

Table des matières

1.	Introduction	5
1.1	Introduction générale	5
1.2	Problématique des régions de montagne	6
1.3	Caractéristiques hydrologiques de la région.....	7
2.	Objectifs du travail	8
3.	Le réseau d'eau	9
3.1	Historique du réseau d'eau	9
3.2	La gestion actuelle	10
3.3	Composants	11
3.4	Schéma du réseau	13
3.5	Schéma du réseau avec capteurs	14
3.6	Interventions	15
4.	Les données du réseau.....	16
4.1	Télé réseau « DPE »	16
4.2	Extraction des données	18
4.3	Traitements des données	19
4.4	Analyses des caractéristiques du réseau	20
4.4.1	La ressource en eau	20
4.4.2	Les lacs.....	23
4.4.3	La centrale hydroélectrique.....	24
4.4.4	L'irrigation des communes	27
4.5	Données manquantes	29
4.5.1	Surplus du lac de Chermignon	29
4.5.2	Données des apports naturels	30
5.	Plan d'expérience	31
5.1	Objectifs	31
5.2	Mise en place.....	31
5.3	Analyses des résultats.....	31
6.	Modélisation du réseau	32
6.1	Introduction	32
6.2	Validation des modèles	33
6.2.1	Modèle n°1	33
6.2.2	Modèle n°2.....	35
6.2.3	Modèle n°3.....	37

6.3	Scénarios de gestion	39
6.3.1	Profil d'irrigation imposé.....	39
6.3.2	Turbinage au point nominal	41
7.	Résultats	44
7.1	Gestion des profils d'irrigation.....	44
7.2	Gestion de la production hydroélectrique	45
8.	Conclusion	48
9.	Remerciements.....	49
10.	Références bibliographiques	50
11.	Annexes.....	51
11.1	Définitions des objets RS-Minerve.....	51
11.2	Comparateurs de la diversion	52
11.3	Calcul perte de charge linéaire.....	53
11.4	Source fictive « add »	54

Table des figures

Figure 1: Principe des stations touristiques de montagne), (Reynard, 2000)	6
Figure 2: Carte géographique des différents bassins versants (Reynard, 2000) ..	7
Figure 3: Schéma de principe du réseau	11
Figure 4: Schéma du réseau d'eau	13
Figure 5: Schéma du réseau avec capteurs	14
Figure 6: Vidange significative du lac d'Icogne	15
Figure 7: Digue supérieure du lac d'Icogne	15
Figure 8: Synoptique du réseau d'eau mis en place par la société DPE	16
Figure 9: Schéma eau brute DPE	17
Figure 10: Lac de Chermignon DPE	17
Figure 11: Technique d'extraction des données sur une année	18
Figure 12: Extraction des données DPE	18
Figure 13: Script Matlab, traitement des dates et valeurs vides	19
Figure 14: script Matlab, lissage des données	19
Figure 15: Script Matlab, cumules des volumes	19
Figure 16: Zoom sur les capteurs des différentes sources.....	20
Figure 17: Capteur M07, Débit Ertentse	20
Figure 18: Capteur DM05, Bruhélian, moyenne et écart-type (2014-2017).....	21
Figure 19: Capteurs M21, Corbyr, moyenne et écart-type (2014-2017).....	21
Figure 20: Capteurs M22, Er de Lens, moyenne et écart-type (2014-2017).....	21
Figure 21: La part du volume d'eau sur l'année 2016	22
Figure 22: Courbe Hauteur-Volume d'Icogne, (Yves Rey).....	23
Figure 23: Courbe Hauteur-Volume de Chermignon, (Yves Rey).....	23
Figure 24: Carte de la centrale hydroélectrique et la turbine Pelton, (Cordonier, Rey, & Rey, 2012)	24
Figure 25: Fonctionnement turbine période hors irrigation	25
Figure 26: Fonctionnement turbine période d'irrigation	25
Figure 27: Courbe de rendement par débit turbiné.....	26
Figure 28: Fonctionnement de la turbine, période mars 2016-février 2017.....	26
Figure 29: Cumules par mois de l'irrigation	27
Figure 30: Fonctionnement des différentes irrigations	27
Figure 31: Fonctionnement d'une semaine au mois de juillet 2016.....	28
Figure 32: Fonctionnement du mois de juillet 2016.....	28
Figure 33: Configuration du réseau au niveau du lac de Chermignon et de la vanne manuelle.....	29
Figure 34: Algorithme surplus vanne manuelle.....	30
Figure 35: Courbe débit surplus vanne manuelle.....	30
Figure 36: Schéma du plan d'expérience	31
Figure 37: Modèle numérique n°1	33
Figure 38: Modèle n°1, niveau lac de Chermignon.....	34
Figure 39: Modèle n°1, niveau lac d'Icogne	34
Figure 40: Modèle n°1, turbinage	34
Figure 41: Modèle numérique n°2.....	35
Figure 42: Modèle n°2, niveau lac de Chermignon.....	36
Figure 43: Modèle n°2, niveau lac d'Icogne.....	36
Figure 44: Modèle n°2, turbinage	36
Figure 45: Modèle numérique n°3.....	37
Figure 46: Modèle n°3, niveau lac de Chermignon.....	38
Figure 47: Modèle n°3, niveau lac d'Icogne.....	38

Figure 48: Modèle n°3, turbinage	38
Figure 49: Courbes d'irrigations G3 et G6	39
Figure 50: Courbes irrigation G5	40
Figure 51: Courbes irrigation G4	40
Figure 52: Turbinage au point nominal d'une journée	41
Figure 53: Turbinage au point nominal d'une semaine	42
Figure 54: Turbinage au point nominal d'un mois.....	42
Figure 55: Lac d'Icogne scénarios d'irrigations imposées.....	44
Figure 56: Zoom lac d'Icogne scénarios d'irrigations imposées.....	44
Figure 57: Modèle simplifié (ajout lac)	45
Figure 58: Modèle simplifié (sans lac)	45
Figure 59: Optimisation jour	46
Figure 60: Référence jour.....	46
Figure 62: Référence semaine	46
Figure 61: Optimisation semaine	46
Figure 63: Référence débit turbiné sur un mois	47
Figure 64: Gestion débit turbiné sur un mois.....	47
Figure 65: Comparateur M12.....	52
Figure 66: Comparateur DM11.....	52
Figure 67: Diagramme de Moody.....	53
Figure 68: Principe de la source fictive	54
Figure 69: Courbe de la source fictive add	54
Figure 70: Courbe du lissage par le déversoir.....	54
Figure 71: Caractéristique déversoir lissage	54

Table des tableaux

Tableau 1: Droits d'eau entre communes	10
Tableau 2: Composants du réseau d'eau	12
Tableau 3: Niveaux du lac d'Icogne.....	23
Tableau 4: Niveaux du lac de Chermignon	23
Tableau 5: Caractéristiques techniques de la centrale hydro-électrique.....	24
Tableau 6: Erreurs modèle n°1	34
Tableau 7: Erreurs modèle n°2.....	36
Tableau 8: Erreurs modèle n°3.....	38
Tableau 9: Ecart entre les volumes simulés et la référence	40
Tableau 10: Erreurs sur les volumes optimisés	43
Tableau 11: Productions électriques. Scénarios d'irrigations imposées.....	45
Tableau 12: Production électrique de l'optimisation	47

1. INTRODUCTION

1.1 INTRODUCTION GÉNÉRALE

La Suisse porte son nom de « château d'eau » de l'Europe depuis de nombreuses années et cela ne va pas changer dans les prochaines décennies à venir. Elle contribue à l'approvisionnement des grands fleuves européens tels que le Rhin, le Rhône, le Pô et l'Inn. On peut ajouter qu'une des seules ressources naturelles de la Suisse est l'eau (Bréthaut, 2011). On l'observe par son taux élevé de production hydroélectrique qui représente environ 60 % de la production totale d'électricité du pays (Aschwanden & Zahner, 2016).

Toutefois, les différentes régions de Suisse n'ont pas été exemptées des situations de pénuries temporaires et de conflits autour de la ressource en eau ces dernières années. Durant l'été 2003 et le printemps 2011, de longues périodes de sécheresse ont été observées et elles ont causées un manque d'eau temporaire dans certaines régions (Conseil fédéral, 2012). Les réserves d'eau ne sont pas réparties également. Le Valais est un exemple qui illustre bien cette problématique avec certains versants qui reçoivent de l'eau en abondance tandis que la vallée du Rhône est considérée comme la région la plus sèche de Suisse.

De plus, les changements climatiques ainsi que les changements socio-économiques vont jouer un rôle essentiel dans la gestion de l'eau. D'après les scénarios de l'IPCC¹ qui sont certes incertains, ces changements provoqueraient des impacts qui ne peuvent pas être négligés principalement dans la région des Alpes suisses. Les conséquences seraient décrites par une variabilité plus importante des saisons, une répartition des précipitations plus variée ainsi que la disparition de certains glaciers. De plus, la hausse de température entraînerait des sécheresses plus récurrentes et donc une irrigation des régions agricoles plus importantes pour garder un bon rendement économique.

C'est pour cela que la gestion optimale d'un réseau d'eau est essentielle pour le bon fonctionnement d'une région où l'eau est un atout économique.

Des recherches sur la problématique ont été effectuées ces dernières années telles que MontanAqua dans le cadre du projet national PNR 61², la thèse d'Emmanuel Reynard sur la gestion patrimoniale et intégrée des ressources en eau dans les stations touristiques de montagne ainsi que différents travaux sur la gestion des eaux d'irrigation. Ces documents ont été la base bibliographique de ce travail de diplôme.

¹ IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change, (GIEC en français)

² PNR 61 : Projet national de recherche sur la gestion durable de l'eau

1.3 CARACTÉRISTIQUES HYDROLOGIQUES DE LA RÉGION

Pour mettre en place le contexte hydrologique de la région d'Icogne, il est essentiel de comprendre la particularité hydrique des Alpes suisses et de la région valaisanne.

Les Alpes suisses sont situées au centre du continent européen et par conséquent dans un carrefour climatique qui représentent des interactions atmosphériques particulières comme des vents forts, du foehn et surtout des différences de précipitations entre les régions. Les Alpes sont touchées par deux fois plus de précipitations que la moyenne européenne (Bréthaut, 2011).

Toutefois, le canton du Valais est touché par des régimes de précipitations particuliers. La plaine du Rhône entre Brigue et Martigny est considérée comme la région la plus désertique de Suisse avec moins de 700 mm de précipitations annuelle. En outre, les crêtes montagneuses valaisannes reçoivent d'énorme quantité de précipitations annuelles (Bréthaut, 2011).

Pour la région d'Icogne (Figure 2), elle se situe dans la partie des Alpes exposées plein sud où les précipitations ne sont pas en abondance et les températures annuelles sont relativement élevées pour la région entraînant une forte évapotranspiration. La région dispose de plusieurs bassins versants qui se traduisent par plusieurs sources disponibles. Le bassin versant de la Lienne et du Haut Plateau correspondent à l'apport d'eau principale de la région d'Icogne.

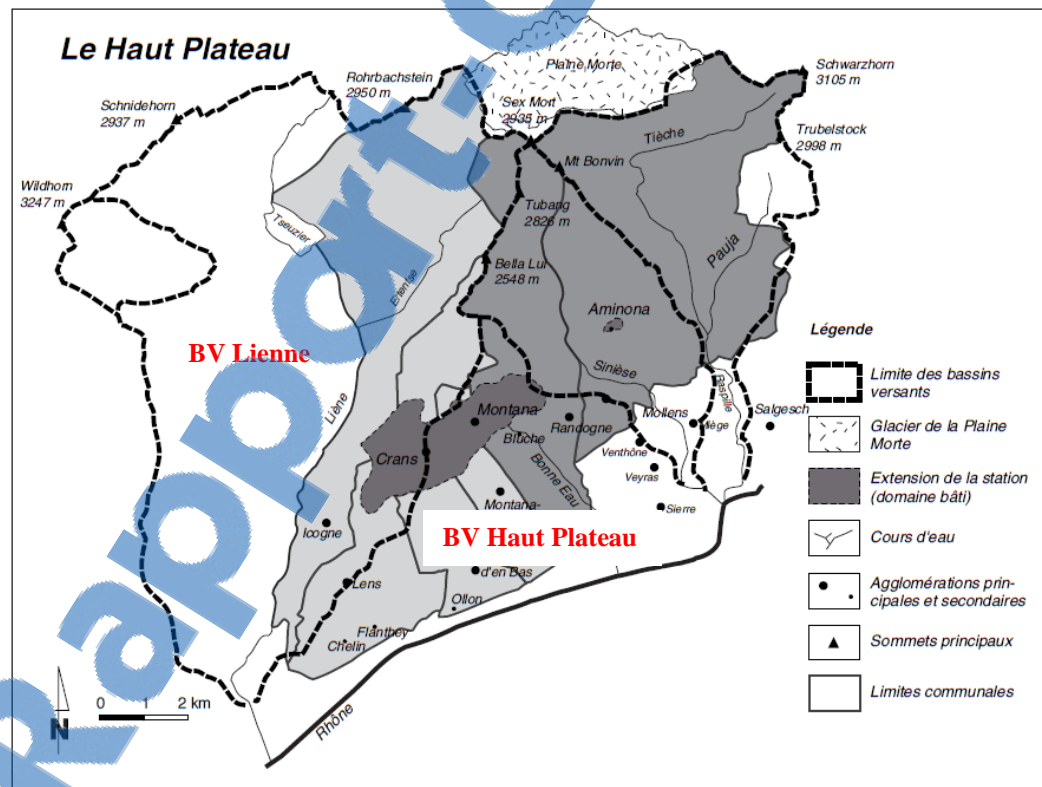


Figure 2: Carte géographique des différents bassins versants (Reynard, 2000)

2. OBJECTIFS DU TRAVAIL

L'objectif du travail est de voir si un modèle d'utilisation de l'eau conciliant les différents usages peut être mis en place.

Les étapes suivantes ont été réalisées pour pouvoir répondre à l'objectif principal.

1. Réalisation d'un schéma du réseau d'eau.
2. Récolte et traitement des données.
3. Analyse des différentes caractéristiques du réseau.
4. Identification des données manquantes.
5. Modélisation du réseau avec le logiciel RS MINERVE.
6. Réalisation de scénario pour une gestion des eaux.
7. Analyse des résultats obtenus.

3. LE RÉSEAU D'EAU

3.1 HISTORIQUE DU RÉSEAU D'EAU

Le régime des eaux de la région a toujours été marqué par son climat sec et son manque de cours d'eau, entre la Lienne et la Raspille. Pour pallier à cette difficulté, l'implémentation de bisses a été nécessaire au bon développement de l'agriculture locale (Commune d'Icogne, 2017). Le terme de bisse recouvre toute installation d'amenée d'eau d'irrigation avec ses équipements, de la prise d'eau dans la rivière jusqu'à l'exutoire. Ils sont souvent caractérisés par un canal à surface libre aménagé par des planches de bois ou du béton.

Cinq bisses ont vus le jour pour pouvoir alimenter correctement les villages de la région. Le recul du glacier de la Plaine Morte causa un assèchement progressif des deux premiers bisses, le bisse d'Aziè et des Fées. Il a été nécessaire d'envisager d'autres aménées d'eau. Aujourd'hui, il n'existe plus que deux bisses aménagés, les bisses de Rho et le Sillonin (Musée des Bisses).

En 1941, les quatre présidents des communes adoptent le projet du tunnel sous le Mont-Lachaux. Ces travaux ont permis d'augmenter considérablement l'arrivée d'eau pour la région du Haut-Plateau (Commune d'Icogne, 2017).

Dans le but d'optimiser les eaux d'irrigation provenant du Mont-Lachaux, la mise en place d'un réservoir était indispensable. Le lac d'Icogne a vu le jour en 1963 pour permettre un stockage tampon saisonnier.

Concernant l'eau potable, il n'existe pas beaucoup d'archives sur le sujet, on en déduit donc que l'amenée d'eau potable était plus facile que la fabrication des bisses. Par ailleurs, en 1947, l'eau potable passa désormais aussi par le tunnel du Mont-Lachaux qui vit son débit augmenter considérablement (Commune d'Icogne, 2017).

Un conflit historique est toujours ouvert en termes de droits des eaux dans la région. La répartition complexe des droits d'eau entre les communes est la suivante :

Communes	Sources	Période d'irrigation	Hors période d'irrigation
Icogne	Ertentse	25%	100%
	Er de Lens	25%	25%
	Barrage Tseuzier	-	-
Montana	Ertentse	25%	0%
	Er de Lens	25%	25%
	Barrage Tseuzier	-	-
Chermignon	Ertentse	25%	0%
	Er de Lens	25%	25%
	Barrage Tseuzier	Urgence	Urgence
Lens	Ertentse	25%	0%
	Er de Lens	25%	25%
	Barrage Tseuzier	-	-

Tableau 1: Droits d'eau entre communes

3.2 LA GESTION ACTUELLE

Pour comprendre la problématique de la gestion des eaux de la région, il faut prendre connaissance de l'organisation actuelle de cette gestion. On a vu précédemment dans l'historique que la répartition des droits d'eaux est encore d'actualité par conséquent cela se remarque dans le système de gestion.

Les quatre communes de Plans-Mayens ont pour chacune d'entre-elles un fontainier qui gère le réseau d'eau. La communication entre eux par le biais du réseau de télécommunication n'est pas optimale.

Actuellement seul aux commandes des eaux de la commune, le fontainier d'Icogne a la responsabilité en tout temps que les apports en eaux soient respectés et que les vannes manuelles soient actionnées.

Pour effectuer ces tâches, il dispose du réseau de télégestion mis en place par l'entreprise DPE à Sierre. Ce réseau permet la visualisation des débits instantanés, le positionnement des vannes, le débit de la turbine hydroélectrique ainsi que la hauteur d'eau dans les différents réservoirs.

3.3 COMPOSANTS

Le réseau d'eau traité dans ce travail est composé de nombreux éléments. Cependant, certains éléments ne sont pas pris en compte dans les détails comme le réseau de distribution d'eau potable, le réseau d'irrigation, les différentes conduites d'amenées et les stations de filtrations des eaux.

Pour mettre en place le réseau d'eau des quatre communes, il a été nécessaire de réaliser un schéma de principe avant la réalisation du schéma détaillé.

