



L'optimisation de la gestion des pompages

Eaux de la Veaune

Illona Moulin

04/06/2024

Enseignant référent : M.Christophe Emblanc

Tuteur de stage : M.Pierre Savinel, M.David Viland

Table des matières

Remerciement.....	3
Introduction.....	3
Localisation.....	4
Image issue de Topkapi, disposition des forages et réservoirs des uns par rapport aux autres	4
Carte représentative de la localisation de Eaux de la Veane	5
Résumé du stage	6
Projet autosuffisance énergétique.....	7
Besoin énergétique du forage	7
Représentation sur Topkapi du réservoir de Charbonnier.....	7
Les traqueurs.....	8
Schéma traqueur OKWind TREA 4000.....	8
Tableau des estimations de production des traqueurs photovoltaïques	9
Mise en fonction.....	9
Image satellite de la zone des marais, position des traqueurs	10
Graphique représentatif de la consommation et production électrique d’une journée très ensoleillé.....	11
Graphique représentatif de la consommation et production électrique d’une journée non ensoleillé.....	11
Sur une année d’exploitation	12
Graphique représentatif de la consommation et production électrique sur une année.....	12
Optimisation.....	12
Graphique du niveau d’eau dans les réservoirs en lien avec les traqueurs	13
Cas du week-end du 8/05 au 12/05/2024.....	14
Graphique des hauteurs d’eau du week-end du 08/05 au 12/05/2024	14
Graphique de comparaison des réservoirs Sizay et Volleyses	15
Graphique de la production/consommation du 11 mai sur OkWind.....	17
Automatisation.....	17
Tableau récapitulatif de l’automatisation des pompages en fonction de l’électricité produite	18
Les prédictions solaires	19

Graphique représentatif prédiction et valeur réelle de production	19
Développement.....	20
La rentabilité.....	20
Tableau récapitulatif du coût de la consommation	20
Graphique représentatif de l'injection-soutirage du réseaux.....	21
Les autres stations.....	21
Images de l'emplacement potentiel des traqueurs sur le site Blaches.....	22
Les espaces de stockage	22
Conclusion	23
Bibliographie.....	24
Annexe.....	24
Tableau récapitulatif du temps de recharge des réservoirs.....	24
Coupe géologique d'écoulement principale suivant l'herbasse (aquifère de la molasse du miocène).....	24
Test de vérification des pressions des bornes d'incendie	25
Pose d'un compteur abonné	25

Remerciement

Je remercie le syndicat des Eaux de la Veauce, et en particulier M.David Viland, pour l'accueil et le temps qu'il m'a consacré, ainsi que pour leur confiance. Je remercie également mes professeurs et entre autre M.Adriano Mayer (Responsable de L3) et M.Christophe Emblanch (Maitre de stage).

Introduction

Lors de ce stage à Eaux de la Veauce, j'ai pu approfondir, entre-autre, mes connaissances sur le sujet des forages d'eau et de la gestion du réseau, de la distribution au particulier et également en SIG sur Qgis.

Ce syndicat regroupe 19 communes. Il est composé de Beaumont-Monteux, Chanos-Curson, Chantemerle-les-blés, Chavannes, Clérieux, Crozes-hermitage, Erôme, Gervans, Glun, Granges-les-Baumont, La roche de Glun, Larnage, Marsaz, Mercurol-Veaunes, Ponsas, Pont-de-l'Isère, Saint-Bardoux, Saint-Donas-sur-l'herbasse et Serves-sur-Rhône. Eaux de la Veauce compte une dizaine d'employés. Le directeur est M.Pierre Savinel et son adjoint M.David Viland. Il y a également un président, représentant élu de ces communes, M. Christian Colombet.

A l'origine, le syndicat des eaux de la Veauce était composé que de quelques communes et s'est étendu jusqu'au chiffre actuel après l'arrivée de Ponsas en 2023.

Pour la gestion de leur réseaux de conduites d'eau, Eaux de la Veauce utilise les SIG, avec Qgis depuis peu, ce qui permet une précision des réseaux de conduites d'eau ainsi que pour les compteurs d'eau. De cette façon, il est plus facile de retrouver ces éléments dans la réalité.

Pour ce qui est de la gestion des débits et des niveaux des réservoirs, le superviseur Topkapi est utilisé. Un réseau a été créé afin de montrer les liens, de manière simplifiée, entre les différents réservoirs, où nous avons ensuite la possibilité d'obtenir en détail les informations et alerte de ceux-ci. Il va permettre de voir l'évolution du niveau d'eau, pour la plupart, toutes les 15 minutes.

Les forages permettent l'utilisation de l'eau en profondeur. Lors de son infiltration dans le sol, l'eau va être filtrée naturellement, c'est pour cela qu'Eaux de la Veauce n'applique aucun traitement préalable avant la distribution au consommateur (des contrôles réguliers de la qualité de celle-ci sont régulièrement effectués).

L'eau, pompée dans les différents forages d'Eaux de la Veauce, est envoyée dans des réservoirs en hauteurs, qui vont permettre ensuite grâce à la gravité d'emmener l'eau jusqu'à tous les consommateurs. Des pompes sont donc nécessaires pour le pompage de l'eau dans les forages, et pour emmener celle-ci dans les 25 réservoirs répartis sur toute la zone de distribution. Plus de 25 000 habitants sont desservis avec près de 12 000 abonnements.

Les prélèvements, réalisés sur les différents forages, doivent suivre de nombreux arrêtés de la DUP limitant le prélèvement à un certain nombre de m³/jour. Cette valeur varie en fonction des forages.

Pour l'ensemble de ceux-ci, l'exploitation d'Eaux de la Veauce en jour de pointe ne dépasse pas les 50 %, sur tous les forages regroupés, à comparer aux valeurs des autorisations sur l'année 2021.

