li>• Pas de chiffre d'affaire généré</li> <li>• Temps de retour long</li> </ul>

Tableau 17 Synthèse des aspects analysés

## 11. Conclusion

Le Moulin-Bas est un très ancien moulin fondé en titre, présentant une hauteur de chute intéressante. Toutefois, malgré la présence de 3 paires de meules, le débit disponible est très faible, et ne permet pas d'envisager l'installation d'une turbine puissante et performante.

La remise en route d'un rouet, pour la production d'eau chaude et de chauffage, dans le cadre de la consistance légale du moulin ne semble pas présenter de réel enjeu, d'autant qu'il n'existe aucune protection environnementale sur le cours d'eau.

Toutefois, le productible est faible et le potentiel d'économies est limité. La réalisation d'une partie des travaux directement par le propriétaire pourrait permettre d'améliorer le temps de retour sur investissement.

## 12. Annexes

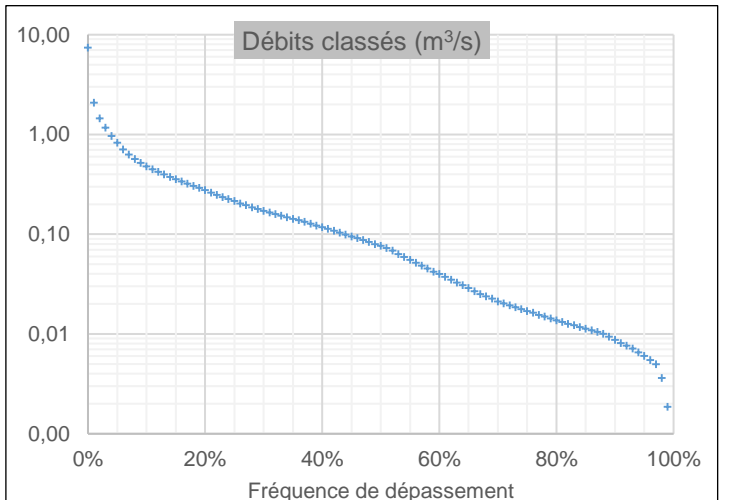
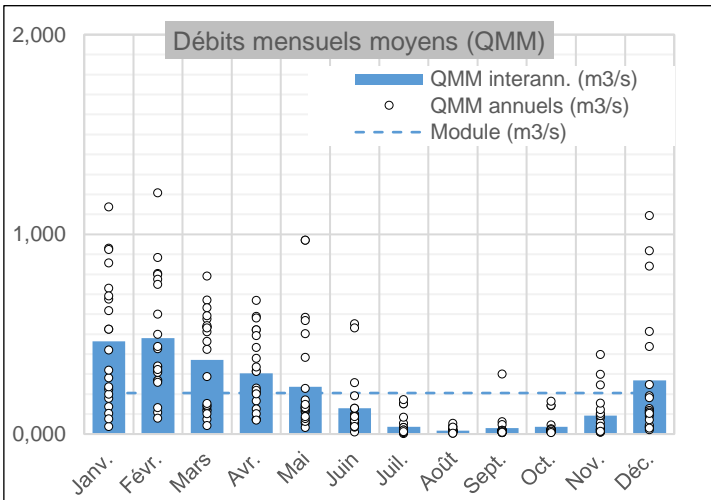
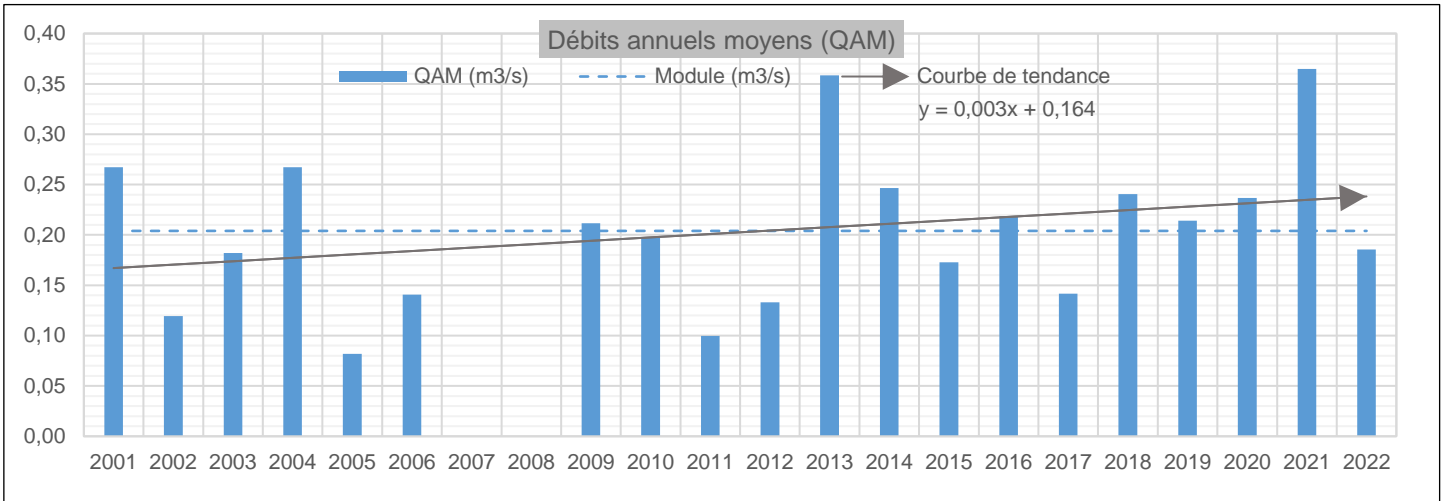
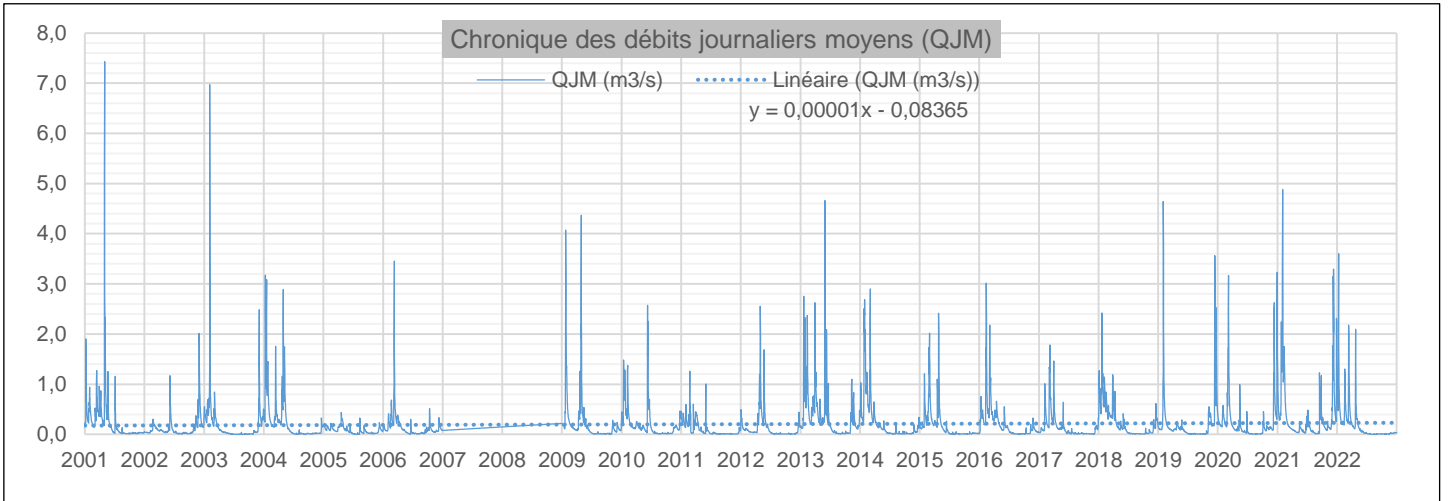
- LENOËL-HYDRO – Synthèse hydrologique – Le Candé à Lapenche (Moulin-Bas) – 2001-2022
- LENOËL-HYDRO – Simulation énergétique – Moulin-Bas sur le Candé à Lapenche – 2001-2022
- LENOËL-HYDRO – Note technique de détermination de droit fondé en titre