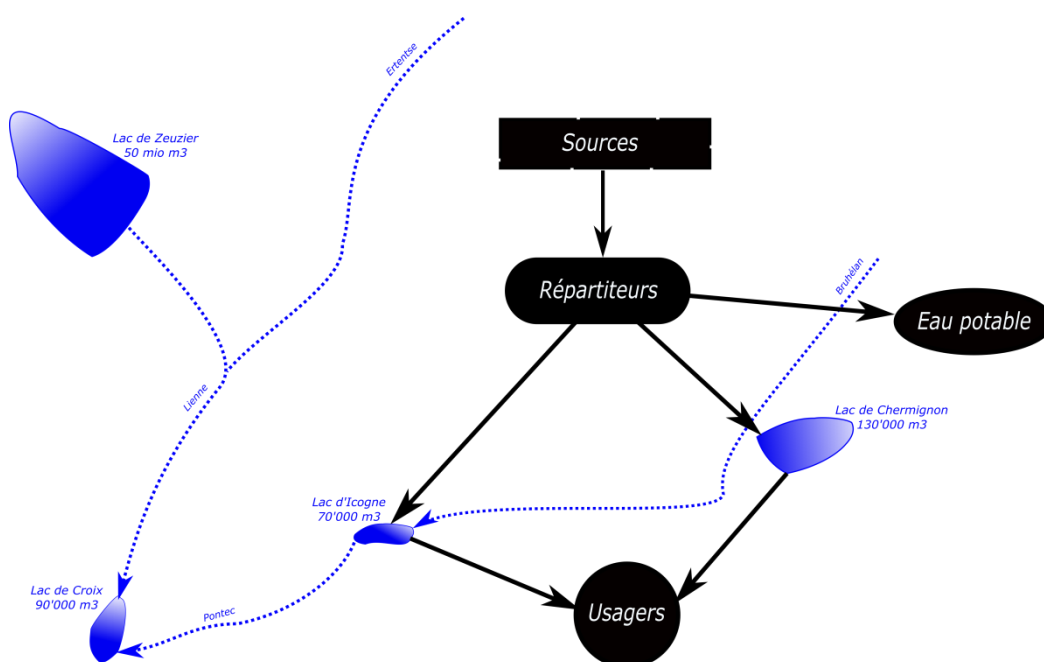


Figure 3: Schéma de principe du réseau

La Figure 3 permet de visualiser les différentes installations présentes sur le site. On remarque quatre groupes clés : les différentes sources hydriques, les répartiteurs (distribution de l'eau), les usines de filtration d'eau potable et les usagers de la ressource.

Suite à la visite de l'entreprise DPE³ à Sierre, le travail s'est basé sur le « nouveau réseau » qui est en place depuis l'année 2016. Différents travaux d'amélioration du système (installation de nouveaux capteurs) ainsi que l'apparition de certains dispositifs (vannes et conduites) ont été réalisés pour faciliter les transferts d'eau entre les différents éléments.

³ DPE Electrotechnique SA, www.dpe.ch

Eléments	Noms	Descriptions
Sources	Ertentse	Prise d'eau sur la rivière de l'Ertentse
	Er de Lens	Sources de l'Er de Lens
	Barrage de Tseuzier	Pompage du Barrage de Tseuzier
	Bruhélan	Prise d'eau sur le torrent du Bruhélan
	Corbyr	Captage souterrain à l'aide d'un puit
Aménagement	Tunnel Mont-Lachaux	Tunnel reliant le vallon de l'Ertense et Plans-Mayens
Répartiteurs	Répartiteur eau brute	Collecte/répartition des eaux brute (irrigation-turbinage)
	Répartiteur eau potable	Collecte/répartition des eaux potables
Usines filtrations	UF Lens	Station de potabilisation de l'eau (traitement)
	UF Icogne	Station de potabilisation de l'eau (traitement)
	UF Montana	Station de potabilisation de l'eau (traitement)
	UF Chermignon	Station de potabilisation de l'eau (traitement)
Irrigations	Réseau Icogne	Distribution non connue, période de avril à mi-septembre
	Réseau Montana	Distribution non connue, période de avril à mi-septembre
	Réseau Lens	Distribution non connue, période de avril à mi-septembre
	Réseau Chermignon	Distribution non connue, période de avril à mi-septembre
Turbinages	Icogne Energie SA	Puissance installée de 2 MW
	Pompes Inverses	Puissances installées de 50 et 30 kW
	Lac d'Icogne	Encore en construction
Enneigements		Réseau haute pression, locations des infrastructures
		Réseau basse pression, locations des infrastructures
Tourismes	Sportifs	Priscines publics, golf et divers utilisations
	Visuels	Lacs, étangs et fontaines

Tableau 2: Composants du réseau d'eau

L'amené des eaux de sources se fait par canal ou cours d'eau à surface libre. Aucune de ces conduites n'est sous-pression, cela permet un investissement moins important.

Le réseau d'eau comporte toutefois certaines parties sous-pression nécessaire au fonctionnement des aménagements hydrauliques de turbinage et de pompage (transvasement entre différents réservoir).

3.4 SCHÉMA DU RÉSEAU

Le schéma du réseau représenté en *Figure 4* illustre les composants principaux ainsi que la direction des flux.

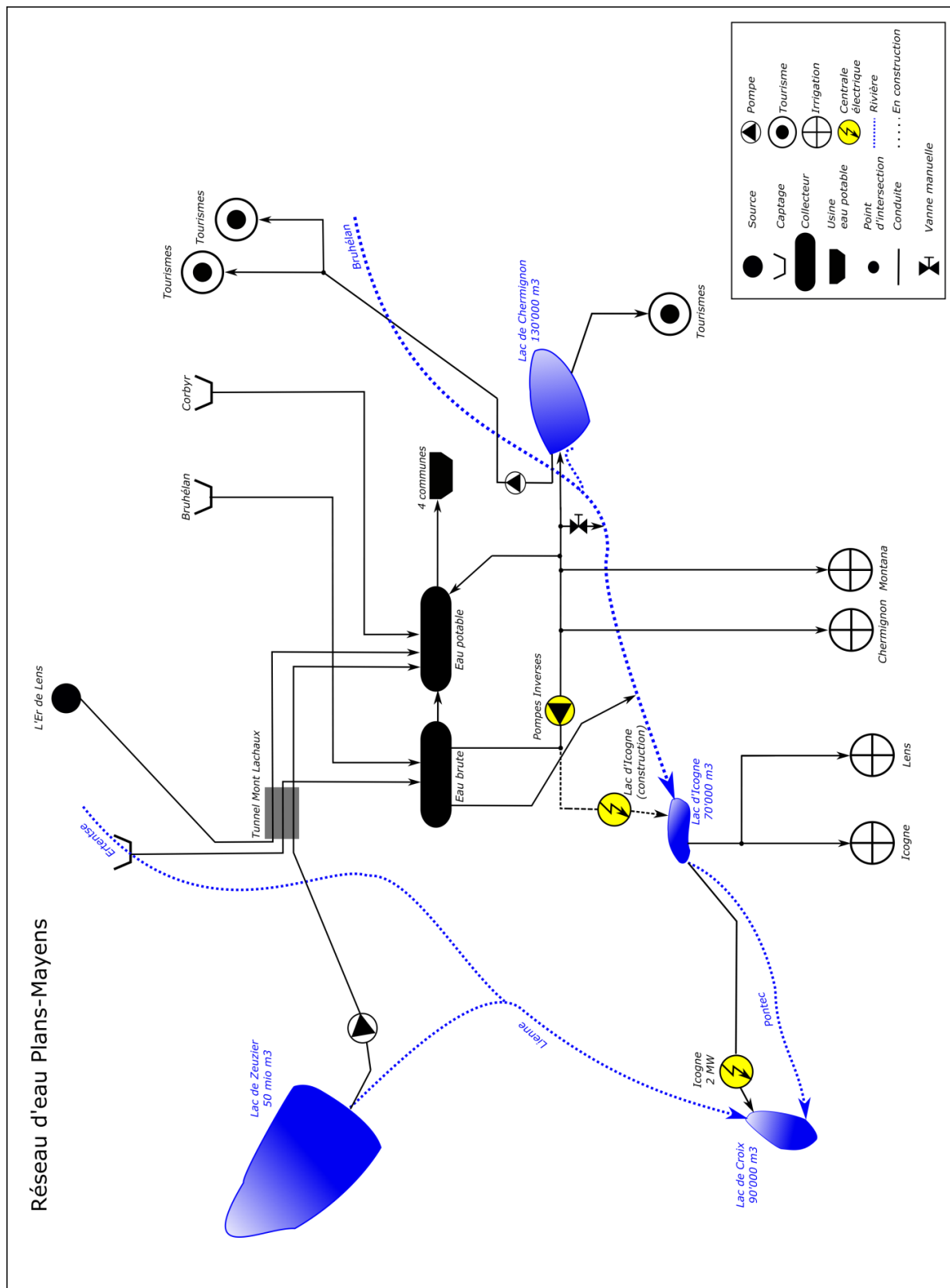


Figure 4: Schéma du réseau d'eau

3.5 SCHÉMA DU RÉSEAU AVEC CAPTEURS

Le schéma du réseau représenté en *Figure 5* démontre l'emplacement des différents capteurs de mesure du débit (DM = débit mètre ; M = mesure du niveau pour donner un débit).

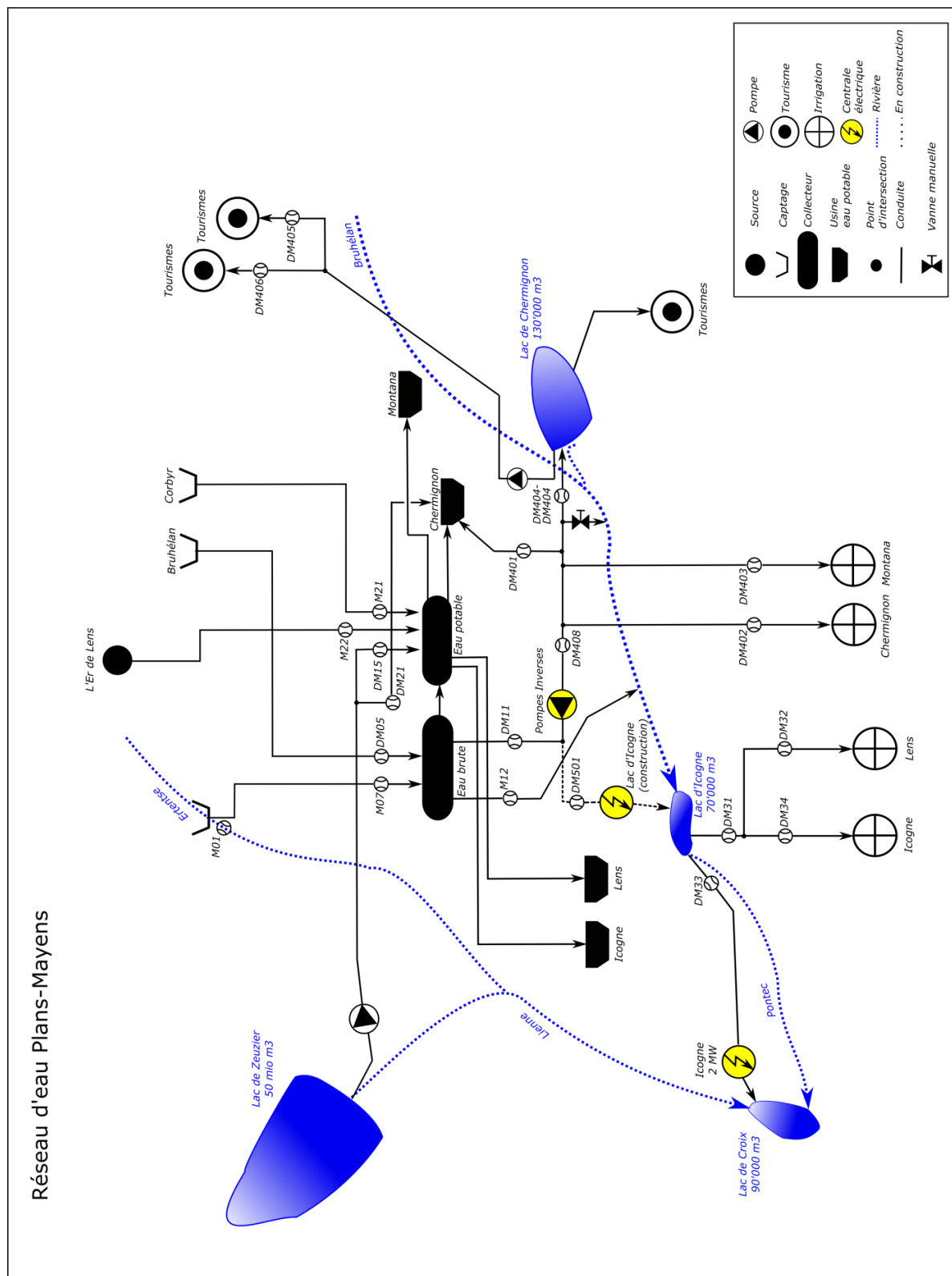


Figure 5: Schéma du réseau avec capteurs

3.6 INTERVENTIONS

Pour comprendre les différences dans les valeurs de la base de données et pour que la validation de la simulation soit la plus pertinente possible, il a fallu établir les différents travaux réalisés sur le site.

La plage de l'étude débute au début de l'année 2016 et prend fin au mois d'août 2017. Cette période correspond à l'infrastructure et la gestion du réseau actuel. Suite à la visite sur le site et aux renseignements fournis par M. Yves Rey (Cordonier, Rey, & Rey, 2012), il n'y a pas eu de travaux créant une modification des débits significative durant cette période, excepté les vidanges régulières et les travaux actuels au lac d'Icogne.

En ce qui concerne les vidanges et purges régulières, les débits sont très faibles donc négligeables dans les pertes du réseau. Ces vidanges se comportent généralement de la manière suivante : une courte ouverture dans un intervalle de temps défini. Par exemple, la vanne de purge de la prise d'eau sur l'Ertentse s'ouvre toutes les 24 heures durant un temps de 10 secondes.

Les travaux de rénovation sur la digue supérieure du lac d'Icogne ont entraîné l'abaissement du niveau du lac. La hauteur habituelle du lac est proche de 10 mètres et celle-ci est actuellement à environ 6 mètres. Une grosse vidange a dû être effectuée pour permettre le début des travaux qui ont significativement changé les débits d'entrée et de sortie du lac.

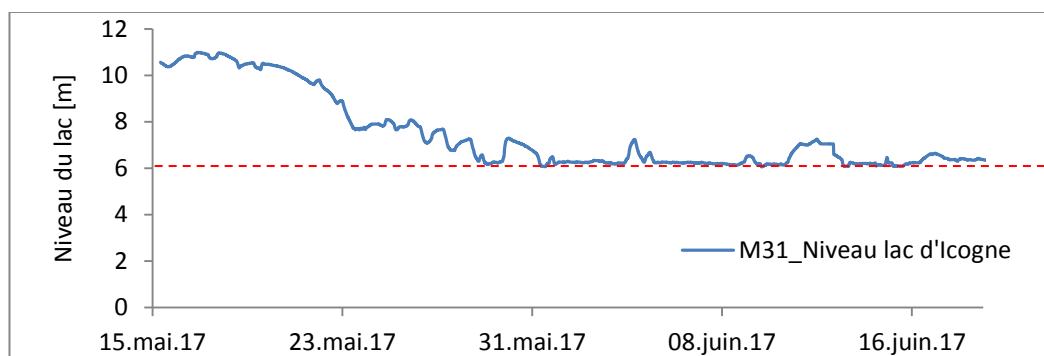


Figure 6: Vidange significative du lac d'Icogne

La Figure 6 confirme le changement du niveau du lac d'Icogne. Le début des travaux a débuté fin mai lorsque que le lac s'est stabilisé à 6 mètres. La Figure 7 illustre les travaux sur la digue supérieure.



Figure 7: Digue supérieure du lac Icogne

4. LES DONNÉES DU RÉSEAU

4.1 TÉLÉRÉSEAU « DPE »

Le télé réseau de l'entreprise DPE à Sierre permet de gérer à distance une partie des installations mais permet aussi d'être un outil de sécurité et d'observation en temps réel. Dans le cadre de cette étude, le télé réseau a permis d'une part de mieux comprendre les infrastructures du réseau et d'autre part d'en extraire les données nécessaires au modèle numérique. La base de données existante sur ce réseau contient la valeur des débits ou hauteurs des différents capteurs sur une plage de temps plus ou moins longue d'après la mise en place de ceux-ci.

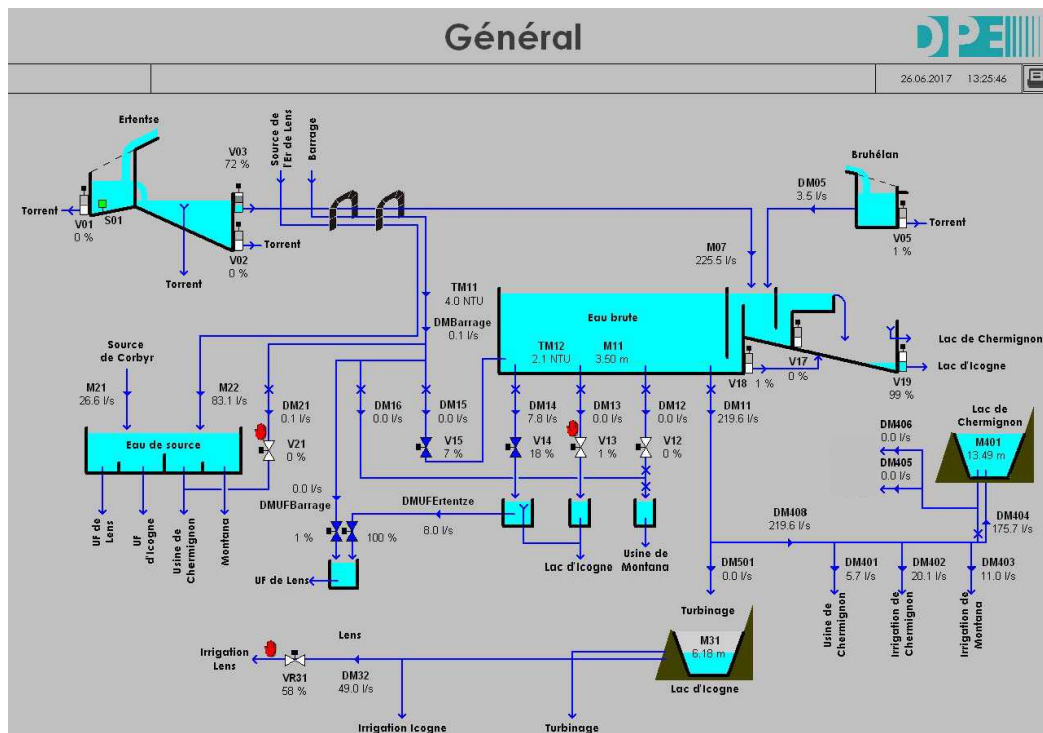


Figure 8: Synoptique du réseau d'eau mis en place par la société DPE

La Figure 8 représente l'interface principale du réseau d'eau de DPE. On y trouve toutes les infrastructures importantes au bon fonctionnement du réseau. Chacune des parties de ce réseau peut être consultée plus en détails si l'opérateur le désire.