Depuis juin 2023 et suite à la sécheresse de 2022, la préfecture a fortement réduit ces autorisations de prélèvement pour les utilisateurs d'eau que ce soit pour l'eau potable, l'irrigation, les industries... Suivant les saisons, la demande n'est pas la même de la part des consommateurs, comme durant l'été avec le remplissage des piscines par exemple. Il faut donc prendre en compte ces changements de demande dans l'analyse des données.

Depuis deux ans, Eaux de la Veune a installé des traqueurs, ce sont des panneaux photovoltaïques sur pied qui vont permettre de capter le maximum d'énergie émise par le soleil en suivant celui-ci durant la journée. Cela leur permet d'utiliser leur énergie pour les Marais où l'on retrouve 2 puits et un forage profond. C'est sur ces traqueurs photovoltaïques que je me suis penché durant mon stage afin de déterminer une optimisation d'utilisation possible.

Localisation

Eaux de la Veune est situé dans la Drôme des collines, au nord de Valence et exploite l'aquifère de la molasse du miocène. Les dépôts sont de types marins avec une lithologie hétérogène qui va de l'argile au gravier. On y trouve une couche de terre végétale en dessous de laquelle le pompage de l'eau, sur le site des marais, est réalisé. L'eau est pompée dans la partie sableuse de cette molasse.

Dans l'organisation du réseau, on compte aujourd'hui 6 sites de captage d'eau. Pour toute la zone géographique desservit, 1 200 189m³ ont été prélevé dans le sol durant l'année 2021.

L'eau prélevé est carbonaté calcique avec une dureté moyenne.

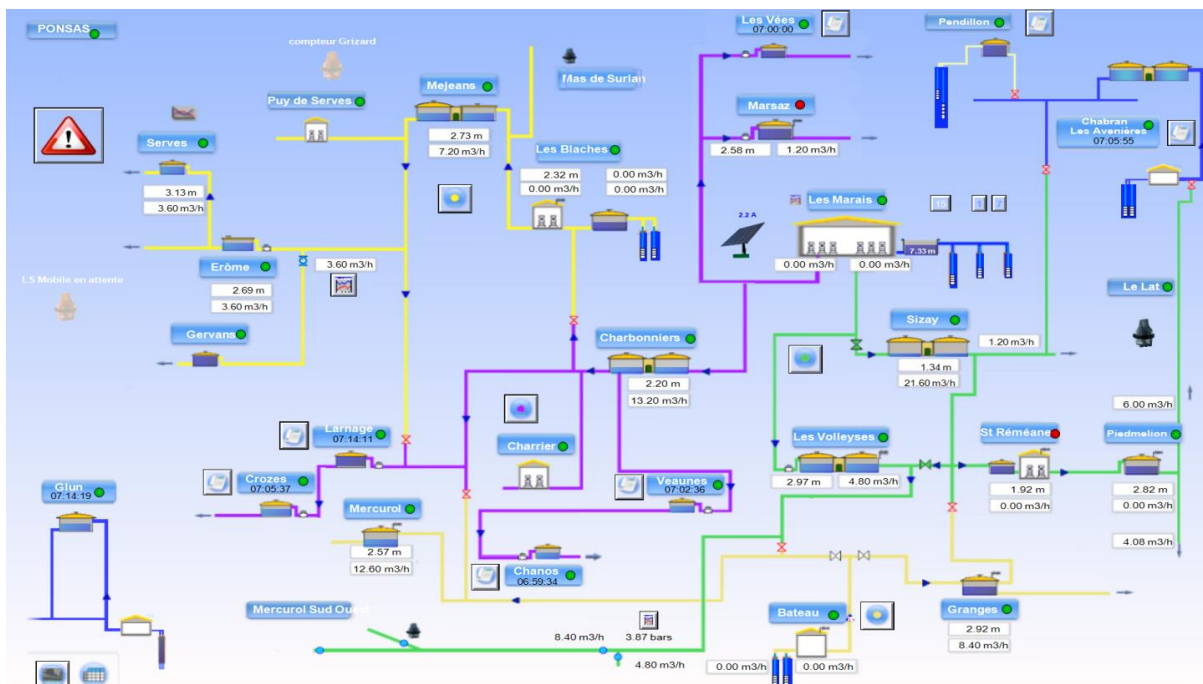
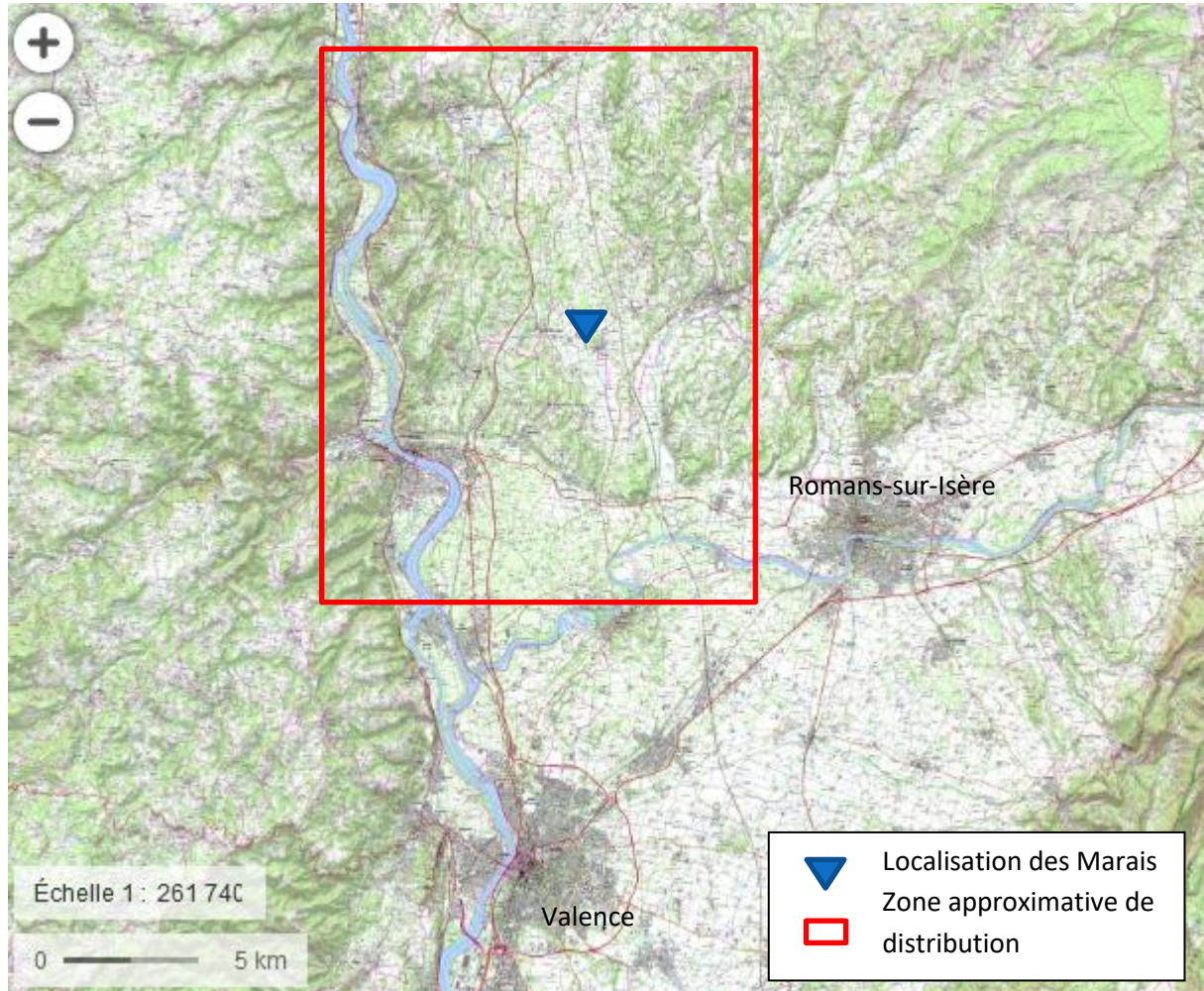