## 13. Références

- 
- <sup>1</sup> Ministère de la Culture – Plateforme ouverte du patrimoine – Moulin et ferme dit moulin-bas  
<https://www.pop.culture.gouv.fr/notice/merimee/IA82118798>
- <sup>2</sup> DGFIP – Service de consultation du plan cadastral  
<https://cadastre.gouv.fr/scpc/accueil.do>
- <sup>3</sup> Légifrance – Article 546 du Code civil  
[https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI000006428873/](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000006428873/)
- <sup>4</sup> Lapenche – Plan local d'urbanisme  
<http://www.lapenche.fr/fr/la-municipalite/plan-local-durbanisme.html>
- <sup>5</sup> Fiche communale d'information risques et sols – Commune de Lapenche – 2018  
[https://www.tarn-et-garonne.gouv.fr/content/download/24892/149269/file/82092\\_lapenche.pdf](https://www.tarn-et-garonne.gouv.fr/content/download/24892/149269/file/82092_lapenche.pdf)
- <sup>6</sup> Légifrance - Loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau  
<https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/LEGIARTI000006848084/>
- <sup>7</sup> Légifrance – Article L214-17 du Code de l'environnement  
[https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI000033034927/](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000033034927/)
- <sup>8</sup> Préfet de Tarn et Garonne – Arrêté préfectoral d'inventaire des frayères  
<https://www.tarn-et-garonne.gouv.fr/Publications/Arretes-prefectoraux/AP-n-2012354-0007-Inventaires-des-frayeres-et-zones-de-croissance>
- <sup>9</sup> Sandre – Obstacles à l'écoulement – Métropole  
<http://www.sandre.eaufrance.fr/?urn=urn:sandre:donnees:ObstEcoul:FXX:::ressource:::html>
- <sup>10</sup> Base nationale des prélèvements en eau  
<https://bnpe.eaufrance.fr/>
- <sup>11</sup> Fédération départementale de pêche et de protection des milieux aquatiques de Tarn-et-Garonne – Carte interactive  
<https://www.pechetarnetgaronne.fr/carte-interactive/>
- <sup>12</sup> Eau Grand Sud-Ouest – La politique de l'eau : le SDAGE-PDM 2022-2027  
<https://eau-grandsudouest.fr/politique-eau/bassin/schema-directeur-amenagement-gestion-eaux-sdage/politique-eau-sdage-pdm-2022-2027>
- <sup>13</sup> SIE Adour Garonne – Masse d'eau rivière – Le Candé  
<http://adour-garonne.eaufrance.fr/massedeau/FRFR380>
- <sup>14</sup> Bassin versant – ANEB – Qu'est-ce qu'un EPAGE  
<https://bassinversant.org/epage/les-epage/>
- <sup>15</sup> GEST'EAU – Carte de situation des SAGE  
<https://www.gesteau.fr/sage#10/43.9464/1.6013/sdage,sage>
- <sup>16</sup> GEST'EAU – Contrat de milieu – Aveyron Aval-Lère  
<https://www.gesteau.fr/contrat/aveyron-aval-lere>
- <sup>17</sup> Légifrance – Article L511-1 du Code de l'énergie  
[https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI000032468798/](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000032468798/)
- <sup>18</sup> Légifrance – Article L511-5 du Code de l'énergie  
[https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI000025560334](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000025560334)