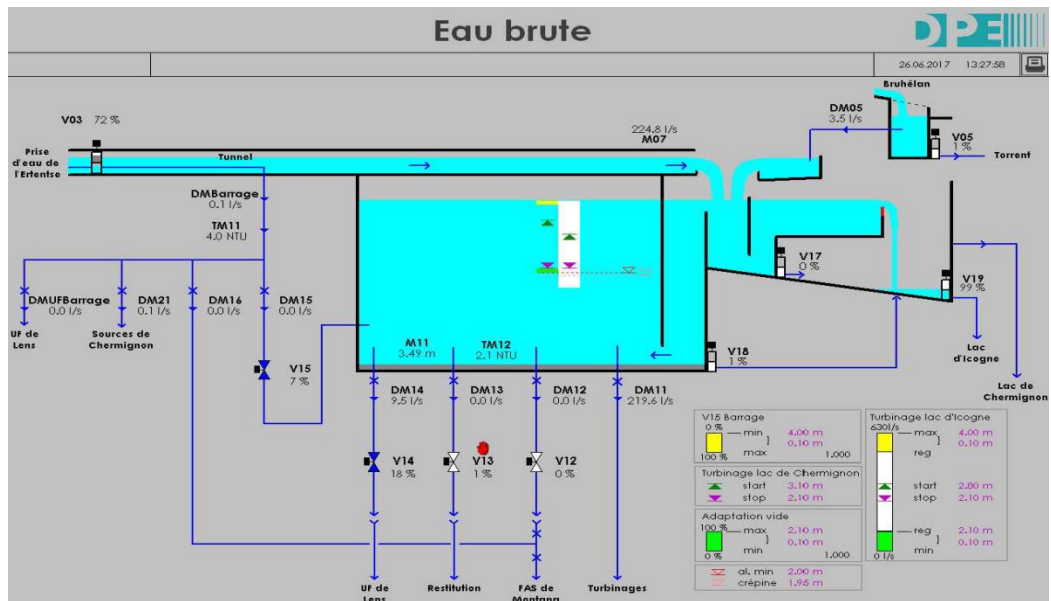


Figure 9: Schéma eau brute DPE

La Figure 9 est un zoom sur la zone du répartiteur d'eau brute. On peut observer toutes les entrées et sorties d'eau de celui-ci. Les différentes parties détaillées du réseau ont permis de bien assimiler les particularités de celui-ci durant certaines périodes comme la saison où un surplus d'eau doit être géré.

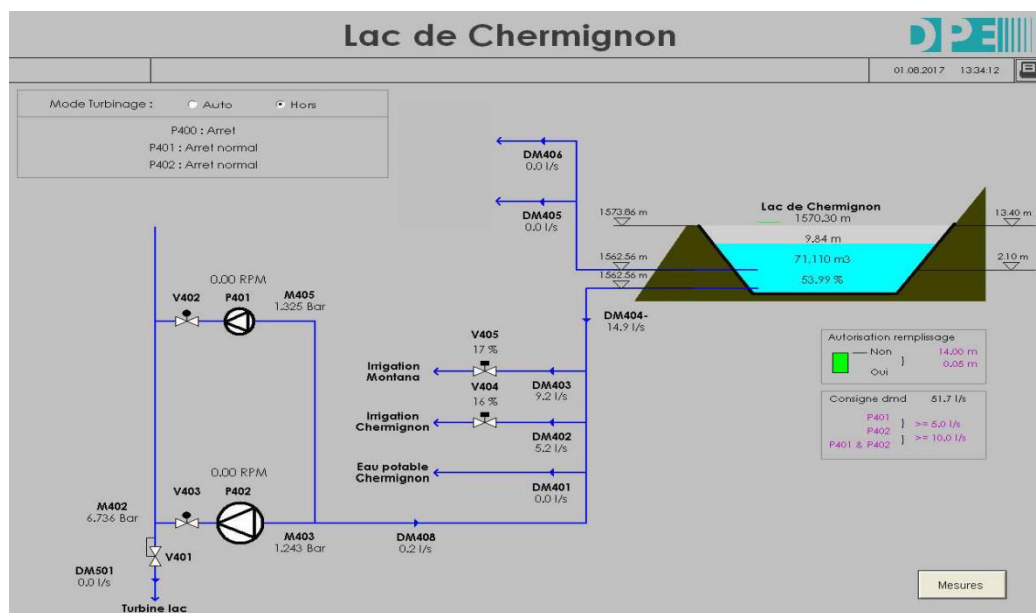


Figure 10: Lac de Chermignon DPE

La Figure 10 est l'un des zooms qui a été indispensable pour comprendre les arrivées et sorties d'eau du lac de Chermignon. La particularité principale de cette partie est la réversibilité du débit au niveau du capteur DM404, soit on alimente le lac, soit on soutire de l'eau au lac pour alimenter les différents usagers comme l'irrigation de Montana et Chermignon.

4.2 EXTRACTION DES DONNÉES

L'extraction des données se fait aussi par le biais de ce télé-réseau. La procédure d'extraction ne peut pas être accomplie en une seule fois pour l'ensemble des capteurs, une extraction sur une plage maximale de six semaines est fixée et le nombre maximum de capteurs est de huit. Donc une méthode rigoureuse a été mise en place pour optimiser le temps d'extraction de tous les capteurs. L'extraction a été réalisée à l'aide de trois blocs différents (*Figure 11*).

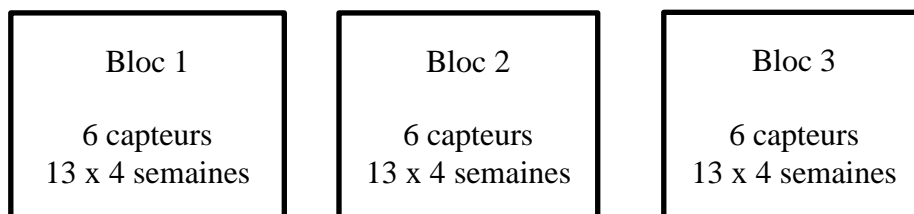


Figure 11: Technique d'extraction des données sur une année

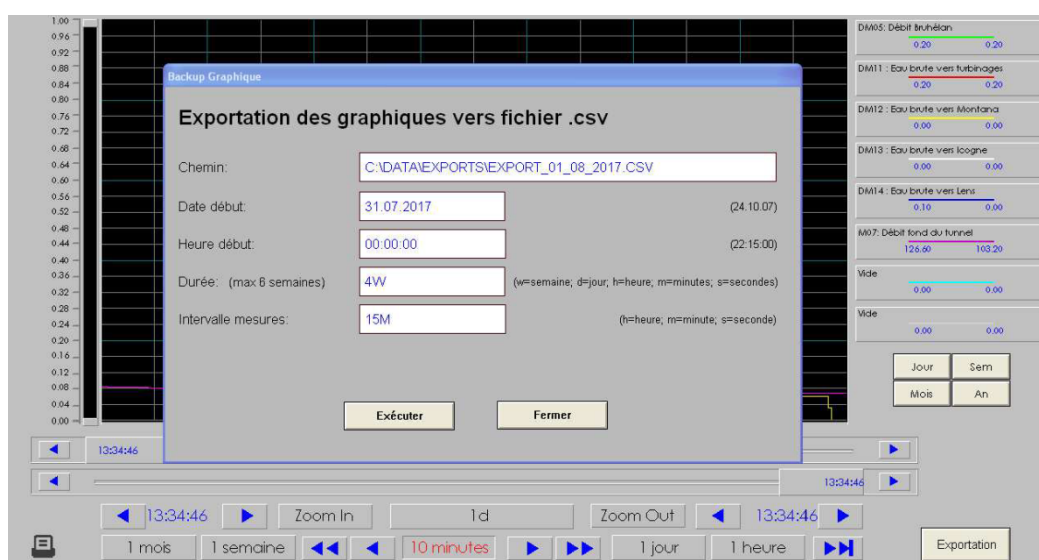


Figure 12: Extraction des données DPE

La *Figure 12* illustre la procédure pour exporter les données. La démarche est la suivante :

1. Choisir les capteurs (clic droite sur le graphique).
2. Si un emplacement est vide, spécifier « *unsigned* ».
3. Cliquer sur exportation.
4. Remplir les cases de la fenêtre avec les formats définis en marge et spécifier l'emplacement de la sauvegarde (*Figure 12*).
5. Exécuter et pour finir transférer les données de la plateforme à la machine locale (ordinateur personnel).

4.4 ANALYSES DES CARACTÉRISTIQUES DU RÉSEAU

4.4.1 LA RESSOURCE EN EAU

L'analyse des différents capteurs concernant les sources permet d'observer si la ressource en eau disponible varie entre les années (*Figure 16*). La période de mesure extraite pour l'observation s'étale sur une plage de quatre ans. Le capteur M07, qui mesure le débit de l'Ertentse, a été mis en place début 2016, ce qui limite la pertinence des observations.

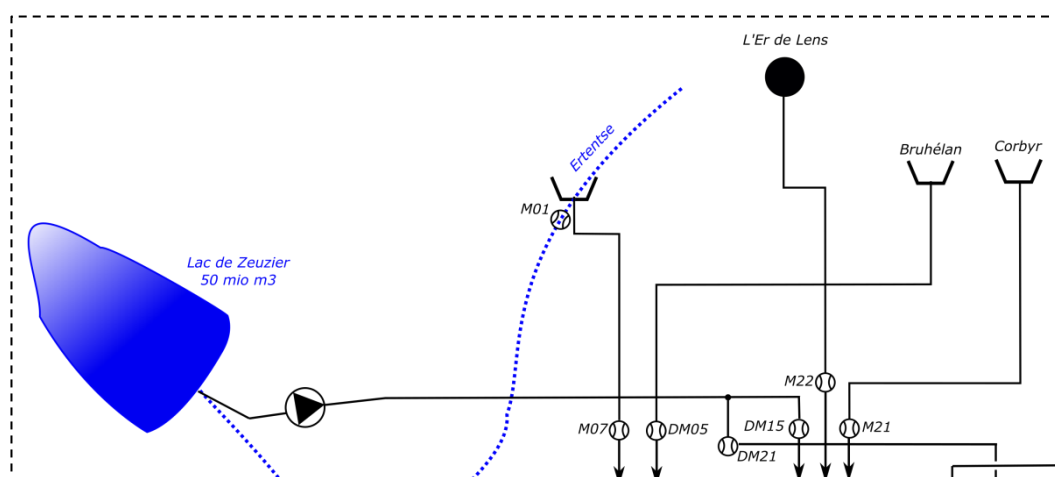


Figure 16: Zoom sur les capteurs des différentes sources

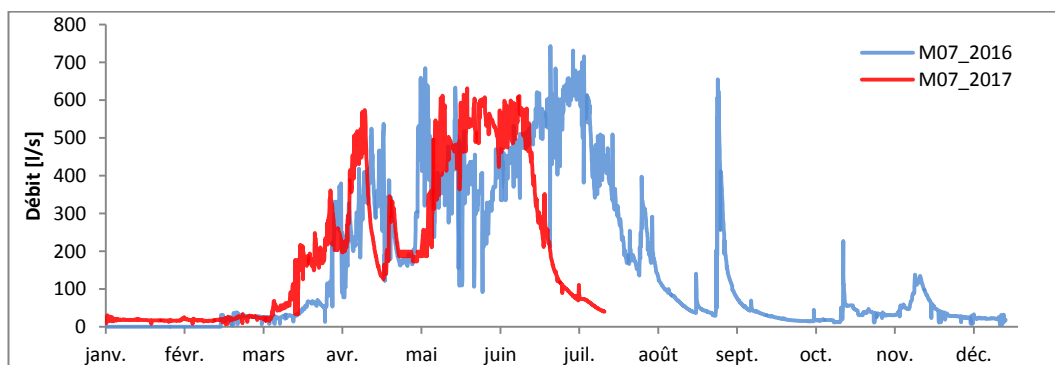


Figure 17: Capteur M07, Débit Ertentse

L'Ertentse représente la source la plus importante du réseau d'eau brute. La *Figure 17* démontre que la tendance entre 2016 et 2017 est semblable jusqu'à fin mai. L'apport du mois de mai est plus important durant l'année 2017. Celui-ci est nettement inférieur aux mois de juin et juillet durant l'année 2017. Le mois de juin 2016 a été touché par des orages et de grosses précipitations par comparaison à la canicule du mois de juin 2017 (Météo Suisse, 2016-2017).

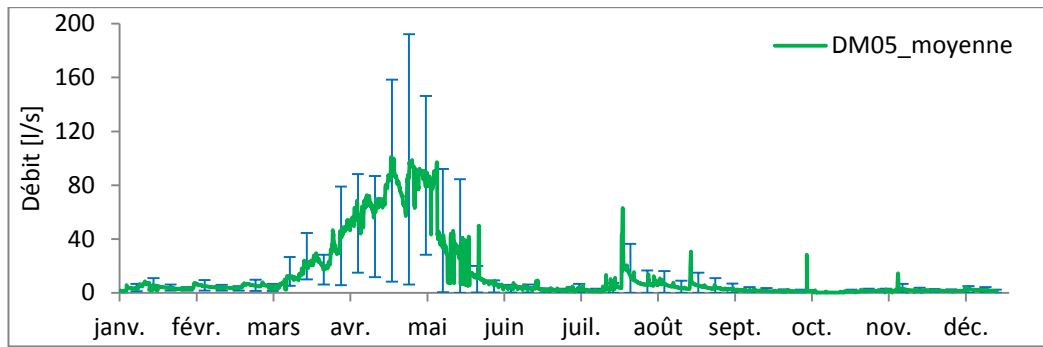


Figure 18: Capteur DM05, Bruhélán, moyenne et écart-type (2014-2017)

Le captage du Bruhélán est la seconde source du réseau d'eau brute (Figure 18). En terme de volume, 450 000 m³ proviennent du Bruhélán à comparer aux 5 000 000 de m³ provenant de l'Ertentse. Le facteur d'apport en eau est d'environ de 10. La barre d'erreur centrée sur la moyenne permet d'observer la variation entre les années. La période à fort débit (avril-mai) démontre des écarts de plus de 100 l/s par rapport à la moyenne.

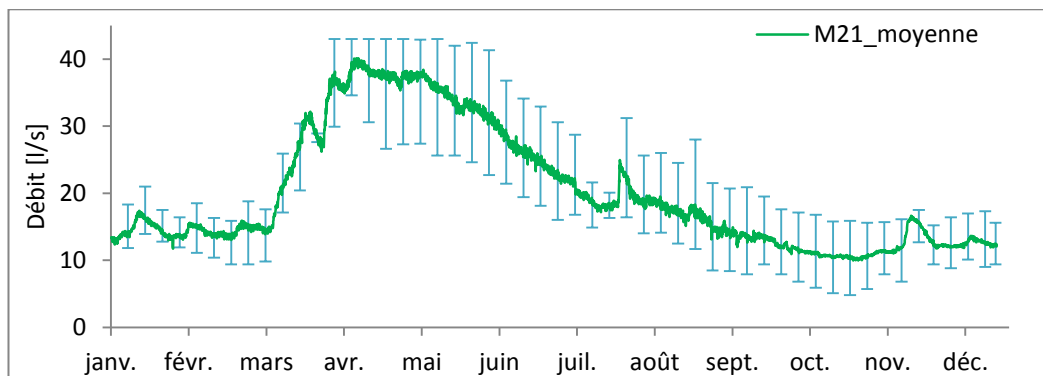


Figure 19: Capteurs M21, Corbyr, moyenne et écart-type (2014-2017)

L'apport en eau de la source de Corbyr est utilisé uniquement pour le réseau d'eau potable (Figure 19). Elle ne contribue donc pas directement au model numérique mais permet d'observer une périodicité sur les mesures. On remarque un plafond du débit à 43 l/s, ceci est sûrement lié aux dimensionnements des installations techniques. L'écart est constant sur l'année, il est en moyenne de ± 8 l/s.

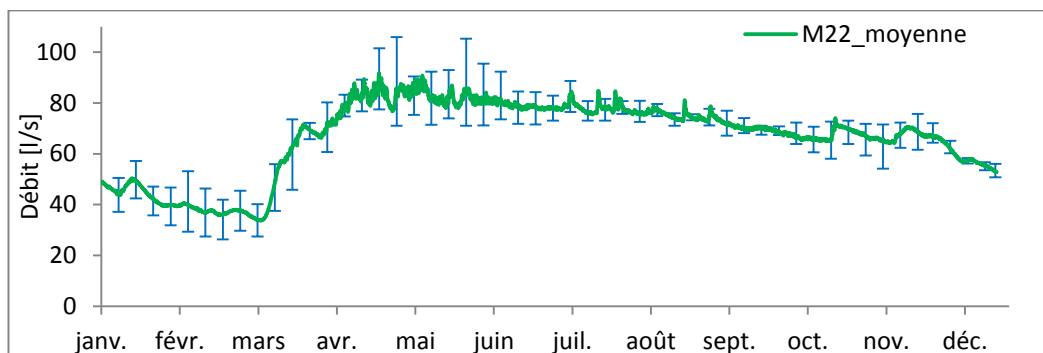


Figure 20: Capteurs M22, Er de Lens, moyenne et écart-type (2014-2017)

L'Er de Lens alimente aussi le réseau d'eau potable (Figure 20). On observe une périodicité sur la plage des quatre années de mesure. L'écart le plus important à la moyenne est de 25 l/s durant la période des crues.

L'observation des ressources en eau de la région nous a démontré que l'année 2014 a été plus sèche que les autres années observées. C'est la cause première des écarts types observés. Le mois de mai 2014 a été frais par rapport aux autres années, cela a retardé la fonte du manteau neigeux (Météo Suisse, Bulletin climatologique mai 2014, 2014). Cependant, le mois de juillet 2014 a connu des records de précipitations qui ont provoquées une crue importante (Météo Suisse, Bulletin climatologique juillet 2014, 2014).

Ces courbes nous démontrent une périodicité des ressources en eau dans la région. Certains critères climatiques jouent un rôle entre les années comme la température à la fin de l'hiver et au printemps ainsi que la quantité de précipitations durant la saison estivale.

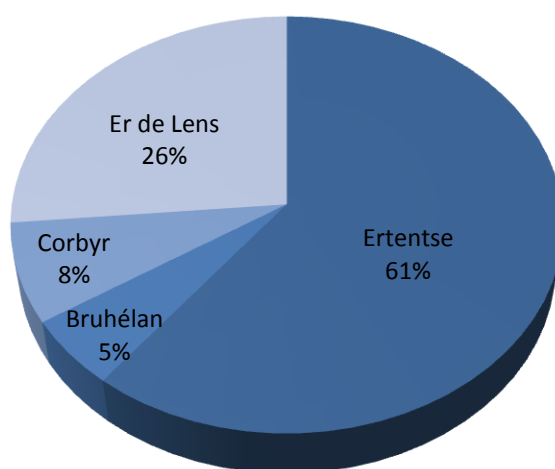


Figure 21: La part du volume d'eau sur l'année 2016

La *Figure 21* illustre bien la répartition des sources sur une année. Plus de 60% du volume en eau est consommé par le réseau d'eau brute. Une grande partie de ce pourcentage correspond à la consommation d'eau de la centrale hydro-électrique d'Icogne Energie SA.

4.4.2 LES LACS

Il y a deux lacs qui jouent le rôle de réservoir dans le réseau de la région d'Icogne : le lac d'Icogne (*Figure 22*) et le lac de Chermignon (*Figure 23*). Un lac se caractérise par la relation entre son niveau et son volume. Celle-ci permet de connaître le volume disponible du réservoir en ayant uniquement la valeur du niveau. Ces deux courbes hauteur-volume ont été obtenues auprès de l'entreprise Cordonier & Rey SA à Sierre (Valais) (Cordonier, Rey, & Rey, 2012).