Image issue de Topkapi, disposition des forages et réservoirs des uns par rapport aux autres

La représentation ci-dessus n'est pas encore actualisée sur le raccordement de Sizay et de Glun.

On peut constater également les raccordements de secours (interconnexion), symbolisé par le double triangle orange sur l'image ci-dessus, qui permettront en cas de problème avec l'une des stations de pompage d'alimenter le temps de la remise en route de la station en question.



Carte représentative de la localisation de Eaux de la Veune

C'est en 1958-59 qu'a été créée la principale station de pompage, Les Marais. Le drainage du vaste bassin versant et les infiltrations d'eau de pluie sur la molasse locale permet ces captages d'eau de cette station. Il s'agit de la source captante la plus grande avec plus de 64% du prélèvement total d'eau en 2021. Elle se trouve dans une zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique (ZNIEFF). En plus de cela un ENS (espace naturel sensible) a été créé afin de protéger cette zone. C'est donc une zone de protection rapproché fiable pour ces 3 lieux de pompage (puits EST, puits OUEST et forage profond). Elle est également entourée de champs de culture biologique.

Pour ce qui en est de la commune de Glun en Ardèche, également géré par les Eaux de la Veane pour la partie est (hors plateau), elle exploite l'aquifère de la nappe alluviale du Rhône. Depuis peu, elle a également été reliée au reste du réseau afin de pouvoir tout de même alimenter la population en cas de problème avec le forage.

Résumé du stage

Lors de ce stage, j'ai pu apprendre comment se passe la distribution de l'eau potable, avec notamment le fonctionnement des réseaux, les réparations de celui-ci ainsi que la pose des compteurs abonnés et des bornes incendies. J'ai aussi pu assister à des tests de vérification de pression des bornes incendies, effectué tous les 3 ans. J'ai pu également assister à un contrôle décennal d'un puits de pompage avec la vérification de la structure et de l'état du puits et des barbacanes.

Etre sur le terrain était vraiment enrichissant et m'a permis de vraiment comprendre comment se passe le transport de l'eau jusqu'au robinet.

En revenant dans les locaux de l'entreprise, j'ai pu voir leur gestion de réseaux en SIG et plus particulièrement sur Qgis. Ayant changé récemment de SIG, les agents sont actuellement en formation/adaptation à Qgis. Connaissant celui-ci, j'ai pu les aider dans la limite de mes connaissances dans la modification/ création du réseau afin de pouvoir le mettre à jour avec les modifications réalisées/ constatées sur le terrain.

Plus en lien avec la thématique choisi pour mon stage, j'ai pu comprendre la plateforme de gestion des pompages et des niveaux d'eau des réservoirs. Comprendre cette automatisme m'a permis de pouvoir le superviser ainsi qu'effectuer des changements de celui afin d'optimiser l'énergie produite par les traqueurs. Suite à ça j'ai collecté les données dont j'allais avoir utilité afin de pouvoir les analyser. L'objectif futur, sur cette plateforme, est de réaliser une automatisation de la gestion de tous les remplissages des réservoirs en fonction des données prévisionnelles du logiciel OKWind. J'ai donc travaillé sur cette mise en place en cherchant le meilleur ajustement possible en fonction des différentes contraintes.

J'ai aussi eu accès aux données de nombreux rapports sur la structure, sa localisation et le site des Marais afin de mieux comprendre son fonctionnement (voir la bibliographie).

Projet autosuffisance énergétique

Ce projet a pour objectif de produire le maximum d'électricité, qui est consommé par le syndicat, pour les forages ainsi que les locaux de celle-ci. Cela concerne, en l'occurrence, l'installation de panneaux photovoltaïques sur pied afin de capter le maximum de lumière du soleil possible.