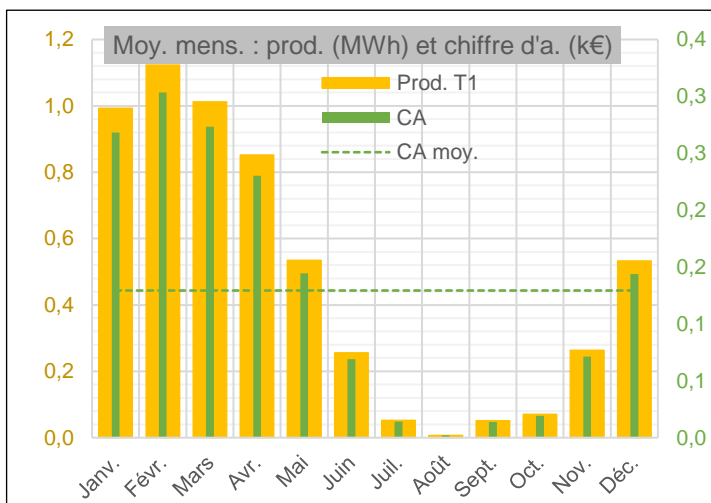
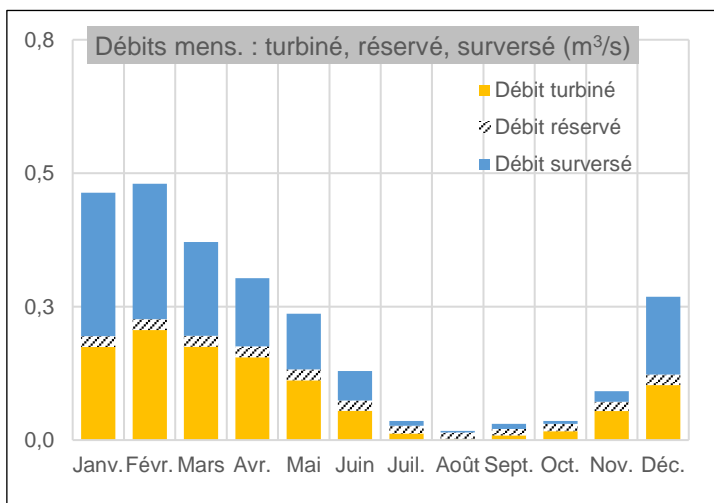
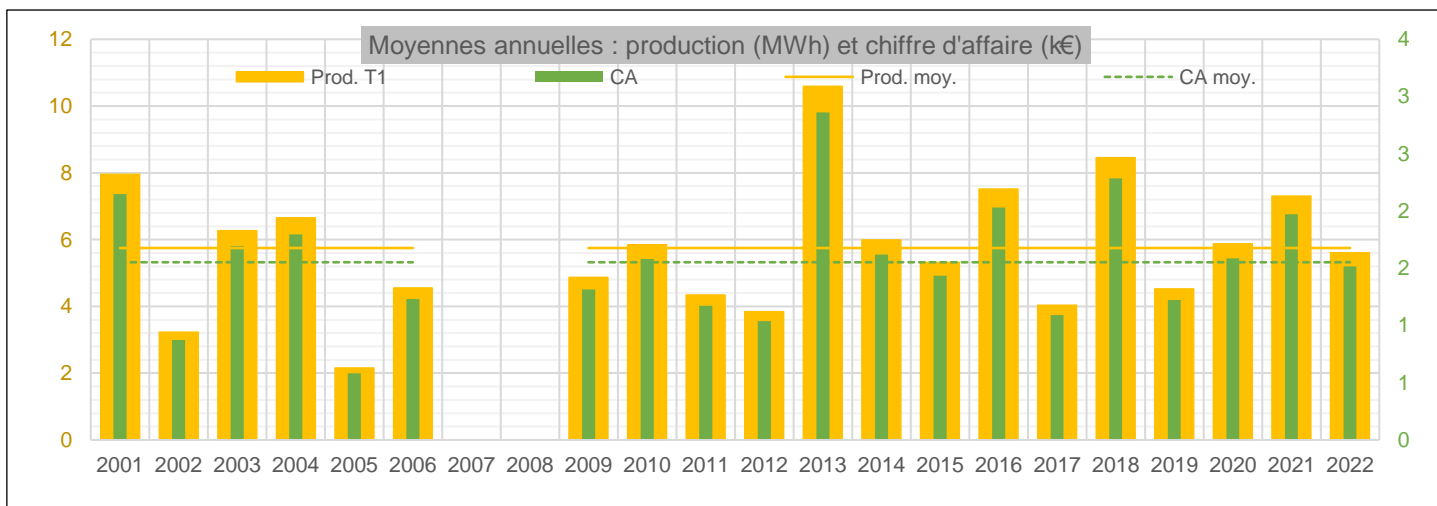
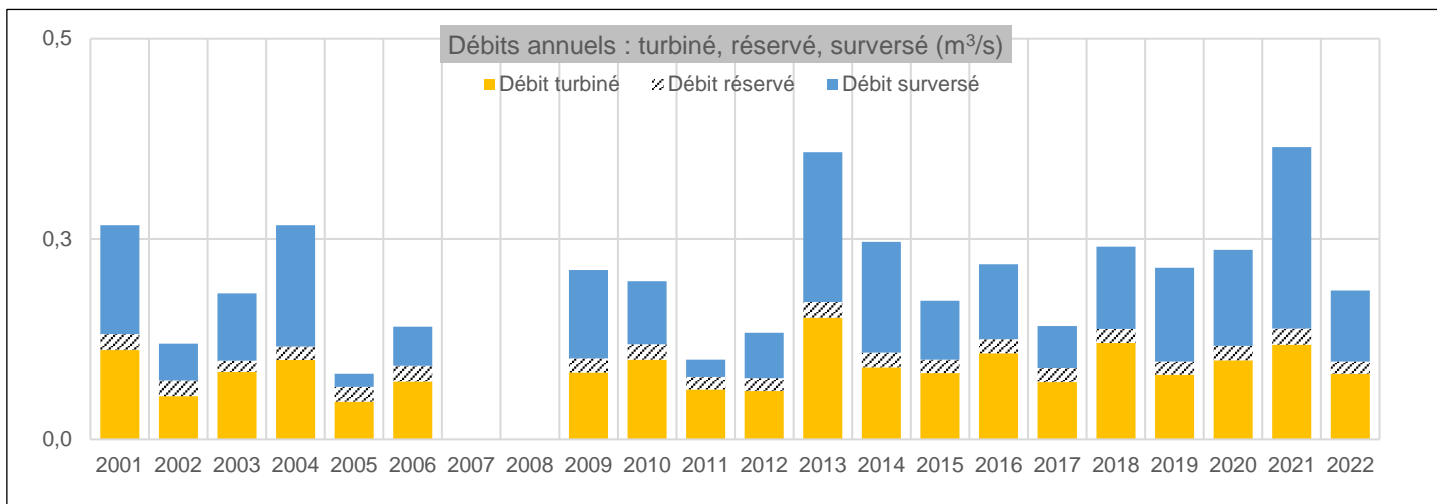
- 
- <sup>19</sup> Légifrance – Article L214-3 du Code de l'environnement  
[https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI00004265524](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI00004265524)
- <sup>20</sup> Légifrance – Article L214-6 du Code de l'environnement  
[https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI000006833134/](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000006833134/)
- <sup>21</sup> Légifrance – Article L214-4 du Code de l'Environnement  
[https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI000033932845/2017-03-01](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000033932845/2017-03-01)
- <sup>22</sup> Légifrance – R214-1 du Code de l'environnement  
[https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI000043136646/](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000043136646/)
- <sup>23</sup> Les services de l'Etat dans le Tarn-et-Garonne – La direction départementale des territoires (DDT)  
<https://www.tarn-et-garonne.gouv.fr/Services-de-l-Etat/Agriculture-environnement-amenagement-et-logement/La-direction-departementale-des-territoires-DDT>
- <sup>24</sup> SANDRE – Jeux de données de référence – Cours d'eau selon la version Carthage 2017 – L'Aveyron  
[https://www.sandre.eaufrance.fr/geo/CoursEau\\_Carthage2017/O5--0250](https://www.sandre.eaufrance.fr/geo/CoursEau_Carthage2017/O5--0250)
- <sup>25</sup> BRGM – Rapport d'expertise – Avis sur les essais de pompage réalisés sur la source du Candé, commune de Puylaroque (82) – 2012  
<http://ficheinfoterre.brgm.fr/document/RP-60935-FR>
- <sup>26</sup> BRGM – Modélisation pluie-débit sur la source du Candé – Commune de Puylaroque (82) – 2014  
<http://ficheinfoterre.brgm.fr/document/RP-63785-FR>
- <sup>27</sup> Eaufrance – Hydroportail  
<https://www.hydro.eaufrance.fr>
- <sup>28</sup> ONEMA-CEMAGREF/IRSTEA – Cartographie des débits caractéristiques de référence du réseau hydrographique métropolitain – 2012  
<https://geo.data.gouv.fr/fr/datasets/8bcfa132902a0b35747656cf802f3a8616e0cc92>
- <sup>29</sup> Légifrance – Article L214-18 du Code de l'environnement  
[https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI000006833152/](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000006833152/)
- <sup>30</sup> Bernard Forest de Belidor – Architecture Hydraulique ou L'Art de conduire, d'élever et de ménager les eaux pour les différents besoins de la vie – 1737 (voir en particulier vues 349-351 et vues 373-374)  
<https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5596688z/f4.planchecontact>
- <sup>31</sup> Journées Européennes des Moulins et du Patrimoine Meulier – 20-21 mai 2023 – Moulin Batan  
<https://www.journees-europeennes-des-moulins.org/recherchesites/moulin-batan/>
- <sup>32</sup> Forum de la petite hydroélectricité – Discussion Rouets – Post de blacour  
<https://dbhsarl.eu/forum/viewtopic.php?p=31244#p31244>