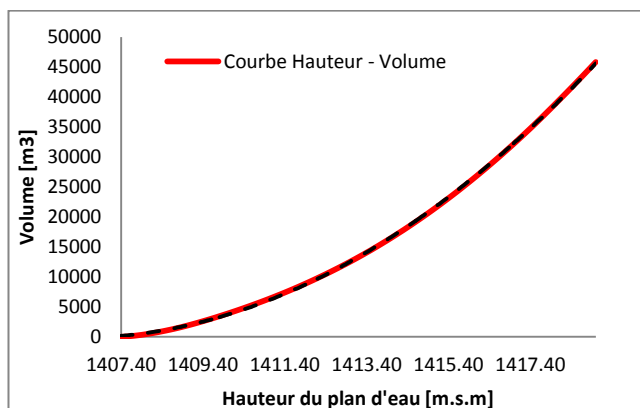


Figure 22: Courbe Hauteur-Volume d'Icogne, (Yves Rey)

Niveau [msm]	Descriptions
1407.4	Point bas
1048	Conduites d'irrigation
1411	Niveau min. du turbinage
1417.63	Crête du déversoir
1419	Couronnement

Tableau 3: Niveaux du lac d'Icogne

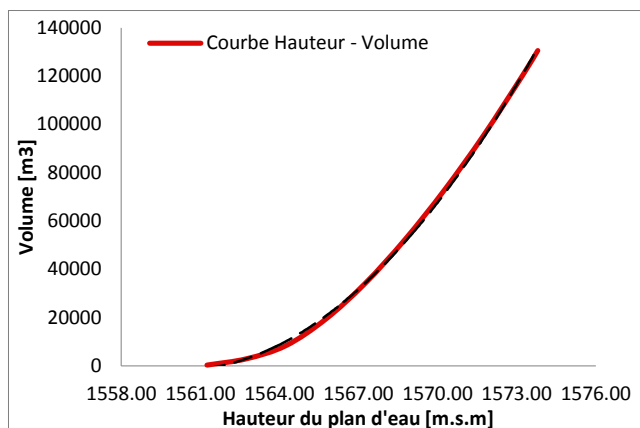


Figure 23: Courbe Hauteur-Volume de Chermignon, (Yves Rey)

Niveau [msm]	Descriptions
1561.25	Point bas
1562.56	Conduites d'irrigation
1562.56	Conduites tourisme
1573.86	Crête du déversoir

Tableau 4: Niveaux du lac de Chermignon

4.4.3 LA CENTRALE HYDROÉLECTRIQUE

La centrale hydroélectrique d'Icogne Energie SA permet de valoriser le surplus d'eau d'irrigation du lac d'Icogne. Celle-ci se situe en amont du bassin de compensation de Croix (Figure 24).

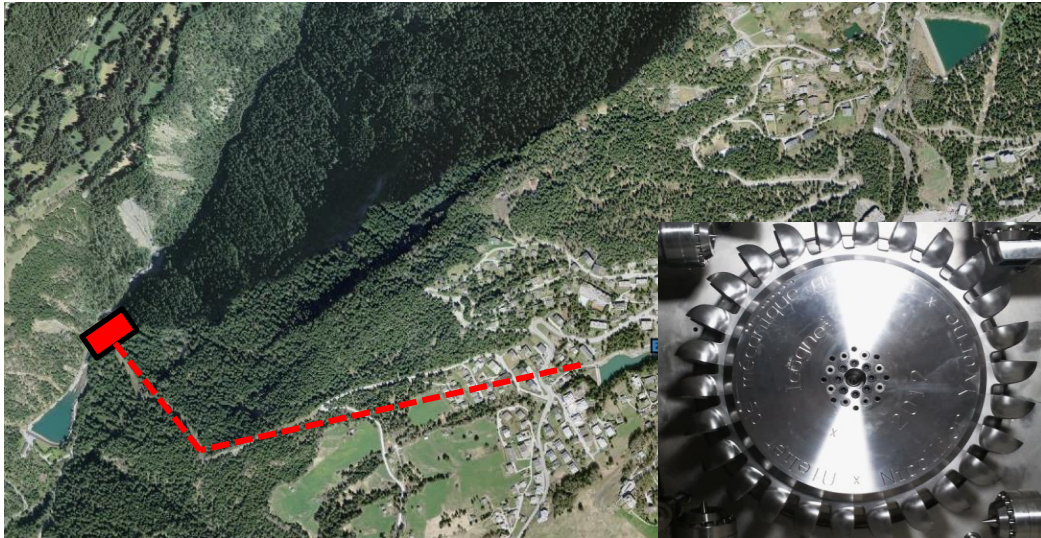


Figure 24: Carte de la centrale hydroélectrique et la turbine Pelton, (Cordonier, Rey, & Rey, 2012)

Caractéristiques de l'aménagement	
Puissance installée	2 MW
Chute brute	493 m
Chute nette ⁴	435 m
Longueur conduite	1750 m
Diamètre conduite	500 mm
Débit équipé	530 l/s
Turbine	1 x Pelton à 4 injecteurs axe vertical
Production annuelle	4.5 GWh

Tableau 5: Caractéristiques techniques de la centrale hydro-électrique

Le calcul de la chute nette permet de confirmer par la suite la production d'électricité de la centrale simulée avec le logiciel RS MINERVE.

⁴ Le détail du calcul pour la chute nette (*pertes de charge*) se trouve en annexe page 53.

La turbine d'Icogne Energie SA présente deux modes de fonctionnement selon que le lac est utilisé ou non pour l'irrigation :

Mode de fonctionnement par accumulation (Figure 25) :

- Période hors irrigation
- Régulation du niveau en fonction de deux cotes
- Arrêt du turbinage à la côte basse
- Démarrage turbinage à la côte supérieure
- Adaptation pour éviter les arrêts et démarrages

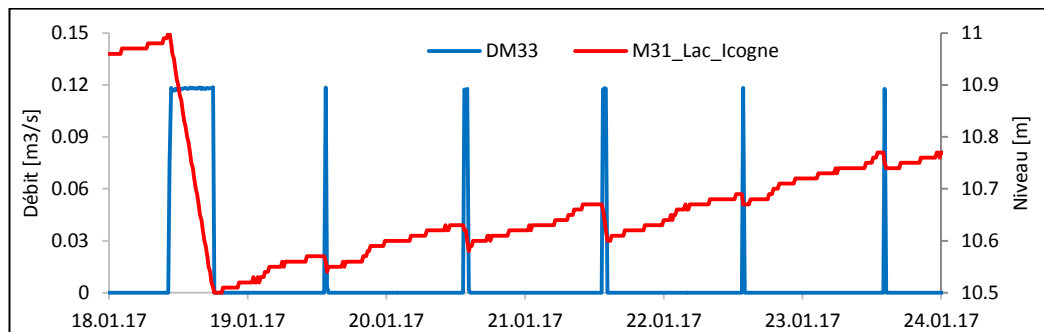


Figure 25: Fonctionnement turbine période hors irrigation

Mode de fonctionnement à niveau constant (Figure 26) :

- Période d'irrigation
- Turbinage à niveau de lac constant
- Le surplus du niveau constant est turbiné

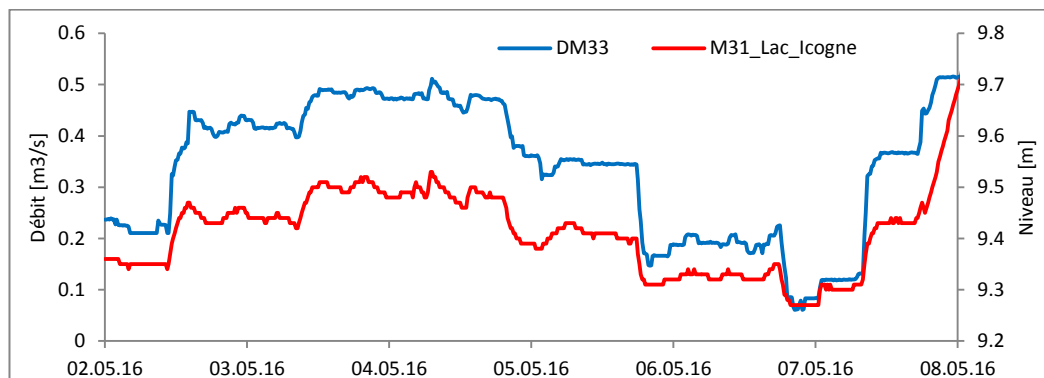


Figure 26: Fonctionnement turbine période d'irrigation

Le fonctionnement de la turbine est lié aux différentes périodes qui elles sont liées principalement à la ressource en eau (Bétrisey, 2016). Le début de l'irrigation au mois de mai correspond à la fonte des neiges du bassin versant et donc à une arrivée d'eau conséquente durant les mois de mai et juin. Cette caractéristique provoque une complexité à la prédiction de la production d'électricité de la centrale.

La courbe de rendement est réalisée à l'aide des documents de Mhyllab (*Figure 27*). Ces différentes courbes par injecteur ont permis d'extrapoler une courbe pour l'ensemble de la turbine pour un débit et un volume spécifique (*courbe en tirets sur la Figure 27*).

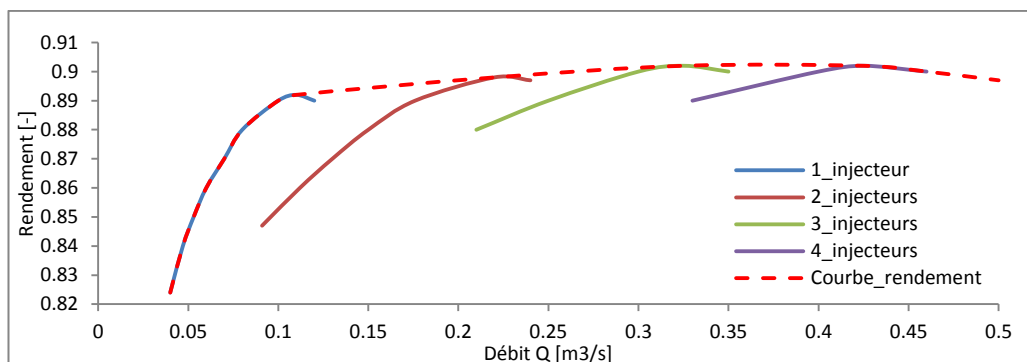


Figure 27: Courbe de rendement par débit turbiné

La *Figure 28* présente le fonctionnement de la turbine sur une période d'une année. La grande partie de la production de la centrale se fait durant les mois de mai, juin et juillet lorsque les débits des bassins versant en amont sont les plus importants. Durant la période d'été des rivières, la turbine fonctionne très peu.

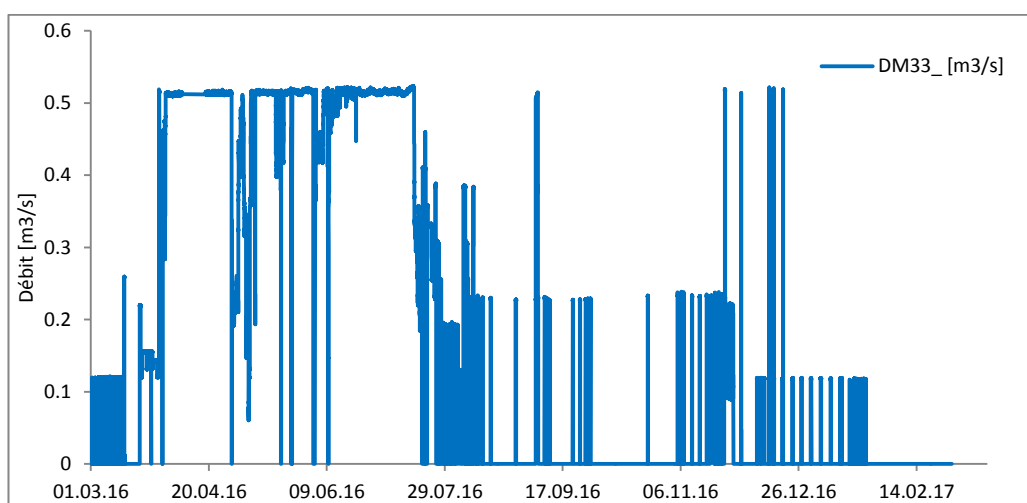


Figure 28: Fonctionnement de la turbine, période mars 2016-février 2017

4.4.4 L'IRRIGATION DES COMMUNES

L'irrigation agricole des quatre communes est une partie principale du réseau d'eau brute. La période d'irrigation effective est ouverte entre le mois de mai et la fin septembre (*Figure 29*).

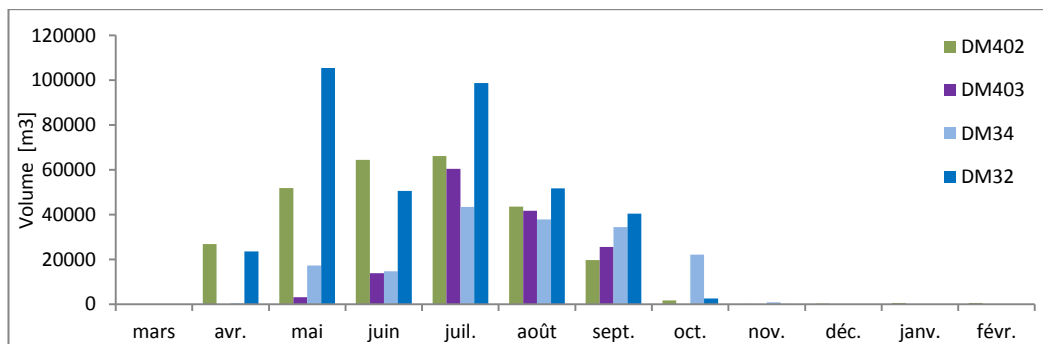


Figure 29: Cumules par mois de l'irrigation

L'irrigation ne dispose pas de régulation ou de planification en fonction des conditions environnementales et des besoins des usagers. Seules des restrictions peuvent être mise en place lors des pénuries d'eau.

Les quatre communes n'ont pas la même méthode d'irrigation (*Figure 30*). Deux capteurs ont une tendance journalière constante qui évolue par palier sur les différentes semaines (DM402-DM403 superposées dans la *Figure 30*). Un autre capteur (DM32) évolue lui aussi par palier du fait de la présence d'un bassin tampon entre le réservoir principal et les conduites d'irrigation. Pour l'irrigation d'Icogne (DM32), aucune tendance n'est observée sur les différents mois.

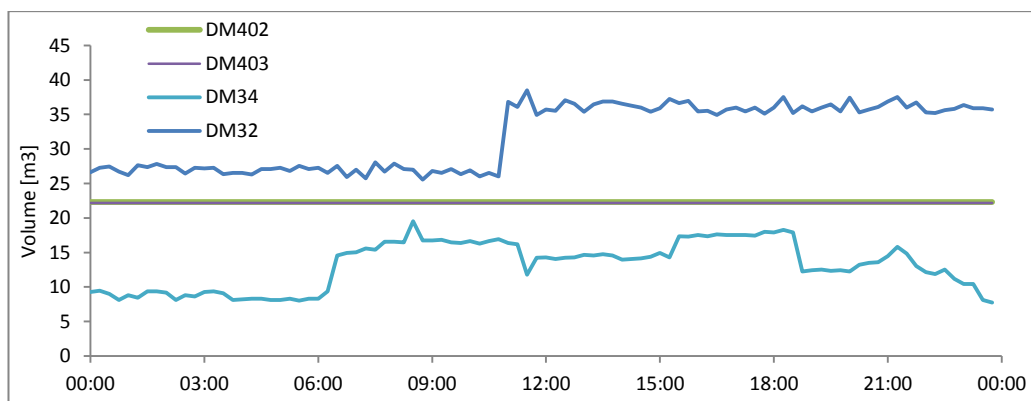


Figure 30: Fonctionnement des différentes irrigations

Une analyse détaillée de l'irrigation en fonction du débit turbiné est requise car leurs périodes de fonctionnement à plein régime se superposent durant les mois de mai à juillet.

En termes de débit et de volume, l'irrigation est inférieure à la consommation de la turbine hydraulique, les quatre irrigations réunies représentent le 1/5 du volume turbiné. L'irrigation d'Icogne représente 1/30 du volume turbiné.

Cependant, une corrélation entre le débit d'irrigation d'Icogne (DM34) et le débit turbiné (DM33) par la centrale est mise en évidence dans certains cas. Sur la *Figure 31*, les volumes sont inversement proportionnels entre ces deux capteurs.

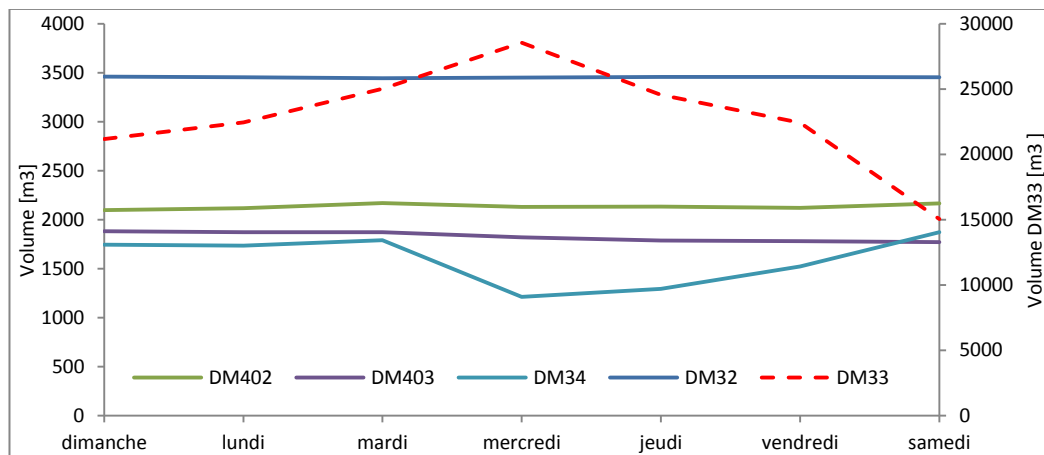


Figure 31: Fonctionnement d'une semaine au mois de juillet 2016

Sur la *Figure 32* qui représente le mois de juillet 2016, on retrouve la même tendance de proportionnalité inverse entre DM33 et DM34.

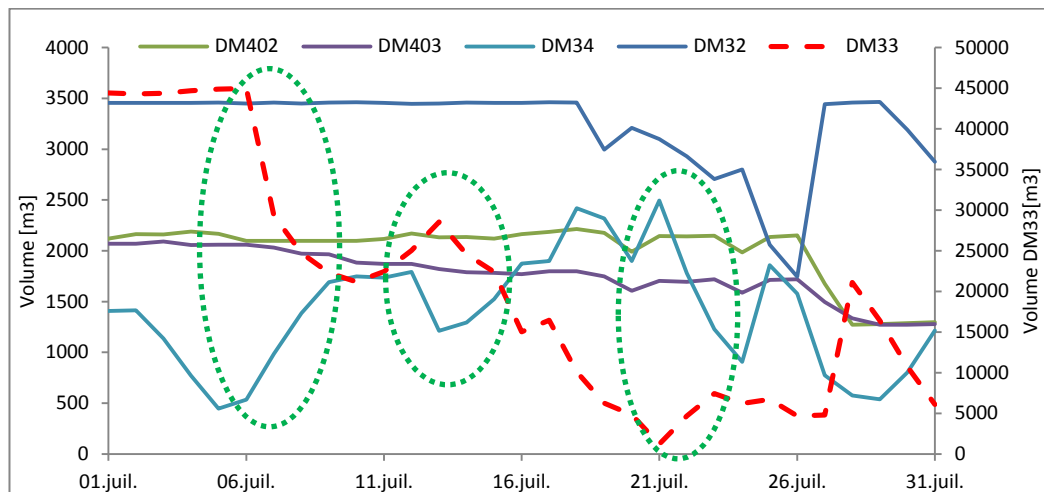


Figure 32: Fonctionnement du mois de juillet 2016

Par ailleurs, il est essentiel de garder en vue que les débits d'entrées des sources jouent le premier rôle sur le fonctionnement du turbinage.