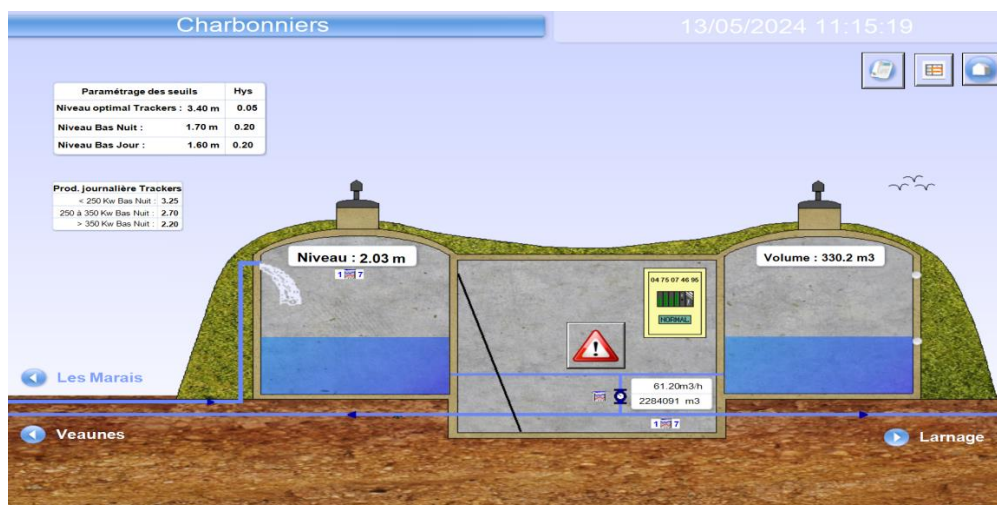
Besoin énergétique du forage

Les pompes des forages sont des éléments qui demandent beaucoup d'énergie. Il y a dans un premier temps, sur ce site, les 3 pompes permettant de récupérer l'eau dans les puits et le forage (pompe d'exhaure), qui consomme relativement peu comparé aux 6 autres permettant d'envoyer l'eau captée vers des réservoirs à plus haute altitude. Ces 6 pompes sont séparées en 2 groupes, le haut service et le bas service, deux zones distinctes. Les réservoirs n'étant pas à la même altitude entre les deux, leur puissance est différente, une avec un débit de 93m³/h à 8.4 bars et l'autre avec un débit de 132m³/h à 4.8 bars. Pour montrer la capacité de ces pompes, un groupe électrogène ne peut faire fonctionner qu'une seule des 6 pompes des Marais permettant d'envoyer l'eau.

Sur la dernière année, mai 2023 à avril 2024, la consommation de ce site est de 286,19 MWh.

Les besoins en eau varient suivant les saisons. En été, la demande est forte du fait du remplissage des piscines ou de l'arrosage des jardins par exemple. Ces besoins varient également au cours d'une journée, demande faible entre 22 h et 6 h du matin et plus forte le reste de la journée.

La gestion initiale des forages est réalisée de manière à ce que les pompages se fassent la nuit jusqu'au niveau maximal dans les réservoirs, afin de payer l'électricité en tarif de nuit. Et au cours de la journée, il y a un réajustement afin de maintenir un minima d'eau dans les stocks, et de ne pas avoir de manque pour les consommateurs. Une réserve est également conservée dans ses cuves (limite plus basse que celle du minima) pour les pompiers en cas d'urgence ou de départ de feu.



Représentation sur Topkapi du réservoir de Charbonnier

Ce superviseur est très utile dans la visualisation de tout le réseau. Il regroupe, par l'intermédiaire d'automates, toutes les informations importantes comme les débits des différentes conduites, les niveaux des réservoirs, le fonctionnement ou non des différentes pompes et presque tout cela en temps réel et automatisé. Les informations venant des réservoirs sont reçues par radio, câbles téléphoniques ou via une connexion internet.

C'est aussi par ce logiciel qu'il est possible de changer les horaires de remplissage des réservoirs (pilotage).

Les traqueurs

Le type de traqueurs installé par OKWind est les TREA 4000 qui vont permettre une production de 22.8kWc pour 110m². Les kWc représentant la puissance maximale de production en conditions optimales d'ensoleillement, de température...

Ils ont déterminé les traqueurs à installer en fonction de la demande du syndicat émise dans leur appel d'offre.

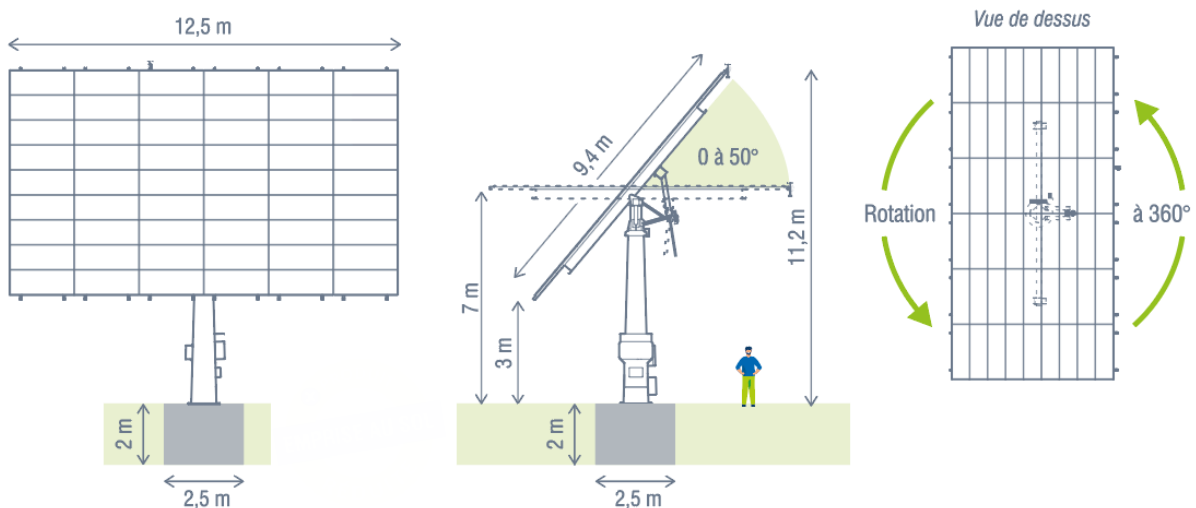


Schéma traqueur OKWind TREA 4000

Les traqueurs sont composés d'un mât, d'une tête permettant la rotation, et d'un panneau, comme sur le schéma ci-dessus.