Station hydrométrique de référence		Reconstitution hydrologique au projet	
La Lère à Réalville		QJM = Rapport BV <sup>Coeff. Myer</sup> x QJM_station	
Code station	O585401001	Rivière	Le Candé à Lapenche
Producteur	DREAL Occitanie - Unité Hydrométrie Garonne	Années rejetées	2007-2008
Chronique de réf.	2001 - 2022	Mois rejetés	-
BV (km <sup>2</sup> )	366,0		39,7
Rapport BV			0,11
Coeff. Myer			1,02
Module (m <sup>3</sup> /s)	1,961		0,204
Mod. spé. (l/s/km <sup>2</sup> )	5,4		5,1
QMNA5 (m <sup>3</sup> /s)	0,039		0,004



Données hydrologiques		Scénario hydroélectrique				
Chronique	Reconstitution hydrologique Le Candé à Lapenche (Moulin-Bas) [2001-2022]	Q équip. (m <sup>3</sup> /s)	0,300	Q réservé (m <sup>3</sup> /s)	0,020	
		Chute n <sup>o</sup> nom. (m)	2,30	Loi de chute	constante	
Rivière	Le Candé	Type	Q arm.	Q nom.	η nom.	
BV (km <sup>2</sup> )	40	Turbine 1	Hélice	0,075	0,300	0,50
Module (m <sup>3</sup> /s)	0,204					
Mod. spé. (l/s/km <sup>2</sup> )	5,1					
QMNA5 (m <sup>3</sup> /s)	0,004	η alternateur	0,9	η transfo.	1	
		Tarif rachat (€/MWh Autoconso. valeur moy. sur 20 ans 0,27€/kWh)				

	Moyenne	Ecart-t. (%/moy.)	Tendance (/an)
Prod. ann. (MWh)	5,75	34,4%	N/A
CA annuel (k€)	1,552	34,4%	N/A



<b>LENOËL-HYDRO</b> Ingénierie-conseil en hydroélectricité	<b>Moulin-Bas sur le Candé à Lapenche (82)</b>	<b>v.1.0</b> <b>17/04/2023</b>
<b>Note technique de détermination de droit fondé en titre</b>		

## CONTEXTE

Le droit fondé en titre d'un moulin est composé de l'existence légale et de la consistance légale. Ce document recherche les preuves de l'existence légale du Moulin-Bas sur le Candé à Lapenche (82240), présente les ouvrages hydrauliques, leurs altitudes et leurs dimensions relevées sur site, et détaille le calcul de la consistance légale du moulin.

## DESCRIPTION DU MOULIN

Le Moulin-Bas se situe dans le département de Tarn-et-Garonne, sur la commune de Lapenche. Il est installé en dérivation du ruisseau du Candé, à 300 m en aval du bourg de Lapenche.