4.5 DONNÉES MANQUANTES

Le réseau d'eau possède certaines données non-répertoriées sur la plateforme informatique. Ces données sont des débits d'entrée ou de sortie qui ont un impact sur le système dans son ensemble.

4.5.1 SURPLUS DU LAC DE CHERMIGNON

Le lac de Chermignon dispose d'une vanne manuelle qui permet de réguler le surplus d'eau durant la période estivale. La *Figure 33* représente la configuration des entrées et sorties du lac de Chermignon. Les capteurs DM404 et DM404- permettent de connaître le sens du débit : apport ou soutirage.

Il y a deux fonctionnements possibles pour le système :

1. Soutirage du répartiteur d'eau brute en direction du lac en passant par les consommateurs et la vanne manuelle.
2. Soutirage du lac de Chermignon en direction des consommateurs en passant par la vanne manuelle.

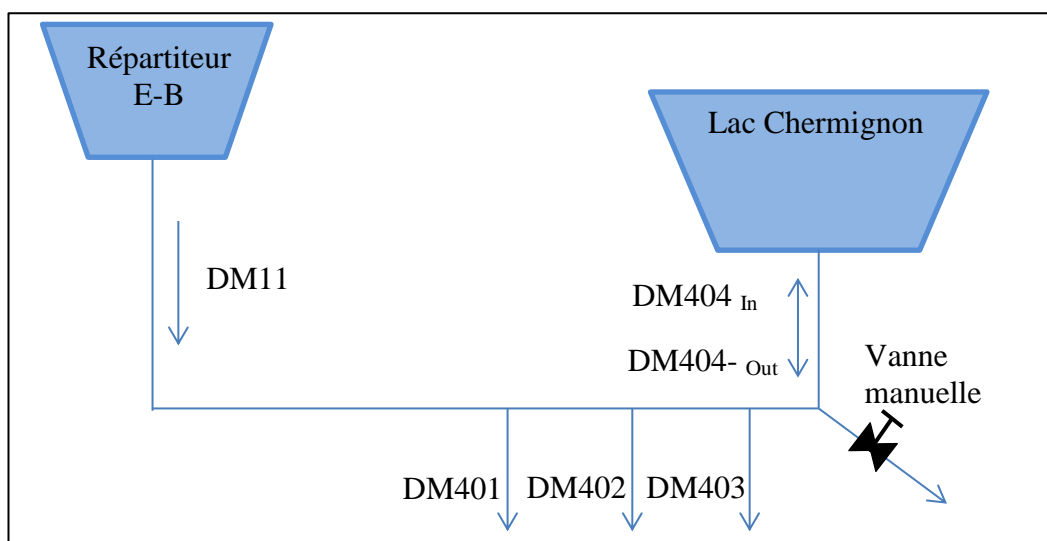


Figure 33: Configuration du réseau au niveau du lac de Chermignon et de la vanne manuelle

Pour déterminer le débit sortant au niveau de la vanne manuelle, la méthode est décrite sur la *Figure 34*. L'algorithme permet de construire une courbe de débit sur une année.

Si $DM11 < 0 \text{ [m}^3/\text{s]}$
Débit vanne manuelle = $DM404_{out} - (DM401 + DM402 + DM403)$
Sinon
Débit vanne manuelle = $DM404_{in} - (DM401 + DM402 + DM403)$

Figure 34: Algorithme surplus vanne manuelle

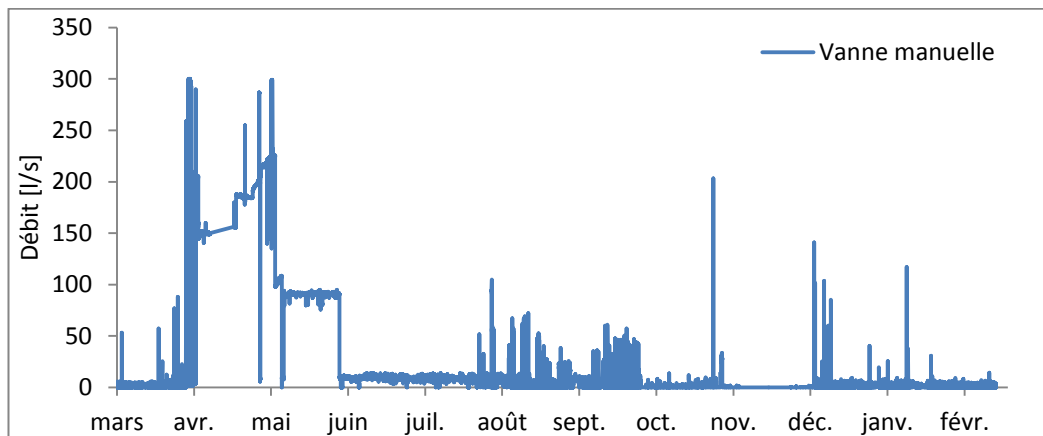


Figure 35: Courbe débit surplus vanne manuelle

La courbe de la *Figure 35* démontre qu'il y a un déversement important durant les mois d'avril et mai. Durant cette période, la vanne manuelle est constamment ouverte. Le reste de l'année, les débits ne sont pas constants, à cause soit d'erreur de mesure des capteurs, soit d'ouverture journalière en cas de surplus.

4.5.2 DONNÉES DES APPORTS NATURELS

La région dispose de plusieurs sources caractérisées et de plusieurs bassins versants confirmés. Comme vu précédemment, les sources principales sont bien connues.

Par ailleurs, au cours de la période où le turbinage est à son maximum, durant la fonte du manteau neigeux, l'apport en eau ne satisfait pas la consommation de tous les usagers (voir chapitre modélisation). Donc un apport naturel supplémentaire est existant dans la région.



5. PLAN D'EXPÉRIENCE

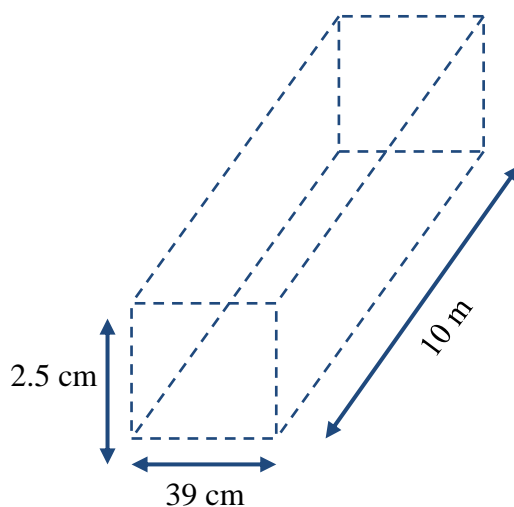
5.1 OBJECTIFS

L'objectif du plan d'expérience est de pouvoir caractériser le débit en amont du lac d'Icogne. Comme vu précédemment dans les « données des apports naturels », cette prise de mesure permet de définir une donnée manquante au réseau d'eau.

5.2 MISE EN PLACE

Le débit dans la rivière le jour planifié pour les mesures était trop faible pour pouvoir faire une étude avec les outils standards comme le moulinet électromagnétique ou le débitmètre à hélice.

La mesure a été faite à l'aide de la technique du « bouchon de liège ». Cette méthode permet une bonne estimation du débit existant si le cours d'eau n'est pas trop agité. Le principe est simple, on laisse flotter un objet d'un point A à un point B et on mesure le temps nécessaire à ce parcours. Il faut aussi déterminer la section de passage.



$$\begin{aligned} \text{Section} &= 97.5 \text{ cm}^2 \\ \text{Longueur} &= 10 \text{ m} \\ \text{Temps} &= 15 \text{ s} \\ \text{Vitesse} &= 0.66 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$Q = s * v \text{ [l/s]}$$

Figure 36: Schéma du plan d'expérience

5.3 ANALYSES DES RÉSULTATS

Cette méthode ne permet pas une analyse en profondeur du débit par intégration de la vitesse sur la section de passage. Elle nous donne un débit approximatif qui correspond à un ordre de grandeur. C'est également un débit ponctuel dans le temps, par conséquent il faut l'utiliser avec précaution. Le débit mesuré est de **6.5 l/s** pour le début du mois de juillet.

6. MODÉLISATION DU RÉSEAU

6.1 INTRODUCTION

Le logiciel RS-Minerve est destiné à la simulation des flux à surface libre. Il permet de modéliser des réseaux hydrologiques et hydrauliques complexes selon une approche semi-distribuée à base physique (Crealp, 2017).

Le principe de modélisation « semi-distribuée à base physique » est de pouvoir modéliser les phénomènes hydrologiques qui sont extrêmement variables dans l'espace et le temps (Laurent, 2010). Les deux termes sont décrits ci-dessous:

Base physique

- Le but est de représenter les processus hydrologiques par des lois physiques. De nombreuses propriétés sont nécessaires pour ce type de modélisation tels que la perméabilité, l'humidité du sol, la végétation, le manteau neigeux, la quantité de précipitation. Ces propriétés ainsi que différentes équations mises en place sont à l'origine de ce type de modèle.

Semi-distribué

- La définition d'un système semi-distribué est l'assemblage de sous-modèle globaux appliqués sur des mailles de différentes grandeurs. Un modèle global ne prend pas en compte la disparité spatiale de l'environnement. Cette méthode permet une discrétisation de l'espace.

Dans le cas de ce travail, les processus hydrologiques ne sont pas pris en compte. Par ailleurs, le modèle utilise des ouvrages régulés tels que les retenues, vannes, évacuateurs contrôlés, prises d'eau, turbines et autres ouvrages hydrauliques.

Ce logiciel est l'outil clé de ce projet qui permet de modéliser et d'analyser le réseau d'eau du Haut-Plateau. Une implémentation de différents scénarios peuvent être simulés et gérés par ce logiciel.

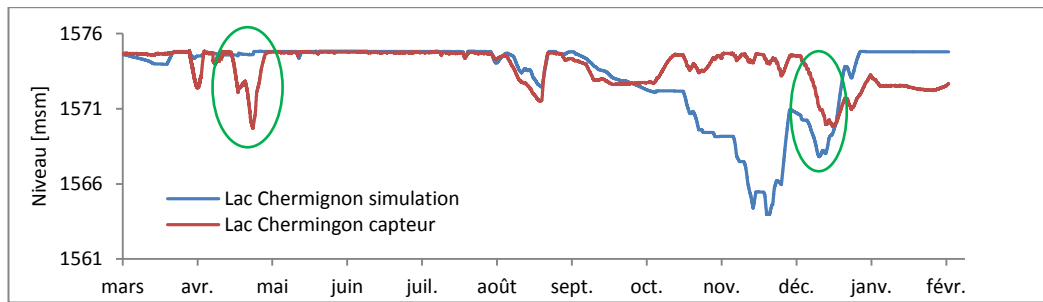


Figure 38: Modèle n°1, niveau lac de Chermignon

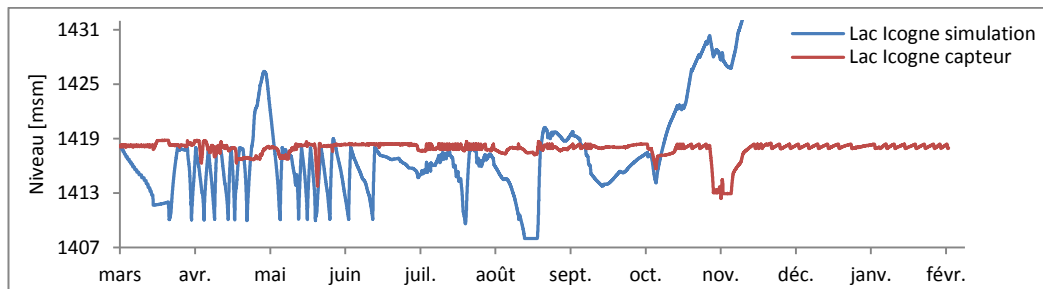


Figure 39: Modèle n°1, niveau lac d'Icogne

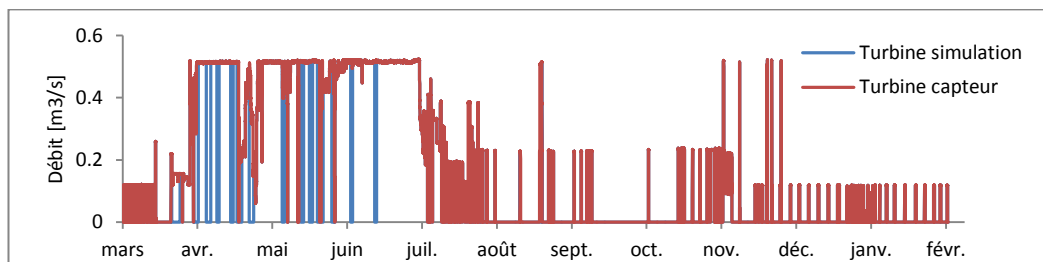


Figure 40: Modèle n°1, turbinage

	Lac Icogne	Lac Chermignon
Erreur max positive	94%	79%
Erreur max négative	-390%	-58%
Erreur moyenne	92%	13%

Tableau 6: Erreurs modèle n°1

Le modèle n°1 contient de nombreuses erreurs entre les débits entrants et sortants des deux lacs. La courbe simulée du lac de Chermignon suit la tendance du capteur mais contient un décalage temporel au niveau des mois d'avril et décembre (Figure 38). Pour le lac d'Icogne (Figure 39), les valeurs de la simulation ne correspondent pas aux valeurs du capteur. Le lac déborde à plusieurs reprises.

Le turbinage (Figure 40) à débit max (~500l/s) entre avril et juillet pose un problème au modèle numérique. Un manque d'eau en entrée est observé à plusieurs reprises.

6.2.2 MODÈLE N°2

Le modèle n°2 simule le répartiteur d'eau brute d'une autre manière (Figure 41). Ce modèle intègre les différentes sources de la région et utilise une diversion pour la simulation du répartiteur d'eau brute. Cette configuration n'est pas la structure exacte du réseau d'eau car elle induit des erreurs de débit pour les capteurs DM11 et M12 (annexe p.52). Mais compte tenu des erreurs observées avec le modèle n°1 une source d'eau supplémentaire semble nécessaire. La turbine « *Absorption erreur diversion* » (turbine bleu au niveau du lac de Chermignon) permet de corriger une partie des erreurs engendrées par l'objet de diversion.

Ce modèle est la représentation finale du réseau d'eau de la région d'Icogne. Toutes les caractéristiques du réseau d'eau sont représentées dans ce modèle.

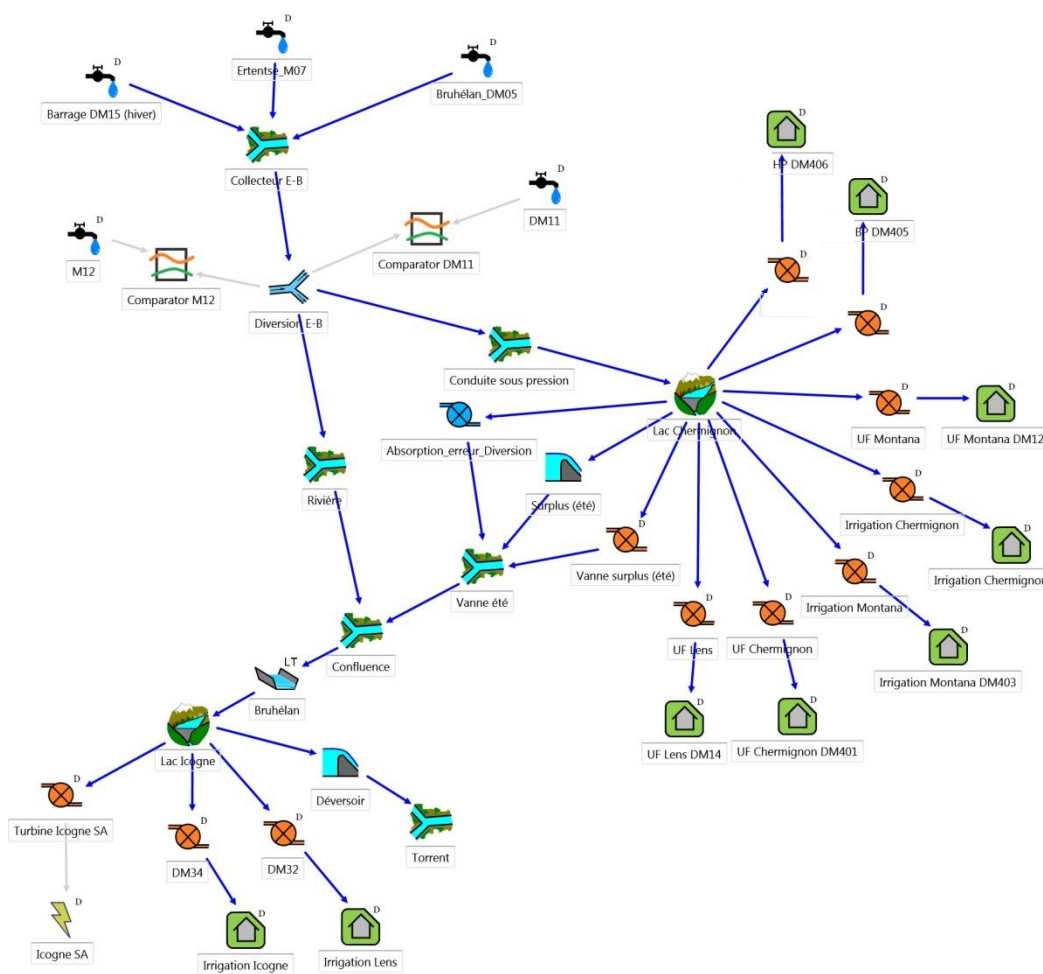


Figure 41: Modèle numérique n°2

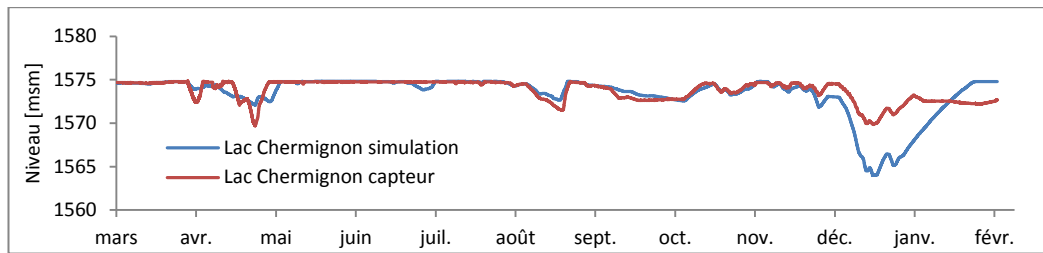


Figure 42: Modèle n°2, niveau lac de Chermignon

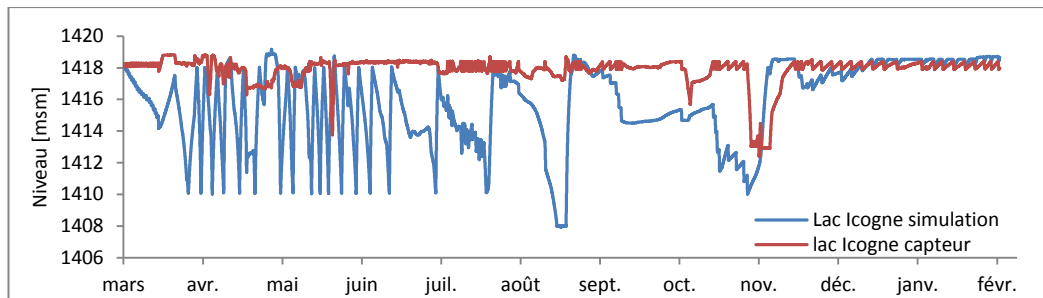


Figure 43: Modèle n°2, niveau lac d'Icogne

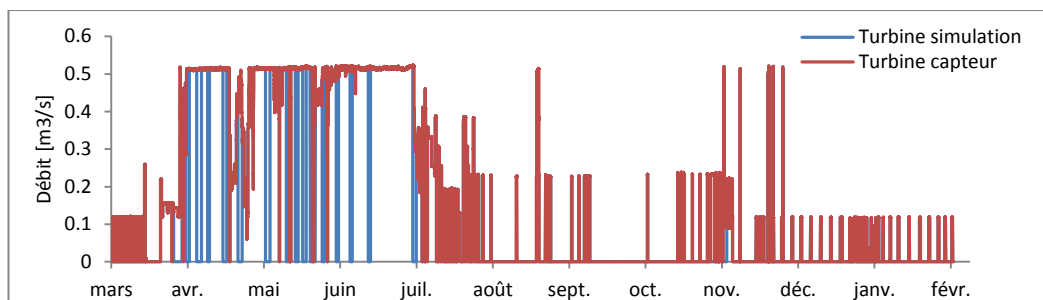


Figure 44: Modèle n°2, turbinage

	Lac Icogne	Lac Chermignon
Erreur max positive	95%	69%
Erreur max négative	-92%	-28%
Erreur moyenne	24%	8%