En haut du traqueur, un anémomètre est placé afin de mesurer le vent en hauteur et éviter la casse des panneaux si celui-ci devenait trop fort. Une sécurité est mise en place afin de minimiser la prise au vent en position horizontale, si le vent venait à dépasser les 40km/h. À ce moment la production d'électricité continue tout de même, mais sera plus faible que si elle était dans le bon axe comparé au soleil.

Ces traqueurs utilisent un algorithme astronomique afin de recevoir grâce à une connexion internet la position du soleil la plus précise possible. Cela va déterminer leur rotation.

Les données de production des traqueurs sont accessibles via un portail client qui les retransmet directement de manière traitée et retranscrite. Ces valeurs sont collectées par tranche de 5 minutes dans le graphique.

	1 TREA (kWh/Mois)
Janvier	1986
Février	2945
Mars	4347
Avril	5135
Mai	5409
Juin	5867
Juillet	6332
Aout	5646
Septembre	4642
Octobre	3206
Novembre	1974
Décembre	1483
Total	48 970

Tableau des estimations de production des traqueurs photovoltaïques

Ce tableau, fourni par l'entreprise (OKWind) des traqueurs, permet de voir une estimation de la production d'un d'eux sur une année en fonction de la variation climatique de ce lieu. Ces valeurs sont déterminées à partir des données climatiques des 5 années précédentes du site étudié. Cela permet de se rendre compte de ce qui serait potentiellement créé et donc les économies que cela permettrait de faire.

Le coût d'un traqueur à l'achat est de 67 922 euros, ce prix unitaire diminuant en fonction du nombre souhaité (129 600 pour 2 traqueurs, 256 244 euros pour 4...). Ce coût comprend le matériel nécessaire à l'installation, avec la main d'œuvre.

Pour ce qui en est de la localisation, les traqueurs étant grands et rotatifs, ils doivent être suffisamment espacés afin de ne pas être en contact avec les uns avec les autres et surtout pour ne pas se faire de l'ombre entre eux.

Mise en fonction

D'après les besoins de la zone, l'entreprise OKWind a déterminé un besoin de 4 traqueurs pour les marais.

Les panneaux doivent être placés assez proche des forages, tout en respectant une distance et une sécurité afin de ne pas contaminer la nappe, lors notamment de l'installation du socle (12.5 m³ de béton pour chacun des traqueurs solaires).

Ils ont été positionnés comme sur l'image satellite ci-dessous.



Image satellite de la zone des marais, position des traqueurs

Avant cette installation, la production d'électricité se faisait la nuit. Depuis, en journée lorsque les traqueurs fonctionnent, c'est le moment où la recharge doit être effectuée. Les journées fortement ensoleillées permettent de faire fonctionner le site. Mais les jours de grisaille, peu d'énergie solaire est créé. L'énergie va donc devoir, tout de même, être soutirée du réseau et donc le pompage devra se faire la nuit comme c'était le cas avant cette installation.

Les mois avec une forte production solaire correspondront aux mois d'été principalement et inversement l'hiver avec une faible production.

En cas de surproduction d'électricité, compte tenu des moments de creux hors des pompages ou de surproduction les journées très ensoleillées, cette électricité produite sera remise dans le circuit électrique d'Enedis et sera racheté à faible prix au syndicat. Il est possible de passer un contrat avec le fournisseur afin de déduire cette électricité des frais électriques toujours prélevés, la nuit, sur les autres sites de production ou les pics qui dépassent la production par exemple.

Les traqueurs doivent respecter le plan local d'urbanisme pour leur localisation (PLU). Il s'agit d'un document qui va fixer les règles générales d'utilisation du sol sur la zone en question. Il suit un projet urbain mis en place dans la ou les communes et il définit la réglementation des sols pour ceux-ci. Il va séparer les zones urbaines ou à urbaniser des zones agricoles ou forestières.

Voici le graphique obtenu avec OKWind obtenu le 19/04/2024, une journée ensoleillée.



Graphique représentatif de la consommation et production électrique d'une journée très ensoleillée

La partie en bleu correspond à l'énergie nécessaire pour faire fonctionner les forages, celle en vert correspond à la partie produite par les traqueurs photovoltaïques et auto consommée et la partie en jaune correspond au surplus de production. C'est cette dernière partie qui sera renvoyé dans le réseau électrique.

On peut donc bien voir que la recharge se fait en grande majorité dans la journée durant la période où il y a production d'électricité par les traqueurs photovoltaïques avec ici une autonomie de 71 %.

Voici le graphique pour une journée avec des nuages le 2/05/2024.