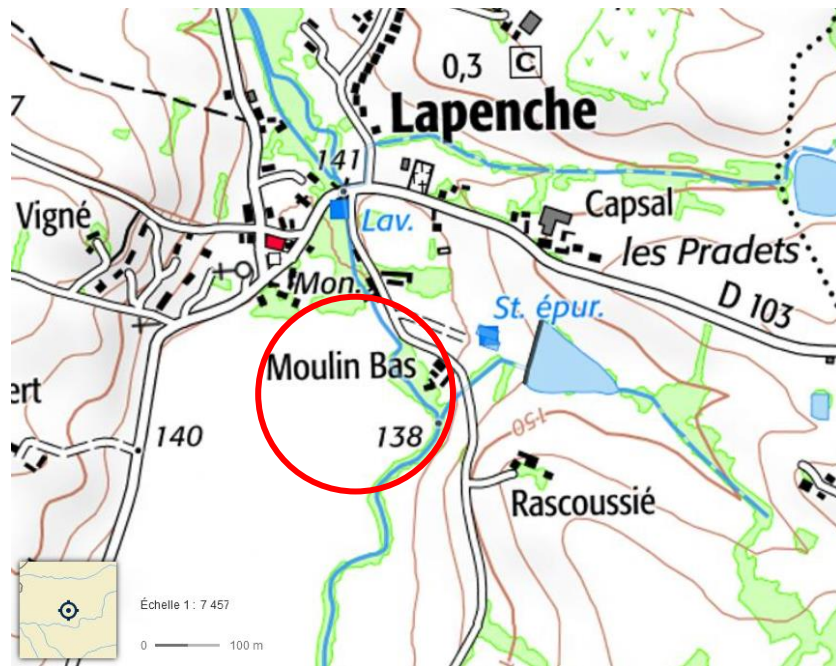


Figure 1 Situation du moulin à l'échelle locale sur fond de carte IGN (source : Géoportail)

## EXISTENCE LEGALE

La Carte générale de la France n°37, feuille 108, établie sous la direction de César-François Cassini de Thury, et éditée entre 1776 et 1777, indique, sous la forme d'une roue dentée, la présence d'un moulin à l'endroit exact de la position actuelle du Moulin-Bas, comme présenté sur la figure ci-dessous.



- hauteur : 2,06 m ;
- profondeur du radier : 2,60 m ;
- d'une entrée d'eau rive droite :
  - largeur : 0,95 m ;
  - hauteur : 2,10 m ;
  - profondeur du radier : 2,60 m ;
- d'une salle des meules de longueur 4,83 m environ et de largeur 6,10 m environ, comportant 3 rouets en cuve de 1,0 m de diamètre environ, surmontés de 3 paires de meules ;
- d'une sortie d'eau voutée ;
- d'un canal de restitution de 40 m de longueur environ ;
- d'un point de restitution de l'eau au Candé.

Ces ouvrages sont localisés et illustrés sur les figures suivantes.

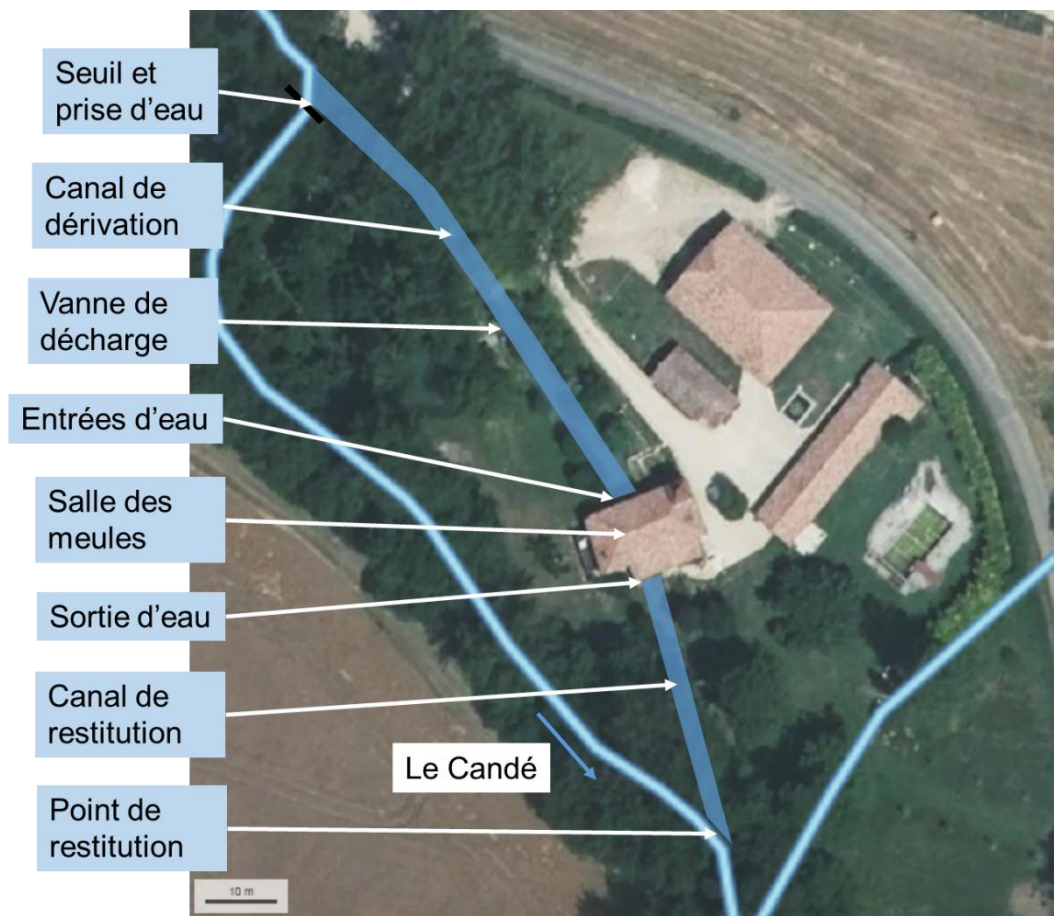


Figure 3 Localisation des ouvrages hydrauliques



Seuil de prise d'eau



Prise d'eau



Vannage de décharge



Canal de dérivation vu depuis le moulin



Face amont du moulin



Entrées d'eau du moulin



Figure 4 Illustration des ouvrages hydrauliques

### REGLEMENT D'EAU DE 1906

Le Moulin-Bas a été règlementé par arrêté préfectoral en 1906. Une copie de ce règlement est jointe en Annexe. Il est remarqué que le règlement d'eau ne mentionne ni la hauteur de chute brute, ni le débit maximal de dérivation du moulin.

Il est y inscrit à l'article 2 :

« Le niveau légal de la retenue est fixé à 25 cm en contrebas d'une coche faite dans le tronc d'un chêne situé sur la rive gauche du cours d'eau, à 3 m de distance du point d'attache du déversoir, point pris pour repère provisoire, ou à 1,19 m en contrebas du dessus de l'accoudoir en pierre d'une fenêtre ouverte dans la façade nord du moulin, sur le canal d'amenée, point pris pour contre-repère ».