Tableau 7: Erreurs modèle n°2

Le modèle n°2 contient toujours des erreurs au niveau du lac d'Icogne (Figure 43), par ailleurs, au niveau du lac de Chermignon (Figure 42), l'erreur moyenne sur la courbe est raisonnable (8%) et la courbe de simulation a la même tendance que le capteur. Les piques sont capturés correctement dans le temps.

Le turbinage de la centrale d'Icogne (Figure 44) joue un rôle essentiel sur le bon fonctionnement de la simulation des débits au niveau du lac d'Icogne. Les piques de la centrale sont correctement capturés pour l'automne et l'hiver. Cependant, pour les débits importants ($0.5 \text{ m}^3/\text{s}$) des mois d'avril, mai et juin, la simulation n'arrive pas à soutirer les débits sur la même constance.

Ce modèle semble montrer qu'il manque une entrée d'eau non caractérisée au lac d'Icogne sur l'année sauf en hiver (*période d'étiage des cours d'eau*). Cela peut correspondre à un bassin versant proche dont la caractéristique est la fonte du manteau neigeux.

6.2.3 MODÈLE N°3

Le modèle n°3 reprend la structure du modèle n°2 en ajoutant une source fictive qui avoisinerait le manque d'eau en amont du lac d'Icogne (*Figure 45*). Le système comprend une source supplémentaire et un lissage évitant les débordements du lac. Les détails de la source supplémentaire (Source add) et le lissage (déversoir : lissage) sont en annexe p.54.

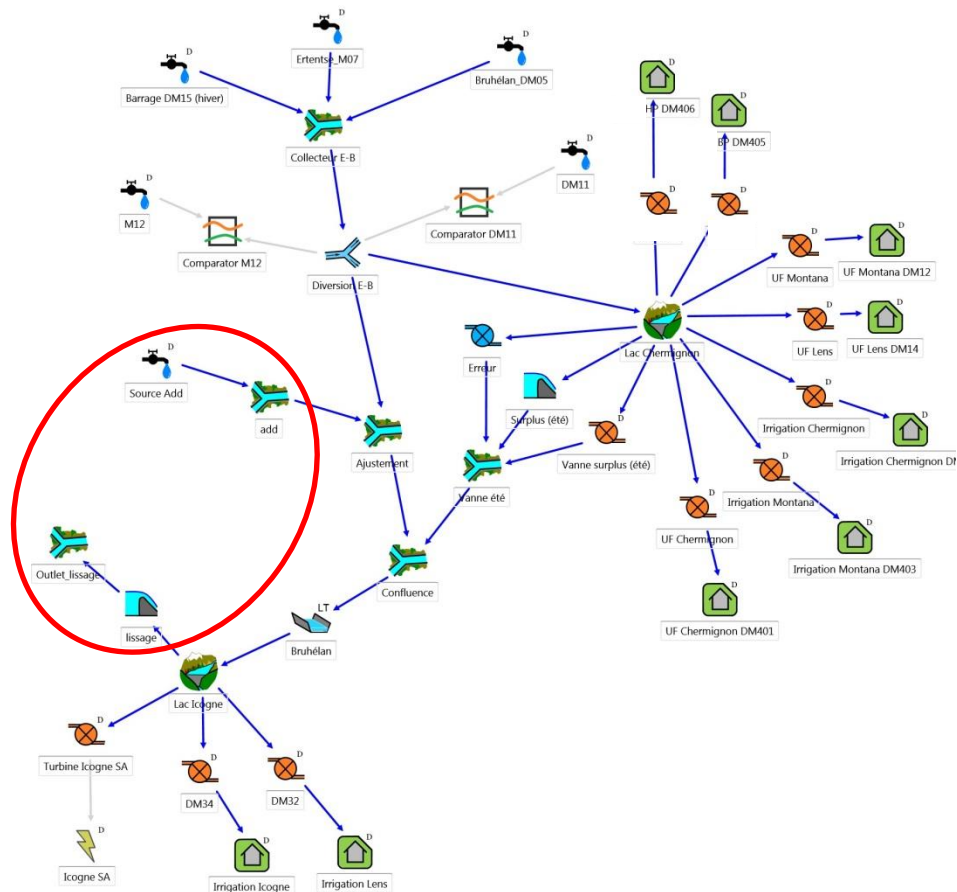


Figure 45: Modèle numérique n°3

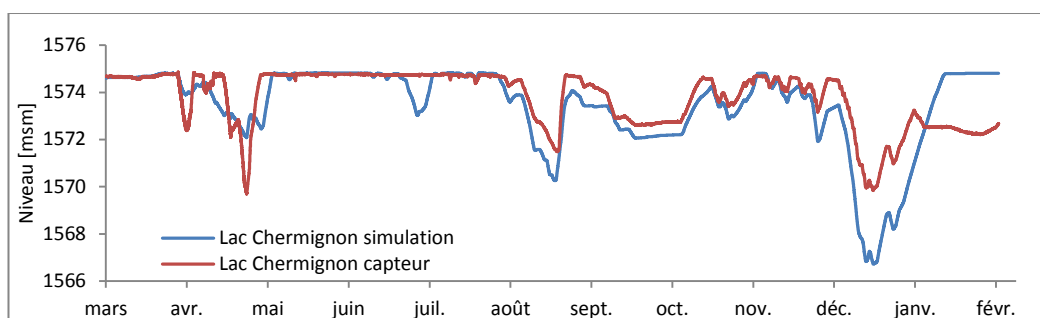


Figure 46: Modèle n°3, niveau lac de Chermignon

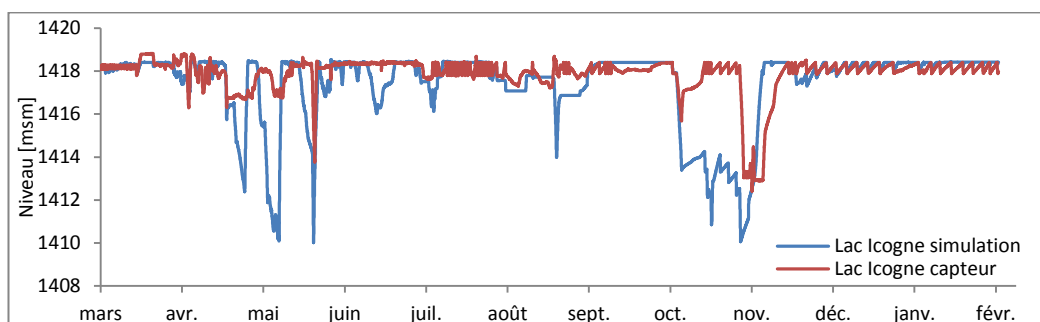


Figure 47: Modèle n°3, niveau lac d'Icogne

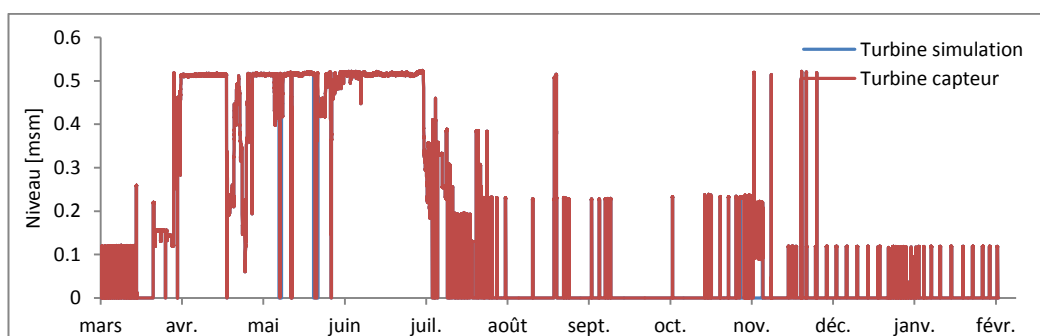


Figure 48: Modèle n°3, turbinage

	Lac Icogne	Lac Chermignon
Erreur max positive	73%	37%
Erreur max négative	-92%	-28%
Erreur moyenne	9%	7%

Tableau 8: Erreurs modèle n°3

Le modèle n°3 permet de turbiner la courbe du capteur dans son entier (Figure 48). La courbe simulée du lac de Chermignon (Figure 46) correspond à la tendance du capteur et l'erreur moyenne est de 7% correspondant à une erreur de 0.9 mètre (Tableau 8: Erreurs modèle n°3). Au vu de ce résultat, on pourrait se poser la question de la validité de la courbe hauteur volume pour le lac d'Icogne (Figure 47).

Cette source supplémentaire a été calibrée sur l'année en question (mai 2016 à février 2017) par conséquent elle n'est pas adaptable pour d'autres simulations. Une station météo virtuelle serait peut être une solution plus adaptée pour le modèle. Dans le cas d'une suite au projet, cette hypothèse devrait être affirmée par une analyse plus fine de toutes les erreurs possibles avant de choisir une solution.

6.3 SCÉNARIOS DE GESTION

Les différents scénarios de gestion vont permettre de déterminer des hypothèses pour observer si une optimisation du réseau d'eau est réalisable.

6.3.1 PROFIL D'IRRIGATION IMPOSÉ

Le but de ce scénario est d'observer l'impact d'une courbe d'irrigation imposée aux agriculteurs de la commune d'Icogne. La restriction par des horaires et des jours types pourrait à l'avenir être un outil pour prévenir les pénuries d'eau et le bon fonctionnement du réseau dans son ensemble (Roth & Gander- Kunz, 2014).

L'irrigation planifiée doit respecter le volume d'eau nécessaire au bon développement des cultures agricoles. Pour cela, la courbe relevée par le capteur DM34 (Irrigation Icogne) correspond à la référence du volume requis.

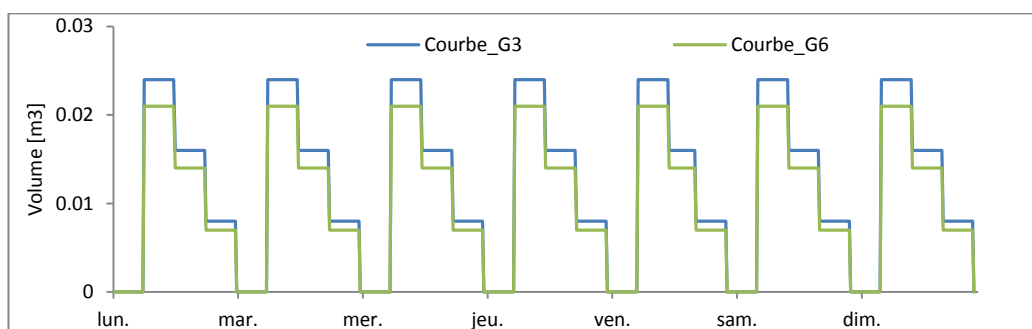


Figure 49: Courbes d'irrigations G3 et G6

La courbe G3 de la Figure 49 simule une irrigation planifiée journalière avec un volume légèrement supérieur à la référence (4%).

La courbe G6 de la Figure 49 simule une irrigation avec un système plus performant. Le système utilisé est la technique du « goutte-à-goutte » qui permet d'économiser entre 5 et 15% d'eau (Gabriel, 2014). L'irrigation s'effectue à la base des végétaux et donc évite une évaporation et une dérive de l'eau. De plus, la pression d'utilisation est nettement plus faible que la technique par aspersion, cela se traduit par une économie d'énergie.

Dans notre cas de figure, l'économie en eaux est de 11% mais l'installation de ce système est difficile sur les sols à pente prononcée de plus de 3%.

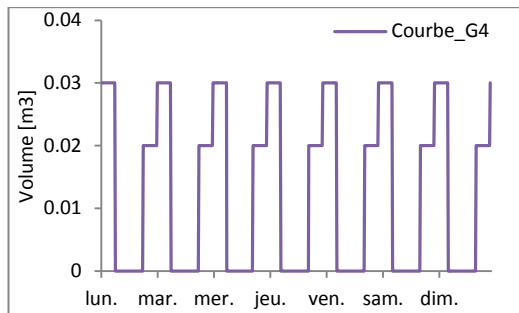


Figure 51: Courbes irrigation G4

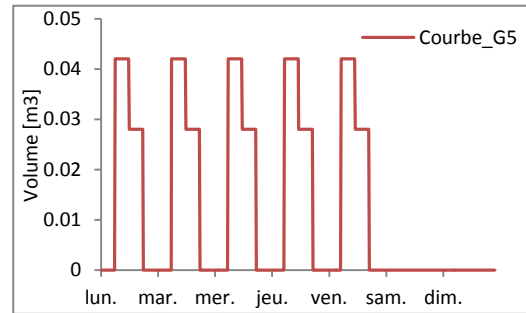


Figure 50: Courbes irrigation G5

La courbe d'irrigation G4 (Figure 51) permet de simuler une irrigation nocturne. Cela permet d'optimiser le rendement par diminution de l'évaporation causée par le rayonnement solaire intense lors des journées estivales. En cas de pénurie, cela pourrait être une stratégie pour alterner les soutirages entre les besoins d'eau potable, d'irrigation et de production électrique.

La courbe G5 (Figure 50) permet de simuler une irrigation plus stricte qui est uniquement basée sur les jours ouvrables de la semaine.

Le Tableau 9 illustre la différence entre le volume de référence correspondant à la valeur du capteur DM34 et les volumes des courbes types.

	Volume simulé [m3]	Volume théorique DM34 [m3]	Ecart entre volume [%]
G3	177'740	171'350	4%
G4	171'500	171'350	0.1%
G5	166'300	171'350	-3%
G6	153'960	171'350	-11%

Tableau 9: Ecart entre les volumes simulés et la référence

6.3.2 TURBINAGE AU POINT NOMINAL

L'objectif de ce scénario est de réguler la turbine hydraulique pour qu'elle fonctionne à son point de rendement maximum. Les efforts mécaniques sur la machine sont optimisés à ce point de fonctionnement. Pour cela, le lac et l'irrigation d'Icogne vont permettre d'absorber les variations du débit turbiné.

L'algorithme mis en place sur Matlab permet la construction de nouvelles courbes de turbinage (DM33) et d'irrigation (DM34) sur trois périodes : journée, semaine et mois.

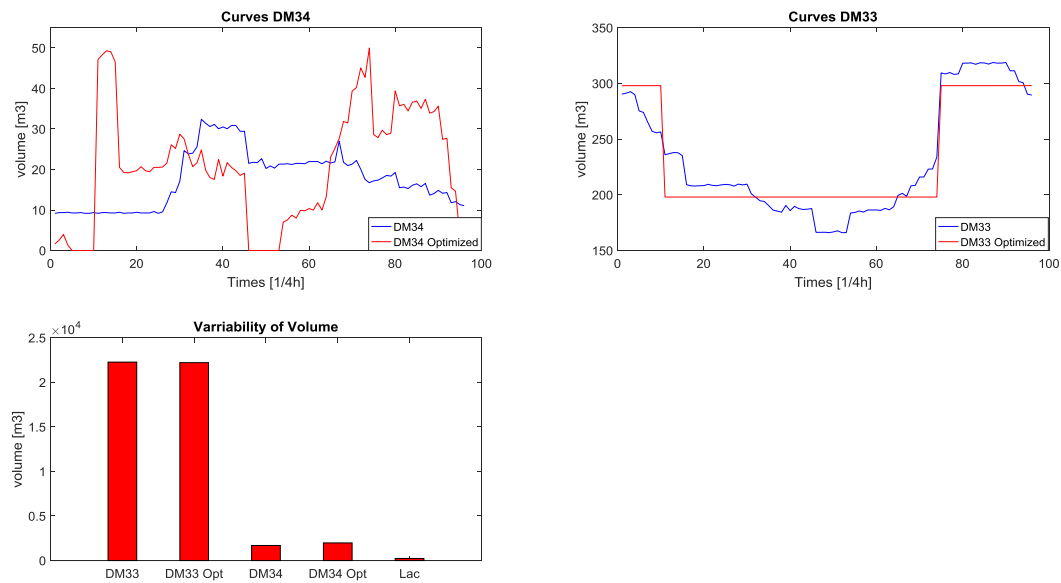


Figure 52: Turbinage au point nominal d'une journée

Les graphiques de la Figure 52 démontrent qu'il est possible d'absorber les variations de la turbine en ne compromettant pas les autres valeurs. L'irrigation optimisée (DM34 Opt) est supérieure de 15% à la valeur de référence. Cela peut être optimisé à l'aide du réservoir.

Sur ce cas de figure d'un jour de juillet, le volume turbiné est semblable entre la référence et l'optimisation, donc il n'y a pas de perte économique.