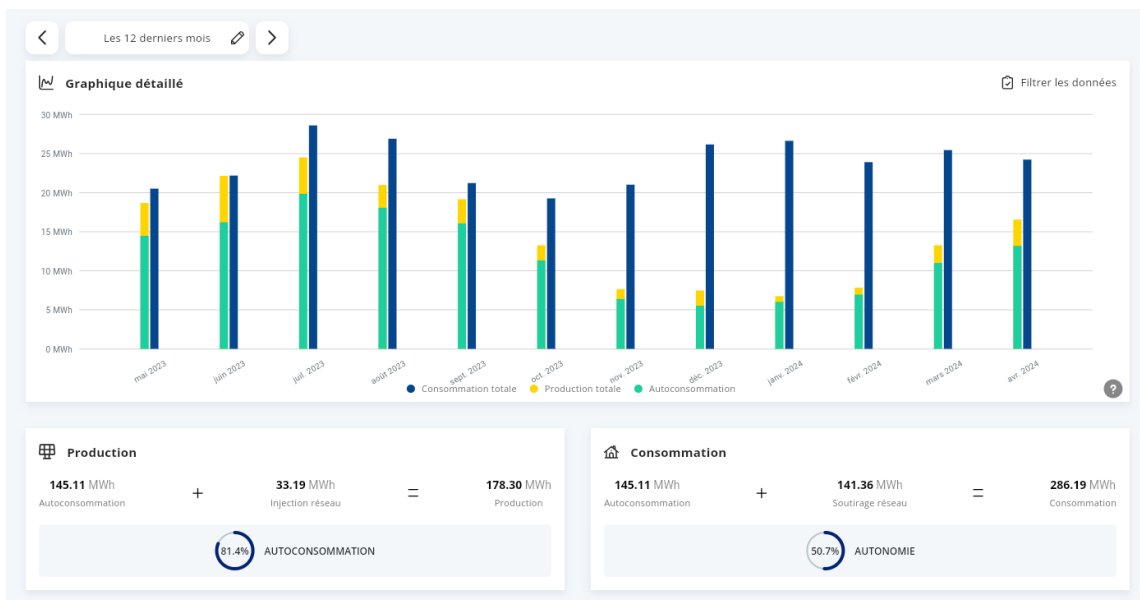
Graphique représentatif de la consommation et production électrique d'une journée non ensoleillée

A contrario, ce graphique met en évidence une recharge la nuit entre 22 h et 5 h avec tout de même quelques pics de recharge en journée. On peut y voir la production des panneaux photovoltaïques correspondant seulement à 12 % de l'électricité total consommé ce jour-là.

En hiver, les journées de ce type sont très courantes.

Sur une année d'exploitation

L'autonomie moyenne sur cette année est supérieure à 50% comme on peut le voir sur la représentation graphique ci-dessous, sur la période mai 2023 à avril 2024.



Graphique représentatif de la consommation et production électrique sur une année

On peut très clairement y voir la différence entre la production durant l'été et durant l'hiver, avec un rapport pratiquement de 4 entre juillet et janvier au niveau de l'autoconsommation.

On peut également voir que la part de production injecté dans les réseaux est plus importante l'été que l'hiver.

Avec ces 178.30 MWh et ces 50.7 % d'autonomie sur l'année, cette installation est très prometteuse pour un développement sur les autres stations.

La partie injectée dans le réseau représente 18.5%. Cette production « perdue » pourrait être optimisée.

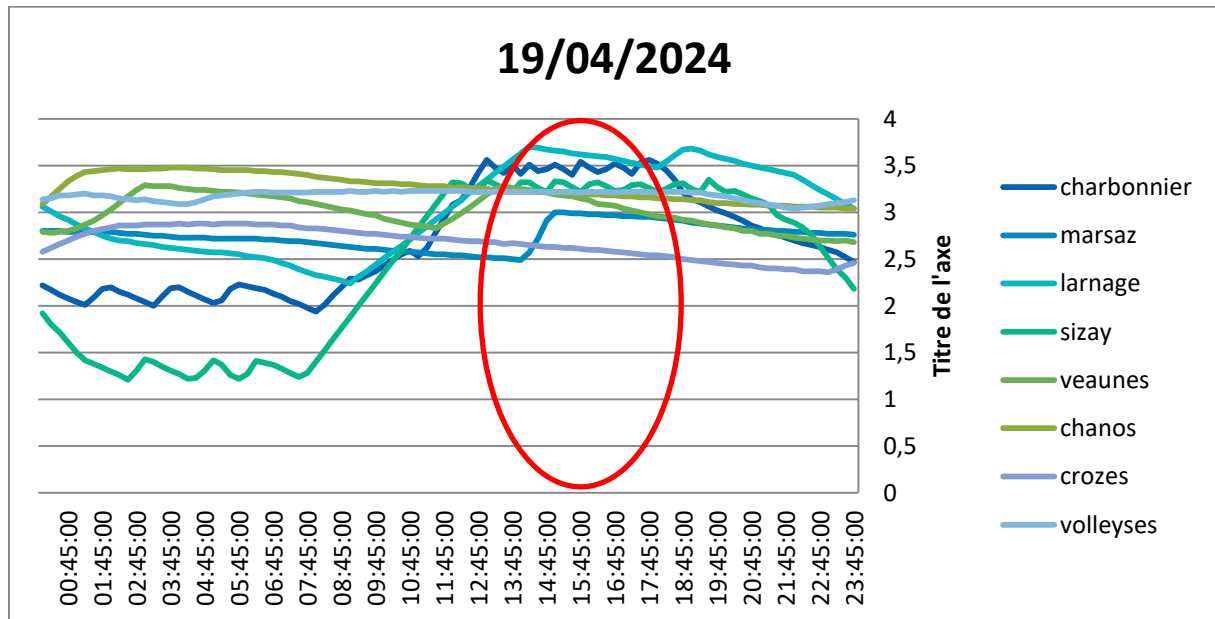
Optimisation

La distribution d'eau potable se fait en chaîne. Dans la recherche de l'optimisation de la ressource énergétique, crée par les traqueurs, il est possible d'optimiser cette énergie sur chacun des réservoirs en chaîne, ce qui permettra une augmentation de l'autoconsommation et donc l'autonomie.

Prenons l'exemple de la journée du 19/04/2024, dont j'ai parlé précédemment. Sur le graphique représentatif de cette journée, on peut voir une grande quantité d'énergie, entre 13 h et 18 h environ, qui est réinjecté dans le réseau (en jaune sur le graphique). L'objectif étant de l'optimiser, j'ai regardé le niveau de chaque réservoir pour voir leur tendance, tous n'ayant pas le même volume et donc la même hauteur d'eau.

Je me suis rendu compte en les comparant dans un graphique que seul 3 des 8 réservoirs se sont rempli en journée, lorsque l'ensoleillement est suffisant.

Voici le graphique représentatif du niveau d'eau dans ce réservoir.