Le repère provisoire a aujourd'hui disparu. La hauteur actuelle du seuil a été vérifiée conforme vis-à-vis du contre-repère.

L'article 3 indique :

« Le déversoir restera placé à 72 m en amont du moulin. Il aura une longueur de 11,27 m. Sa crête sera dérasée à 25 cm en contrebas du repère provisoire ».

Cela indique que le niveau légal de la retenue est égal à la cote de crête du seuil.

L'article 16 indique :

« L'arrêté préfectoral en date du 22 juin 1852 autorisant l'usinier à placer des hausses mobiles sur le déversoir est et demeure rapporté »

Des réhausses mobiles sont autorisées sur le seuil. Des vestiges de ces réhausses sont visibles (tiges en fer dans le seuil), mais leur hauteur originale reste inconnue.

### HAUTEUR DE CHUTE BRUTE

Le règlement d'eau de 1906 ne mentionnant pas la hauteur de chute brute du moulin, les altitudes des ouvrages ont été mesurées via un altimètre électronique à niveau de liquide (précision +/- 2 mm) à partir d'un point de référence (crête du seuil) dont l'altitude est fixée à zéro. La figure suivante présente les relevés d'altitudes.

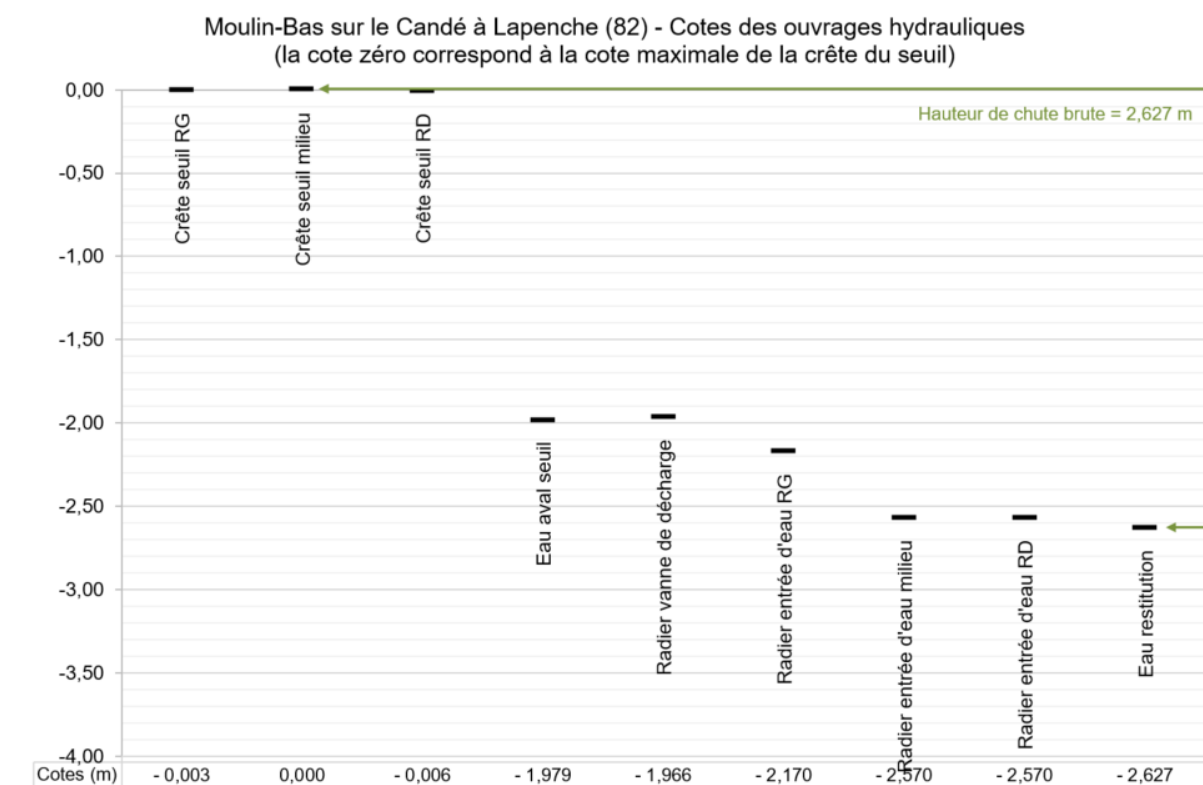


Figure 5 Relevés de l'altitude des ouvrages hydrauliques

On constate que la hauteur de chute brute, entre la crête du seuil et le fil de l'eau au point de restitution, est égale à 2,627 m. Cette hauteur ne tient pas compte des réhausses mobiles.

## **SECTION DE PASSAGE LIMITANTE**

Etant donné le système hydraulique sus-présenté, la section de passage hydraulique limitante peut se situer au niveau :

- de la prise d'eau ;
- ou des entrées d'eau du moulin.

### **Calcul de la section de passage à la prise d'eau**

La section de passage à la prise d'eau est de forme trapézoïdale, avec une pente des berges de 45°. La largeur au miroir est de 4,68 m. La profondeur est prise égale à la profondeur au droit de la vanne de décharge, soit 2,0 m.

Dans ces conditions, la section de passage de l'eau à la prise d'eau est de 5,3 m<sup>2</sup>.

### **Calcul de la section de passage des entrées d'eau**

Les sections de passage des entrées d'eau rectangulaires sont calculées à partir des dimensions données ci-avant :

- Section entrée d'eau rive gauche : 1,44 m<sup>2</sup> ;
- Section entrée d'eau milieu : 1,87 m<sup>2</sup> ;
- Section entrée d'eau rive droite : 2,00 m<sup>2</sup>.

La section de passage totale de l'eau aux entrées d'eau s'élève ainsi à 5,3 m<sup>2</sup>.

On constate que les sections de passage de l'eau sont identiques. Etant donné que la prise d'eau est à surface libre, et que les entrées d'eau sont en charge, la vitesse de l'eau à la prise d'eau est inférieure à la vitesse de l'eau aux entrées d'eau. La section limitante est donc la section de la prise d'eau.

## **DEBIT MAXIMAL DE DERIVATION**

Le débit maximal de dérivation est le produit de la section de la prise d'eau et de la vitesse moyenne de l'eau à la prise d'eau.