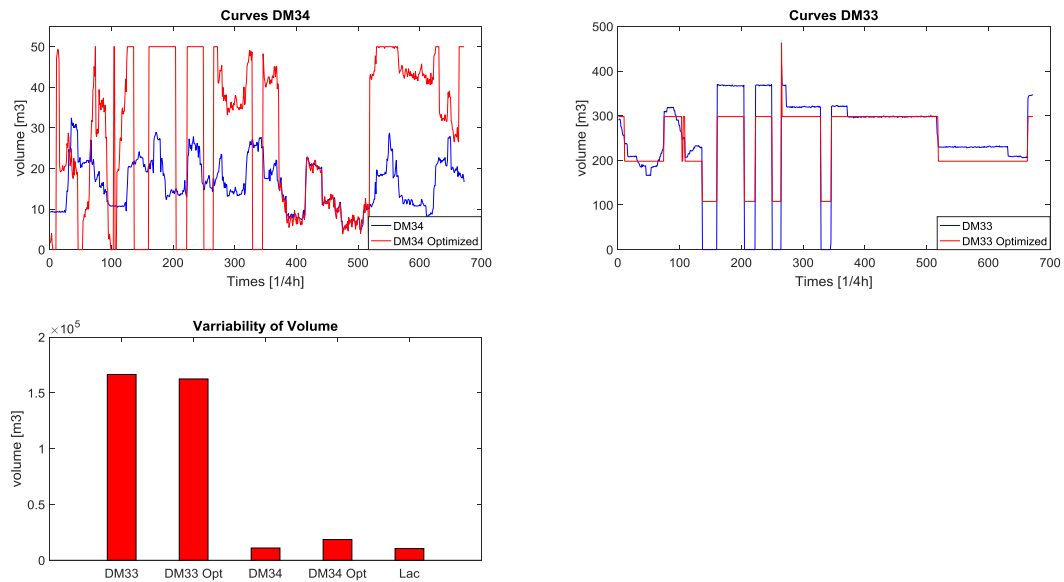


Figure 53: Turbinage au point nominal d'une semaine

Les graphiques de la *Figure 53* démontrent l'optimisation sur une semaine type. L'irrigation optimisée (DM34 Opt) est nettement supérieure à la valeur cible de plus de 40%. Le volume d'irrigation supplémentaire est d'environ 8'000 m³, ce volume peut être absorbé par le lac et turbiné ultérieurement. Le volume turbiné est inférieur de 2% à la référence. Le débit turbiné ne passe jamais en dessous de 100 l/s pour éviter les arrêts-démarrages de la machine.

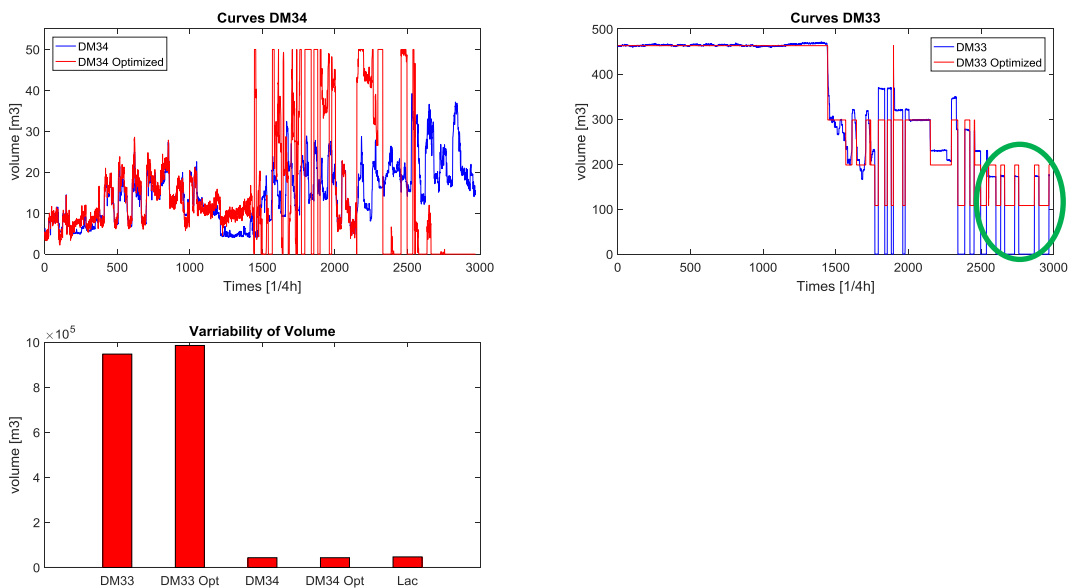


Figure 54: Turbinage au point nominal d'un mois

Les courbes mensuelles de la *Figure 54* démontrent que l'absorption des variations de la turbine est réalisable sur une plage de temps supérieure avec des grandes variations de débit turbiné. Le volume turbiné est supérieur de 4% à la référence, ce volume peut engendrer une variation du niveau du lac important de 40'000 m³. Le problème est généré par le turbinage du débit en continu. Dans ce cas de figure, un arrêt de la turbine durant la fin du mois est nécessaire (voir cercle sur le graphique).

Le *Tableau 10* récapitule les modifications engendrées par l'optimisation. Pour observer les effets sur le lac et la production hydroélectrique, ce référer au chapitre *gestion de la production hydroélectrique en p.46-47*.

	V_DM33 [m3]	V_DM33 Opt [m3]	Erreurs [%]	V_DM34 [m3]	V_DM34 Opt [m3]	Erreurs [%]	V_lac [m3]
<i>Jour</i>	22'268	22'208	0%	1'692	1'982	15%	231
<i>Semaine</i>	166'462	162'461	-2%	10'993	18'576	41%	10'498
<i>Mois</i>	947'696	985'997	4%	43'417	43'395	0%	46'998

Tableau 10: Erreurs sur les volumes optimisés

7. RÉSULTATS

Les différents scénarios ont été implémentés dans le logiciel RS MINERVE dans le but d'observer l'impact sur le niveau du lac d'Icogne ainsi que la production hydroélectrique.

7.1 GESTION DES PROFILS D'IRRIGATION

Pour rappel, la période d'irrigation est de mai à fin septembre. Le scénario est simulé à l'aide du modèle n°2 (Figure 41).

La Figure 55 représente les résultats des différents scénarios sur une période d'une année. Les irrigations optimisées subissent les mêmes variations que la courbe de référence (lac Icogne final).

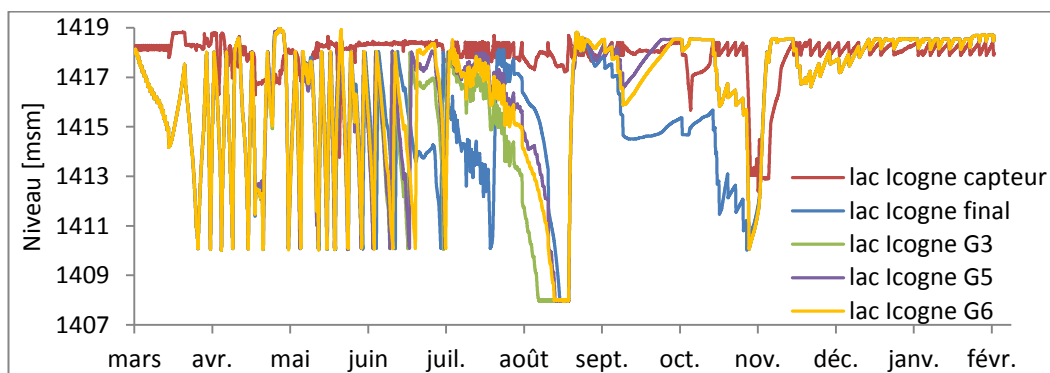


Figure 55: Lac d'Icogne scénarios d'irrigations imposées

Le zoom de la Figure 56 permet d'observer plus précisément l'impact sur le niveau du lac. Le niveau du lac est plus constant durant la période du mois de juillet. Le soutirage du mois de juillet et août est plus linéaire. Par contre, les extrêmes se conservent à l'exception du 25 juillet.

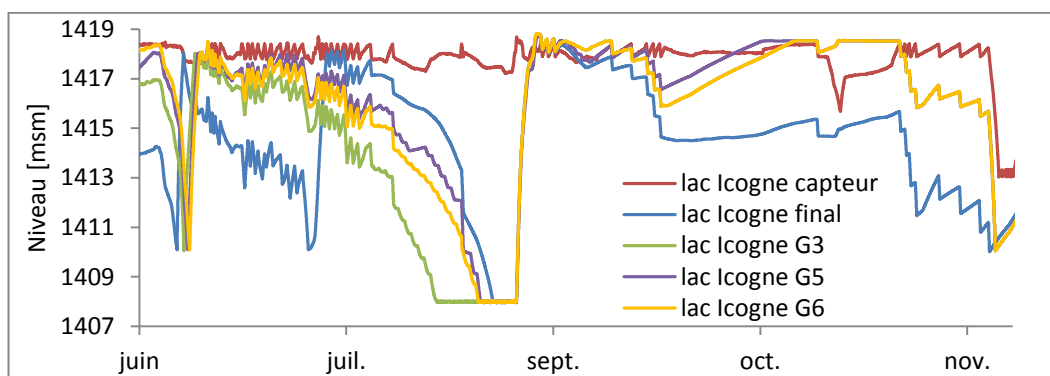


Figure 56: Zoom lac d'Icogne scénarios d'irrigations imposées

Le *Tableau 11* met en évidence la production électrique des différents scénarios. La centrale n'est pas optimisée par la planification des consommations en eaux d'irrigation. Comme la production électrique n'est pas significativement altérée par des différents scénarios d'irrigation, il est donc envisageable à l'avenir d'intervenir sur le profil d'irrigation afin d'améliorer l'usage de l'eau sans influencer la production hydroélectrique.

	Productions [MWh]	Erreurs [%]
Simulation référence	4'291.4	-
Simulation G3	4'276.9	-0.3%
Simulation G4	4'278.7	-0.3%
Simulation G5	4'294.8	0.1%
simulation G6	4'287.5	-0.1%

Tableau 11: Productions électriques. Scénarios d'irrigations imposées

7.2 GESTION DE LA PRODUCTION HYDROÉLECTRIQUE

La simulation de ce scénario est effectuée avec un modèle simplifié du réseau. La *Figure 57* et la *Figure 58* représentent la structure du modèle comprenant une source d'entrée et trois soutirages. La condition de l'outil « planner » permet de gérer le marnage du lac. Le marnage maximum du lac est de 3 mètres.

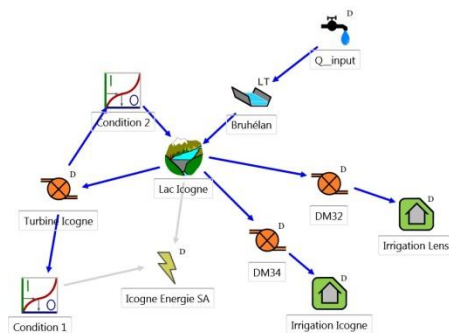


Figure 57: Modèle simplifié (ajout lac)

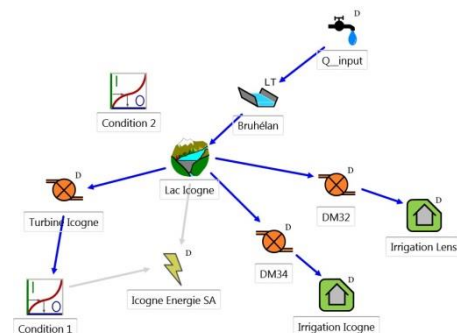


Figure 58: Modèle simplifié (sans lac)

Les *Figures 57 et 58* représentent l'optimisation sur un jour type de juillet. On observe qu'il est possible d'absorber les variations du débit de la turbine avec l'irrigation et le lac. L'irrigation optimisée est supérieure de 15% par rapport à l'irrigation de référence, cela représente 300 m³ d'eau. Sur une journée, le lac est capable d'absorber cette variation.

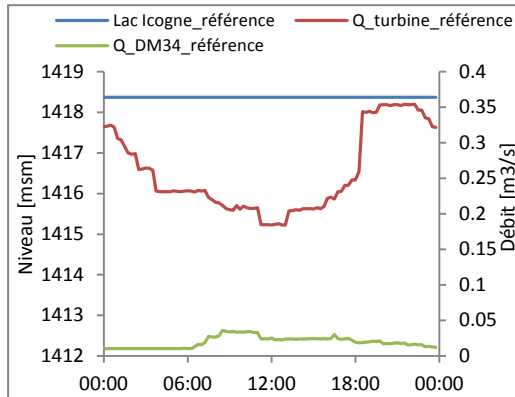


Figure 60: Référence jour

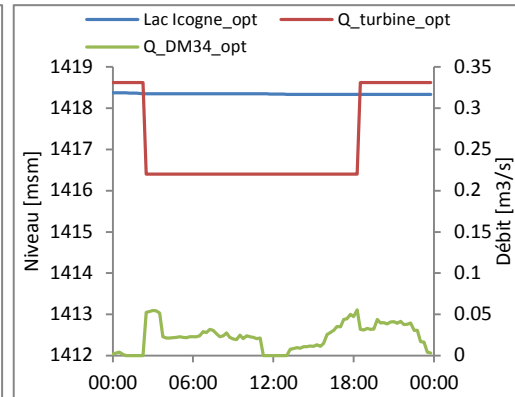


Figure 59: Optimisation jour

Les *Figures 59 et 60* représentent l'optimisation sur une durée d'une semaine. L'irrigation optimisée est nettement supérieure à celle de référence (40%). Cela représente 8000m³ à absorber par le lac. On remarque déjà que le niveau du lac augmente en milieu de semaine. Pour éviter ce surplus d'eau, on peut augmenter le débit turbiné de 120 à 220 l/s sur une période plus longue.

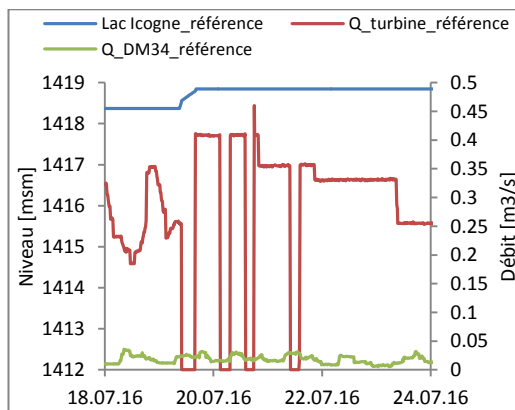


Figure 62: Référence semaine

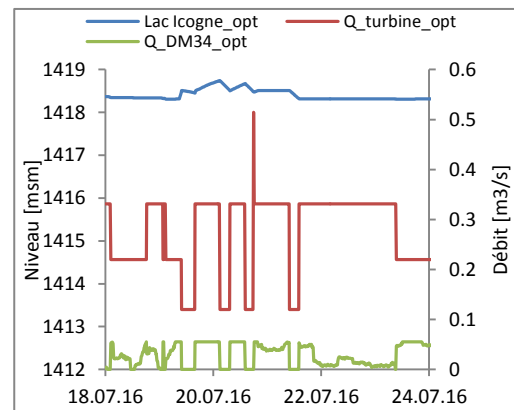


Figure 61: Optimisation semaine

Les *Figures 61 et 62* représentent la régulation sur un mois. Le niveau du lac baisse de 2.5 mètre en 3 jours. Cette baisse peut entraîner des complications sur les mois ultérieurs et n'est pas souhaitée par les propriétaires des bassins. Les arrêts-démarrages de la centrale ne peuvent pas être éliminés entièrement.

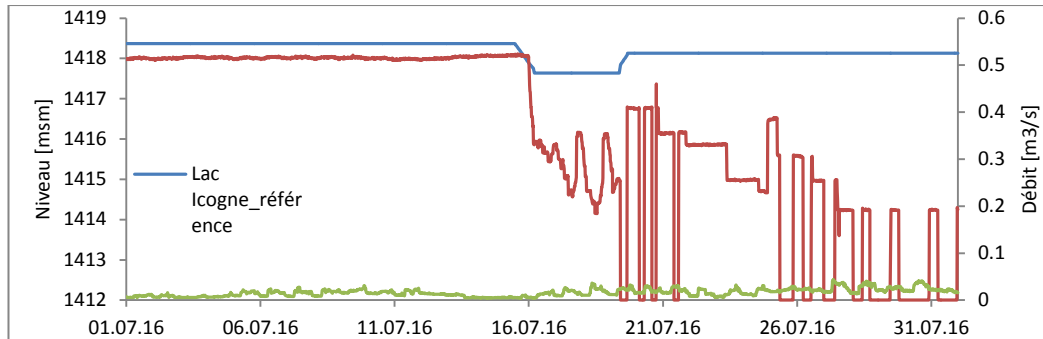


Figure 63: Référence débit turbiné sur un mois

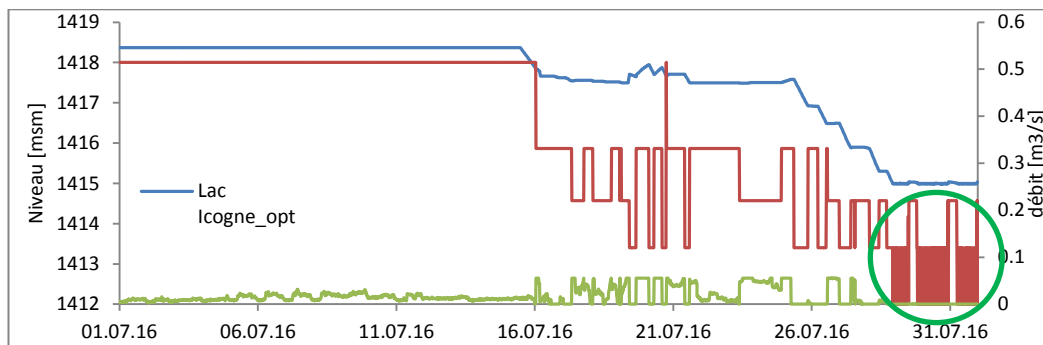


Figure 64: Gestion débit turbiné sur un mois

Une fois que la simulation atteint la limite minimum du niveau du lac, la régulation du débit turbiné n'est plus significative (situation encadrée). Une condition supplémentaire sur une cote supérieure du lac à atteindre est indispensable.

Le *Tableau 12* montre les variations de la production sur les durées différentes. Il n'y a pas d'augmentation significative sur cette période car le volume du lac est nettement inférieur à la référence. Cette régulation est plutôt intéressante en terme mécanique pour éviter les arrêts-démarrages qu'en terme économique.

	Production électrique [MWh]
Jour référence	27.4
Jour optimisé	27.3
Semaine référence	202.1
Semaine optimisée	198.8
Mois référence	1'087.6
Mois optimisée	1'113.2

Tableau 12: Production électrique de l'optimisation

8. CONCLUSION

La conciliation des différents usages de l'eau d'un même réseau a un rôle prépondérant dans la gestion durable des ressources en eau. L'étude du réseau d'eau d'Icogne et de ses communes voisines a permis de déterminer les relations entre ces usages tels que l'irrigation d'Icogne et la turbine hydraulique de la centrale d'Icogne Energie SA.