Graphique du niveau d'eau dans les réservoirs en lien avec les traqueurs

Sur ce graphique, on peut voir, entre 13h et 18h, une recharge de Charbonnier et Sizay, les deux principales zones de stockage et les plus gros réservoirs. Les autres courbes ont une tendance descendante, ce qui signifie que les cuves n'utilisent pas l'électricité produite. Celles-ci se remplissent la nuit, dans l'objectif de payer l'électricité moins cher, comme cela était réalisé avant la mise en place des traqueurs. On peut constater l'augmentation de la courbe de Marsaz, ceci est dû au fait qu'il soit programmé pour s'ouvrir entre 14h et 19h.

Suite à ces observations, durant le week-end du 8 au 12 mai, nous avons réalisé des ajustements afin d'utiliser de manière plus importante la production d'électricité des traqueurs. Nous avons choisi de le réaliser sur ces jours car il s'agissait de journées avec des prévisions très ensoleillées, et donc avec une grande production des traqueurs photovoltaïques.

Nous nous sommes penchés sur les réservoirs de Marsaz, Volleyse, Crozes et Larnage. Ce sont des réservoirs plus ou moins gros, relié à Charbonnier (pour Larnage et Crozes) ou directement au site des Marais (pour Marsaz et les Volleyses).

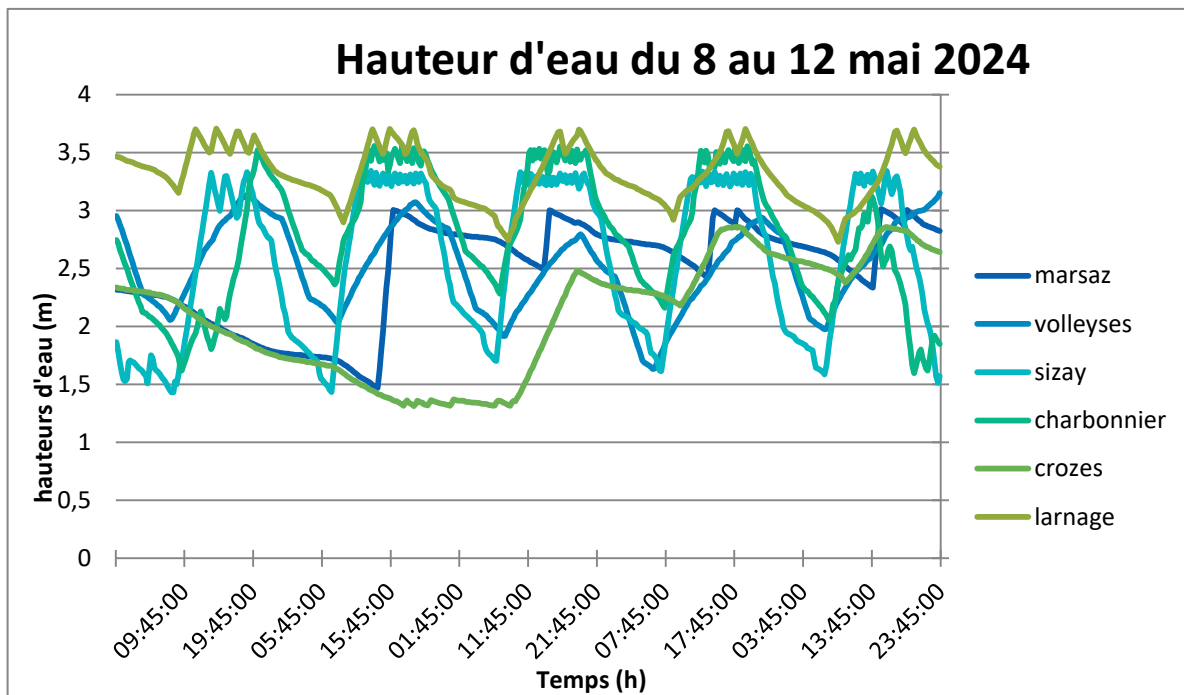
À également prendre en compte, ces hauteurs ne sont pas significatives de la quantité compte tenu du fait que les réservoirs n'ont pas tous le même volume. Cela permet juste de déterminer la période de remplissage et donc la durée de fonctionnement des pompes et par conséquent de l'utilisation d'électricité.

Suite à cette constatation, une proposition de modification de la période de recharge de certains des réservoirs a été testée afin de se rendre compte de la possibilité ou non d'amélioration du modèle.

Cas du week-end du 8/05 au 12/05/2024

Lors de ce week-end, l'ensoleillement était très fort à comparer des deux semaines précédentes.

Sur les sites Larnage et Volleyses, nous avons bloqué le remplissage entre 20h et 9h le lendemain afin de les remplir en journée. Puis nous avons également modifié Marsaz et Crozes en fermant leur remplissage durant environ 2 jours. Initialement, Larnage était bloqué entre 10h et 22h, Volleyses entre 15h et 22h et Marsaz entre 19h et 14h puis Crozes entre 6h et 23h.