Une vitesse moyenne typique de l'eau de 1 m/s est considérée. Cette valeur typique reflète le compromis historiquement trouvé entre la réduction des pertes de charge dans le canal, et la limitation des dimensions du canal.

Ainsi, le débit maximal de dérivation est égal à 5,3 m<sup>3</sup>/s.

## **CONSISTANCE LEGALE**

La consistance légale est le produit du débit maximal de dérivation par la hauteur de chute brute par l'accélération de la pesanteur.

$$\begin{aligned} & \textit{Puissance maximale brute (hors réhausses)} \\ & = \textit{débit maximal de dérivation} \times \textit{hauteur de chute brute (hors réhausses)} \\ & \quad \times 9,81 \\ & = 5,3 \times 2,627 \times 9,81 \\ & = 136,6 \textit{ kW} \end{aligned}$$

## **CONCLUSION**

Il est établi, d'après les documents d'archive, que le Moulin-Bas de Lapenche a une existence légale. La consistance légale associée, calculée à partir des mesures d'altitudes et des dimensions des ouvrages relevées sur site, s'élève à 136,6 kW, sans compter les réhausses mobiles autorisées dans le règlement d'eau.

## **ANNEXE**

- Règlement d'eau du Moulin-Bas de 1906

18 mai 1906

DÉPARTEMENT de Tarn-et-Garonne

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

BUREAU

RIVIÈRE du Candé

non navigable ni flottable

COMMUNE

de Sapenehe

USINE

du Moulin-Bas

*voir voir*

INGÉNIEUR EN CHEF
N <sup>o</sup> du Canton 37
du Dossier
de la Liasse
de la Pièce 6
ou du Bordereau la renfermant

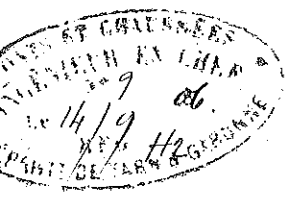
ARRÊTÉ

NOUS, PRÉFET du département de Tarn-et-Garonne

Sur le rapport de l'Ingénieur en chef des ponts et chaussées;

Vu la pétition en date du 21 février 1904, par laquelle les Sieurs

Parasse et consorts, riverains du Ruissou du Candé ou habitants du village de Sapenehe, exposent que le Sieur Merly, propriétaire du Moulin-Bas ne procède pas à la manœuvre des vannes de son usine et maintient des hausses sur le barrage et demandent que les mesures nécessaires soient prises pour mettre fin à cette négligence qui leur cause de graves préjudices;



Vu les pièces de l'instruction régulière à laquelle l'affaire a été soumise conformément aux circulaires des 19 thermidor an VI, 16 novembre 1834, 23 octobre 1851 et 26 décembre 1884, et notamment :

Les procès-verbaux des enquêtes auxquelles il a été procédé dans la Commune de Sapenehe, du 8 au 27 mai 1904 et du 3 au 19 mars 1905;

Le procès-verbal de visite des lieux et les rapports dressés par les Ingénieurs des ponts et chaussées, les 26-29 mars - 15 avril 1904 ; 14-20 février 1905 ; 9 mai 1906 ;

Le plan des lieux et les profils y annexés ;

Vu les lois des 20 août 1790, 6 octobre 1791, <sup>8 avril 1838</sup> et l'arrêté du Gouvernement du 19 ventôse an VI ;

Vu le décret du 25 mars 1852 et du 13 avril 1861 ;

Considérant que la <sup>ville</sup> petition ci-dessus visée des Sieurs Darasse et consort a posé au fait la question de la réglementation de l'usine de Noullin-Baj, qui était dépourvue de règlement d'eau ;

Considérant que tels qu'ils sont prévus les ouvrages régulateurs suffisent pour assurer l'écoulement des crues de pleines rives, quel'intérêt général est ainsi pleinement sauvegardé. Tout en donnant satisfaction, dans la plus large mesure possible à l'avis exprimé par M. le Maire de Sapenche, au registre d'enquête ;

### Ordonne :

Art. 1<sup>er</sup>. - Est donné aux conditions du présent règlement, l'usage de la force motrice que le Sieur Merly est autorisé à emprunter à la rivière du Candi pour la mise en jeu du moulin qu'il possède dans la Commune de Sapenche, Département de l'arr. de Garonne.

Art. 2. - Le niveau légal de la retenue est fixé à vingt cinq centimètres en contrebas d'une coche faite dans le tronç d'une chêne située sur la rive gauche du Cours d'eau, à trois mètres de distance du point d'attache du déversoir, point pris pour repère provisoire, ou à un mètre dix sept centimètres en contrebas du dessus de l'accoudoir en pierre d'une fenêtre ouverte dans la façade nord du moulin, sur le Canal d'amener, point pris pour contre repère.

Art. 3. - Le déversoir restera placé à dix sept mètres en amont du moulin.

Il aura une longueur de onze mètres vingt sept centimètres.

Sa crête sera dressée à vingt cinq centimètres en contrebas du repère provisoire.

Art. 4. - Le vannage de décharge présentera une surface libre de deux mètres carrés cent dix centimètres carrés au dessous du niveau de la retenue.

Pourra être conservée la vanne de décharge actuelle sur crête dans la berge de rive droite du canal d'amener à quarante trois mètres en aval du déversoir,

ayant une largeur libre de quatre vingt quatorze centimètres, et son seuil établi à deux mètres quatre centimètres au-dessous du niveau de la retenue et présentant une surface libre au-dessous de ce niveau, de deux mètres carrés cent seize centimètres carrés. —

Si le permissionnaire veut modifier tout ou partie du vannage actuel, il devra lui substituer un vannage de même surface et dont le seuil soit placé au niveau ci-dessus fixé. —

Le Sommet de toutes les vanes sans exception sera déversé comme la crête du déversoir dans le plan de la retenue.

Elles seront disposées de manière à pouvoir être facilement manoeuvrées et se lever au-dessus du niveau de plus hautes eaux. —

Art. 5. — Les Canaux de décharge seront disposés de manière à emboucher à leur origine les ouvrages auxquels ils font suite et à écouler toute les eaux que ces ouvrages peuvent déverser. —

ART. 6.

Il sera posé, près de l'usine, aux frais du Permissionnaire, en un point qui sera désigné par l'Ingénieur chargé de dresser le procès-verbal de récolement, un repère définitif et invariable, du modèle adopté dans le département.