La simulation numérique avec le logiciel RS MINERVE permet de visualiser et quantifier les débits d'entrées et de sorties de tous les éléments constitutifs du réseau d'eau. Le modèle numérique comporte une multitude de données d'entrées, cette complexité a rendu difficile le calage de la simulation. Les erreurs moyennes pour les hauteurs des lacs d'Icogne et Chermignon sont respectivement de 9 % et 7%. Ce modèle semble montrer qu'il manque une entrée d'eau non caractérisée au lac d'Icogne sur l'année sauf en hiver (*période d'étiage des cours d'eau*).

De plus, ce modèle permet la mise en place d'une gestion optimisée de l'eau, et cela par l'élaboration de nouvelles courbes de consommation ainsi que par des restrictions sur le soutirage de l'eau.

Le scénario permettant d'observer l'impact de l'irrigation imposée indique que la mise en place d'une planification des soutirages agricoles n'altère pas le comportement du réseau dans son ensemble. La simulation démontre qu'il est possible d'atténuer légèrement l'abaissement du lac d'Icogne. L'irrigation a donc son rôle à jouer dans la gestion de l'eau des prochaines décennies.

Le scénario optimisant le débit turbiné au meilleur point de fonctionnement démontre qu'il est possible d'atténuer une partie des variations avec l'irrigation d'Icogne et une autre à l'aide du réservoir. L'algorithme de gestion mis en place permet d'obtenir de bons résultats sur une journée type, par ailleurs, les simulations sur une période plus longue démontrent quelques faiblesses comme la hauteur du niveau du lac ainsi que les répartitions journalières de l'irrigation. Un affinement des conditions de régulation permettrait d'obtenir des simulations pertinentes sur une longue période.

La mise en place de nouveaux scénarios permettrait de démontrer plus significativement la conciliation des différents usagers, comme par exemple, un scénario basé sur une prédiction climatique défavorable pour illustrer des conflits possibles entre les besoins nécessaires et les revenus économiques.

9. REMERCIEMENTS

La réalisation de mon travail de diplôme s'est concrétisée à l'aide de mon entourage professionnel. Je tiens à remercier tout particulièrement et chaleureusement :

- Cécile Münch, le professeur responsable du projet qui m'a suivi tout au long de la réalisation.
- Jean Decaix, l'adjoint scientifique qui m'a apporté une aide toute particulière dans les références bibliographiques ainsi que sur le logiciel RS MINERVE.
- Shadya Martignoni, l'assistante de recherche qui m'a apportée une aide toute particulière pour la compréhension du réseau d'eau ainsi que toutes les visites sur site.
- Javier Garcia, l'expert du projet qui m'a apporté une aide toute particulière sur le logiciel RS MINERVE.
- M. Pierre-Alain Gabbud, l'administrateur de la société DPE à Sierre qui m'a accordé une autorisation de visualisation de la télégestion du réseau.
- Yves Rey, l'ingénieur de l'entreprise Cordonier&Rey SA qui m'a fourni les courbes hauteur-volume des lacs de la région.
- Lionel Kamerzin, le fontainier de la commune d'Icogne qui nous a permis de visiter les différents aménagements du réseau d'eau.

10. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aschwanden, H., & Zahner, S. (2016, février). Mieux gérer l'eau disponible pour éviter les pénuries. Ressources hydriques et changement climatique. *Environnement OFEV*, 40.
- Bétrisey, Y. (2016). *Rapport final du projet n°715-02*. the ark.
- Bréthaut, C. (2011). *Le cas de Crans-Montana (Suisse), une illustration du modèle de gestion "publiclocal fort"*. Institut universitaire Kurt Bösch.
- Commune d'Icogne. (2017). Récupéré sur <https://icogne.ch/111/bienvenue/historique>.
- Conseil fédéral . (2012). *Gérer les pénuries locales d'eau en Suisse*. OFEV.
- Cordonier, N., Rey, G., & Rey, Y. (2012). http://www.cordonier-rey.ch/crbst_63.html. Consulté le 2017, sur http://www.cordonier-rey.ch/crbst_12.html.
- Crealp. (2017). <https://www.crealp.ch/de/accueil/outils-services/logiciels/rs-minerve.html>. Consulté le 2017, sur <https://www.crealp.ch>.
- Fuhrer, J. (2012). *Besoins en eau d'irrigation et ressources disponibles dans les conditions climatiques actuelles et futures*. département fédéral de l'économie DPE.
- Gabriel, H. (2014). *Le goutte-à-goutte de surface et enterré sur les culture de maïs*. Chambre d'agriculture du Tarn. <http://www.meteosuisse.admin.ch/home/climat/actuel/rapports-climatiques.html>. (2017).
- Laurent, F. (2010). *Modélisation hydrologique-Approche semi-distribuée à base physique*. Projet ANR - RESSAC.
- Magnier, E. (2013). *Neige artificielle et ressource en eau en moyenne montagne: impacts sur l'hydrosystème*. Paris: Universités Paris-Sorbonne et Lausanne.
- Melly, J. (s.d.). *Le Valais face aux changements climatiques*. Canton du Valais.
- Météo Suisse. (2014). *Bulletin climatologique juillet 2014*. Office fédéral de la météorologie et de climatologie .
- Météo Suisse. (2014). *Bulletin climatologique mai 2014*. Office fédéral de la météorologie et de la climatologie.
- Musée des Bisses. (s.d.). <http://www.musee-des-bisses.ch/galerie>. Consulté le 2017, sur <http://www.musee-des-bisses.ch>.
- PNR 61. (2013). *MontanAqua. Anticiper le stress hydrique dans les Alpes - Scénarios de gestion de l'eau dans la région de Crans-Montana-Sierre (Valais)*. Universités de Berne, Lausanne et Fribourg.
- Reynard, E. (2000). *Gestion patrimoniale et intégrée des ressources en eau dans les stations touristiques de montagne*. Université de Lausanne - Faculté des Lettres.
- Roth, C., & Gander- Kunz, Y. (2014). *Garantir l'approvisionnement en eau à l'horizon 2015*. OFEV.
- Thut, W., Weingartner, R., & Schädler, B. (2016). *Des réservoirs à buts multiples assurent l'alimentation en eau et en énergie*. Univerité de Berne.
- Zema, B., Nicotra, A., Tamburino, V., & Zimbone, M. (2015, Juillet 10). A simple method to evalute the technical and economic feasibility of a micro hydro power plant in existing irrigation systems. Calabria, Italie.

11. ANNEXES

11.1 DÉFINITIONS DES OBJETS RS-MINERVE

La description des objets du logiciel RS MINERVE est décrite dans le « manual user RS MINERVE ». Cependant, une brève description des composants est nécessaire à la bonne compréhension si l'on ne dispose pas d'internet.

**LT-River :**

Permet de simuler une rivière sans atténuer le débit (pertes). Permet de définir le temps de réponse entre l'entrée et la sortie.

**Junction :**

Permet de simuler une jonction entre plusieurs débits (addition). Utilisé aussi comme sortie pour une bonne visualisation.

**Time séries:**

Permet de simuler une courbe de donnée en fonction du temps. Ne peut pas être lié avec la database.

**Source :**

Permet de simuler une source d'eau d'après un capteur (mesure). Les données peuvent être importées depuis la database.

**Comparateur :**

Permet de comparer les valeurs de la simulation avec les données de références. Il permet de quantifier les erreurs.

**Réservoir :**

Permet de simuler un bassin en fonction de sa courbe Hauteur-Volume. La valeur initiale peut être introduite. Une entrée et un soutirage d'eau peut être intégrée.

**Déversoir:**

Permet de simuler un déversoir de sur plein. Couplage possible seulement à un réservoir. Relation entre niveau-décharge.

**Turbine :**

Permet de simuler une turbine ou pompe hydraulique sur une « datas series » implémentée dans l'objet.

**TurbineDB :**

Permet de simuler une turbine ou pompe hydraulique avec une courbe de la « database ».

**Centrale hydroélectrique:**

Permet de simuler une centrale hydroélectrique. Indications techniques de l'aménagement. Il calcule le revenu et la production de la centrale.

**Diversion :**

Permet de simuler une diversion d'un débit basé sur la relation « débit d'entrée – débit dévié ».

**Consommateur :**

Permet de simuler un consommateur à l'aide de la « database ». Il ne soutire rien au réservoir, il doit être couplé à une turbine.

**Planner:**

Permet de mettre en place des conditions sur les différents objets.

11.2 COMPARATEURS DE LA DIVERSION

Le coefficient d'efficacité « Nash-Sutcliffe » est utilisé pour évaluer le pouvoir prédictif des modèles hydrologiques (User manual RS MINERVE). Il utilise Dans ce cas présent, il permet de vérifier si la diversion du débit est bien effectuée. Le coefficient varie de 0 à 1. La valeur de 1 est la perfection de la simulation par rapport à la référence.

Cette comparaison a permis de mettre en place une correction des débits notamment sur les débits au lac de Chermignon (DM11).

Comparateur du capteur M12 :

=> $Nash = 0.81$

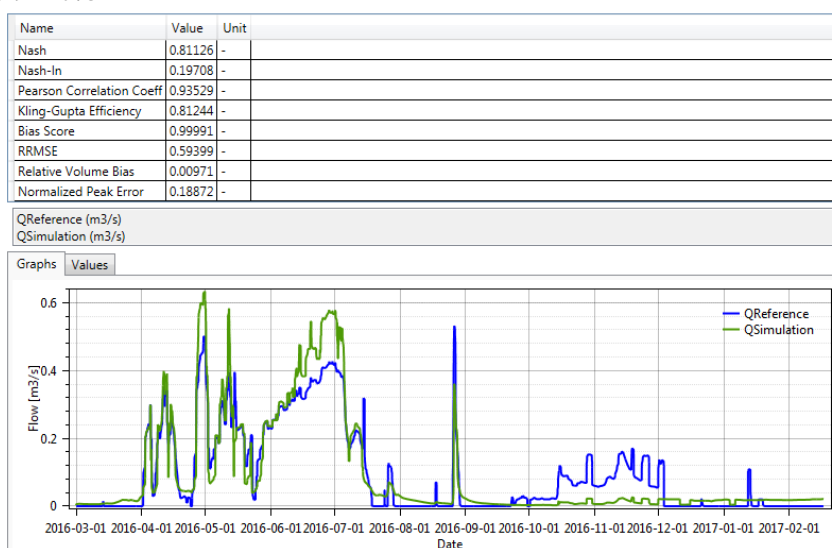


Figure 65: Comparateur M12

Comparateur du capteur DM11:

=> $Nash = 0.61$

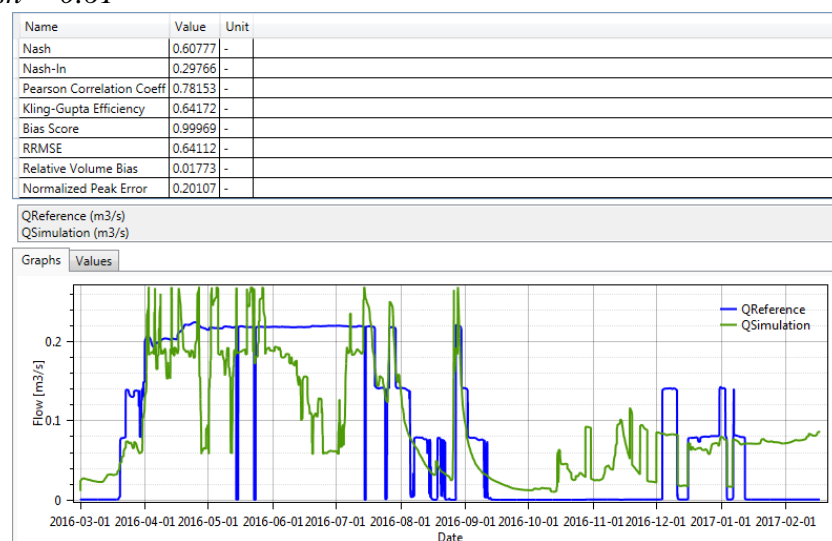


Figure 66: Comparateur DM11

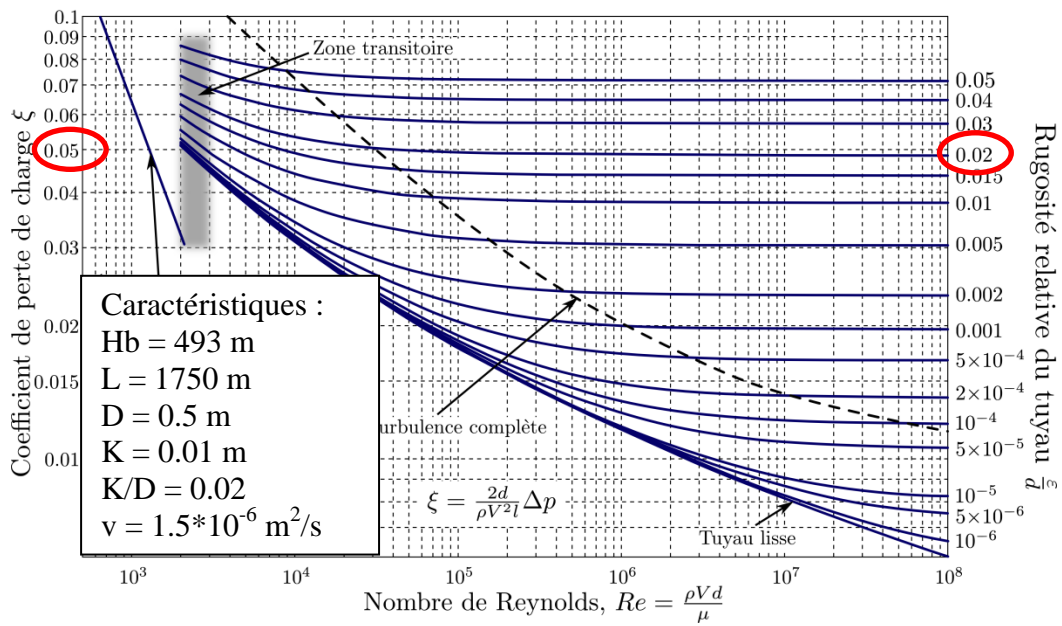
11.3 CALCUL PERTE DE CHARGE LINÉAIRE

Perte de charge pour un débit de 500l/s dans la conduite.

$$H_n = H_b - \left(\lambda * \frac{L}{D} * \frac{c^2}{2g} \right) = H_b - \lambda * \frac{8 * L * Q^2}{D^5 * \pi^2 * g} = 493 - 0.05 * \frac{8 * 1750 * 0.5^2}{0.5^5 * \pi^2 * 9.81} = 435 \text{ m}$$

$$Re = \frac{v * L}{\nu} = \frac{\frac{4Q}{\pi D^2} * L}{\nu} = 2.97 * 10^9$$

Le diagramme de Moody permet de sortir le coefficient de perte de charge λ .



Dans le logiciel RS MINERVE, la perte de charge est calculée pour chaque pas de temps (n) car le débit varie constamment.

11.4 SOURCE FICTIVE « ADD »

La source fictive a été déterminée à la suite de la simulation du modèle n°2. Elle permet de caler le modèle sur la courbe du lac d'Icogne avec une erreur moyenne moins grande.

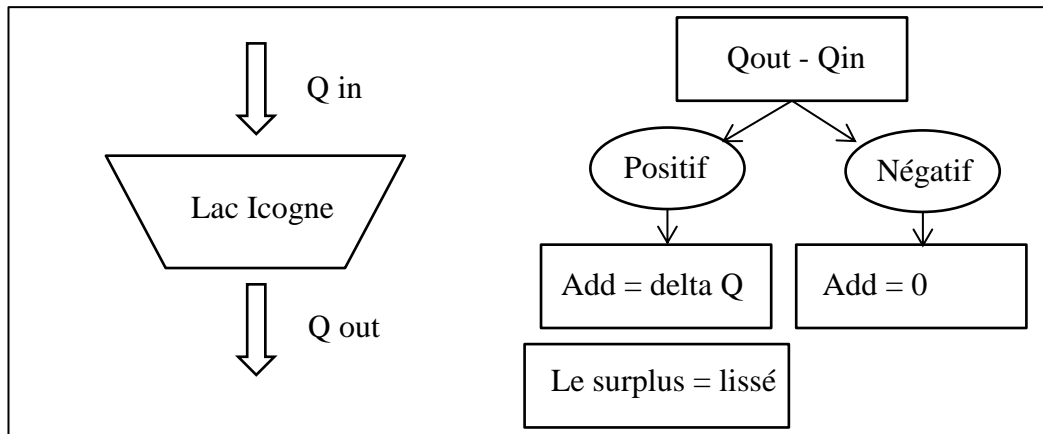


Figure 68: Principe de la source fictive

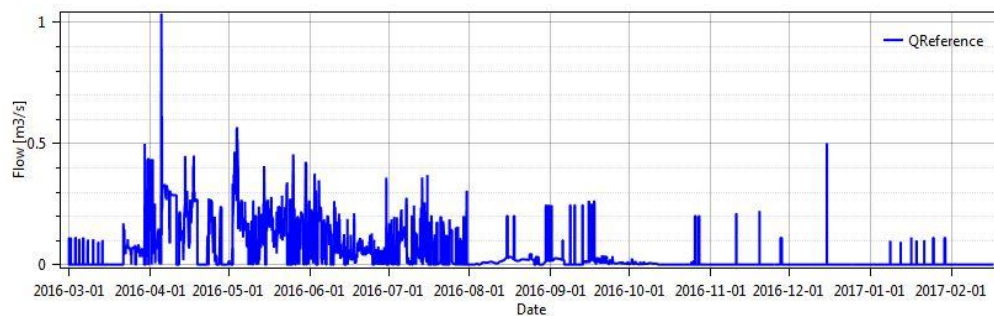


Figure 69: Courbe de la source fictive add

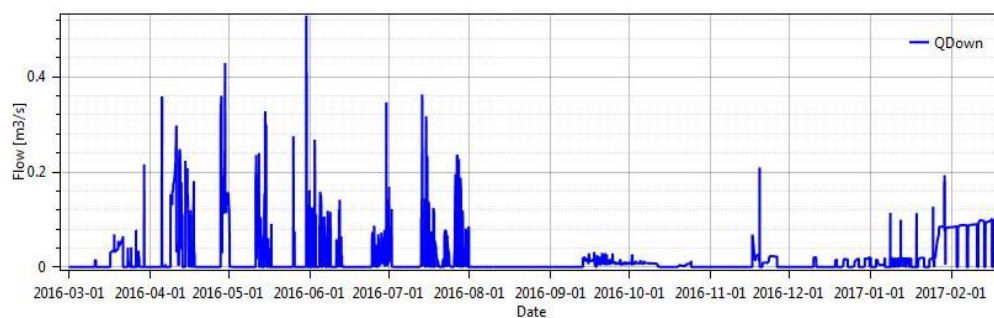


Figure 70: Courbe du lissage par le déversoir

H-Q	
Graphs Values	
H (masl)	Q (m3/s)
1410	0
1417	0
1418.4	0
1418.5	0.5
1419	0.8

Figure 71: Caractéristique déversoir lissage