Ce repère, dont le zéro indiquera seul le niveau légal de la retenue, devra toujours rester accessible aux Agents de l'Administration qui ont qualité pour vérifier la hauteur des eaux et visible aux tiers intéressés.

Le Permissionnaire ou son Fermier sera responsable de la conservation du repère définitif, ainsi que de celle des repères provisoires jusqu'à la pose du repère définitif.

ART. 7.

Dès que les eaux dépasseront le niveau légal de la retenue, le Permissionnaire ou son Fermier sera tenu de lever les vannes de décharge pour maintenir les eaux à ce niveau. Il sera responsable de la surélévation des eaux, tant que les vannes ne seront pas levées à toute hauteur.

En cas de refus ou de négligence de sa part d'exécuter cette manœuvre en temps utile, il y sera pourvu d'office et à ses frais, à la diligence du Maire de la commune, et ce, sans préjudice de l'application des dispositions pénales encourues et de toute action civile qui pourrait lui être intentée, à raison des pertes et dommages résultant de ce refus ou de cette négligence.

ART. 8.

Les eaux rendues à la rivière devront être dans un état de nature à ne pas apporter à la température ou à la pureté des eaux un trouble préjudiciable à la salubrité publique, à la santé des animaux qui s'abreuvent dans la rivière ou à la conservation du poisson.

Toute infraction à cette disposition, dûment constatée, pourra entraîner le retrait de l'autorisation, sans préjudice, s'il y a lieu, des pénalités encourues.

ART. .

Le Permissionnaire sera tenu d'établir et d'entretenir dans le barrage une échelle à poissons; il devra, en outre, placer et entretenir des grillages à l'amont de la prise d'eau et à l'aval du canal de fuite.

L'échelle à poissons et les grillages seront exécutés sur les emplacements et d'après les dispositions que prescriront les Ingénieurs du service hydraulique.

ART. 9.

Le Permissionnaire sera tenu de se conformer aux lois et règlements du service des forêts et du service des douanes.

ART. 10.

Toutes les fois que la nécessité en sera reconnue et qu'il en sera requis par l'autorité administrative, le Permissionnaire ou son fermier sera tenu d'effectuer le curage à vif-fond et à vieux bords du bief de la retenue, dans toute l'amplitude du remous, sauf l'application

des règlements ou des usages locaux, et sauf le concours qui pourrait être réclamé des riverains, suivant l'intérêt que ceux-ci auraient à l'exécution de ce travail.

Lesdits riverains pourront d'ailleurs, lorsque le bief ne sera pas la propriété exclusive du Permissionnaire, opérer, s'ils le préfèrent, le curage eux-mêmes et à leurs frais, chacun au droit de soi et dans la moitié du lit du cours d'eau.

ART. 11.

Le Permissionnaire sera tenu de se conformer à tous les règlements existants ou à intervenir sur la police, le mode de distribution et le partage des eaux.

ART. 12.

Les droits des tiers sont et demeureront expressément réservés.

ART. 13.

Les travaux ci-dessus prescrits seront exécutés sous la surveillance des Ingénieurs; ils devront être terminés dans le délai de *Six mois* à dater de la notification du présent arrêté.

A l'expiration du délai ci-dessus fixé, l'Ingénieur rédigera un procès-verbal de récolement aux frais du Permissionnaire, en présence de l'autorité locale et des parties intéressées dûment convoquées.

Si les travaux sont exécutés conformément à l'arrêté d'autorisation, ce procès-verbal sera dressé en trois expéditions. L'une de ces expéditions sera déposée aux archives de la préfecture; la seconde à la mairie du lieu; la troisième sera transmise au Ministre de l'Agriculture.

ART. 14.

Faute par le Permissionnaire de se conformer, dans le délai fixé, aux dispositions prescrites, l'Administration pourra, selon les circonstances, prononcer la déchéance du Permissionnaire ou mettre son usine en chômage; et, dans tous les cas, elle prendra les mesures nécessaires pour faire disparaître, aux frais du Permissionnaire, tout dommage provenant de son fait, sans préjudice de l'application des dispositions pénales relatives aux contraventions en matière de cours d'eau.

Il en sera de même dans le cas où, après s'être conformé aux dispositions prescrites, le Permissionnaire changerait ensuite l'état des lieux fixé par le présent règlement, sans y être préalablement autorisé.

Le Permissionnaire pourra d'ailleurs, sans autorisation nouvelle, changer la destination de son usine, ainsi que les dispositions des ouvrages utilisant la force motrice, sauf l'application des règlements spéciaux auxquels pourrait être soumise, en raison de sa nature, la nouvelle usine.

ART. 15.

Le Permissionnaire ou son fermier ne pourra prétendre à aucune indemnité ni dédommagement quelconque, si, à quelque époque que ce soit, l'Administration reconnaît nécessaire de prendre, dans l'intérêt de la salubrité publique, de la police et de la répartition des eaux, des mesures qui le privent, d'une manière temporaire ou définitive, de tout ou partie des avantages résultant du présent règlement, tous droits antérieurs réservés.

art. 16.

Le arrêté préfectoral en date du 22 Juin 1852 autorise l'usinier à placer des hausses mobiles sur le déversoir est et demeure rapporté.

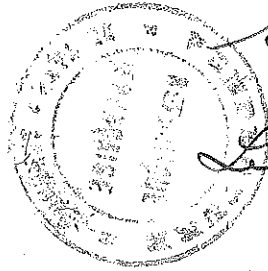
art. 17.

Le L'Ingénieur en chef du Département est chargé de l'exécution des présentes arrêtés qui sera notifié au permissionnaire par les soins de M. le Maire de Lapenche.

Fait à Montauban, le 18 Mai 1906.

Le Préfet de Tarn et Garonne,

Signé : A. Schraueck.



Pour ampliation :

Le Secrétaire général,

*[Signature]*

Communiqué à M. Cuzaut, Ingénieur.

pour prendre note et arrêter l'exécution.

Montauban, le 14 septembre 1906,

L'Ingénieur en Chef.

*[Large handwritten signature]*

Retourné à M. l'Ingénieur en Chef, après communication prise.

Montauban, le 15/9 1906.

L'Ingénieur Ordinaire.

*[Signature]*