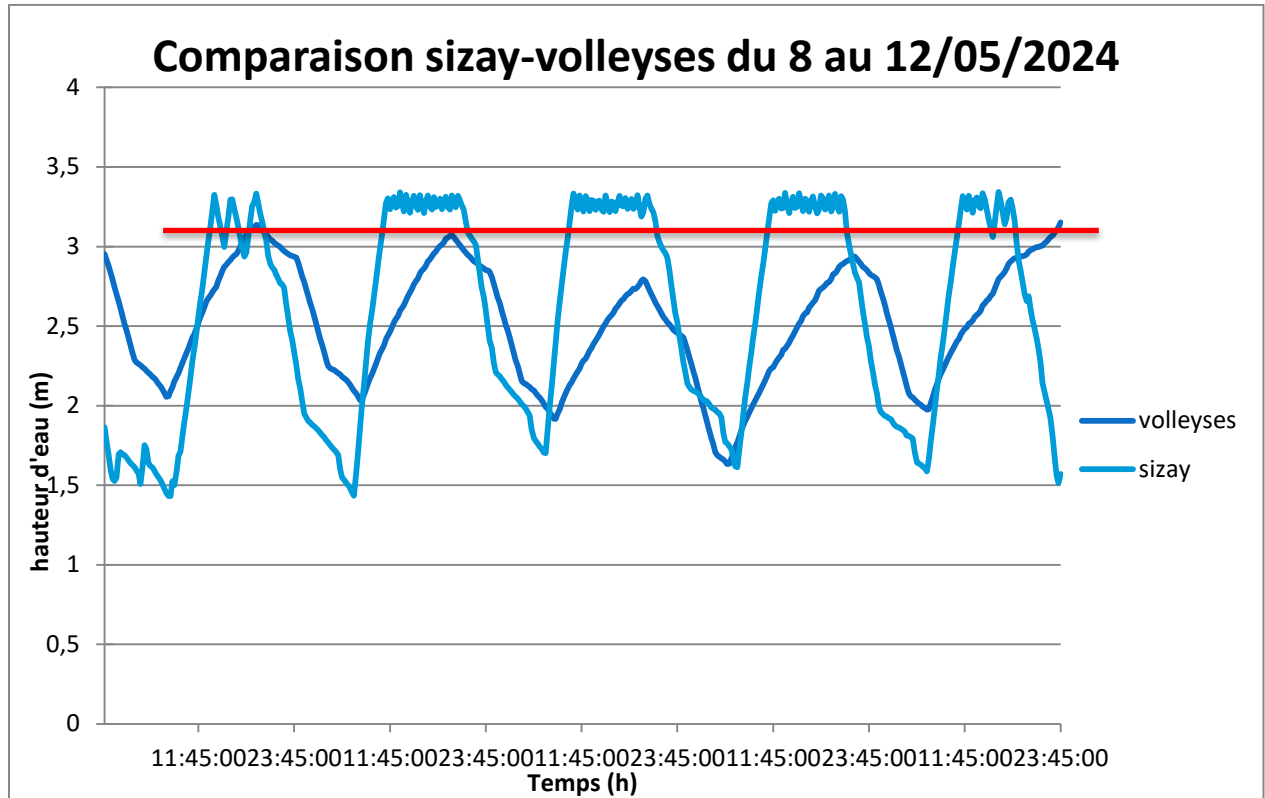
Graphique des hauteurs d'eau du week-end du 08/05 au 12/05/2024

Le graphique obtenu nous permet de voir que la recharge est bien réalisée durant la journée pour les différents réservoirs notamment pour les courbes de Charbonnier, Sizay et Larnage.

Pour Marsaz et Crozes, on peut voir qu'elles n'ont été remplies quant à elle que le 9 ou le 10 et qu'elles ont ensuite également été rempli en journée suite à cela.

Sur ce graphique avec toutes les autres courbes, ce n'est pas flagrant, mais lorsque l'on analyse seul les Volleyses, nous pouvons y voir une diminution du niveau du réservoir au cours du temps entre le 8 et le 10, ce qui signifie que la recharge n'est pas suffisant compte tenu de la demande.

Dans le graphique suivant, on peut voir la comparaison des courbes des hauteurs d'eau entre Sizay et les Volleyses.



Graphique de comparaison des réservoirs Sizay et Volleyeses

Ce graphique permet de voir la hauteur d'eau de Volleyse et Sizay, deux réservoirs desservis par a même canalisation. On peut voir que le réservoir de Sizay à des plateaux constants sur ces 5 jours tandis que les Volleyeses ont leur pics qui diminuent.

J'ai cru dans un premier temps que les canalisations en commun entre Sizay et les Volleyeses posaient problème dans la recharge mais finalement les volleyeses étant constant le reste du temps en dehors de ce week-end je ne pense pas que cela soit le problème.

Je me suis alors penché sur les modifications réalisées. J'ai pensé au fait que Volleyse était ouvert pour se recharger entre 22h et 15h en temps normal donc une ouverture des vannes pendant 17h. Lors de cette essaie, nous avons réduit à seulement 11h d'ouverture en l'ouvrant uniquement entre 9h et 20h. Il est donc possible que cette durée soit trop courte pour compenser la demande et expliquerait donc cette baisse du niveau.

J'ai donc réalisé les calculs du tableau suivant afin de déterminer le temps de recharge nécessaire :

Durée de la recharge	Différence de hauteur (m)	Augmentation de la hauteur d'eau (m)	Pour une durée de : (h)	Soit rapport pour une heure
22h-3h	3.23-2.72	0.51	5	0.102
9h-20h	3.13-2.06	1.07	11	0.097
9h-20h	2.79-1.92	0.87	11	0.079
9h-20h	2.94-1.63	1.31	11	0.119
7h15-00h15	3.20-1.98	1.22	17.25	0.070
			Moyenne :	0.09

Dans ce tableau, on peut voir les étapes de calcul pour obtenir le taux de recharge en hauteur d'eau par mètre pour une durée de 1h.

Suite à cela j'ai cherché à déterminer la hauteur d'eau de la demande. J'ai obtenu les valeurs du tableau suivant, basé sur les deux premiers jours de diminution (jour complet):

Durée de non-recharge	Différence de hauteur (en m)	Hauteur d'eau demandée (en m)
20h-9h	3.13-2.04	1.05
20h-9h	3.07-1.92	1.15
	Moyenne :	1.10

Avec une moyenne de 0.09 m/h de rechargement et un besoin moyen de recharge de 1.10m (1.20m pour avoir une marge), il faut donc 13h30 pour réaliser une recharge complète.

Dans le cas de ce week-end, nous avons laissé les vannes ouvertes seulement 11h, cela explique la diminution. Il est donc possible en connaissance de cause d'augmenter la plage horaire en la faisant commencer au lever du soleil à 6h. Entre 6h et 20h, nous aurions donc 14h de recharge.

Pour être sûr que notre niveau ne baisse pas prenons le temps de recharge le plus long avec la plus grande hauteur : 0.07 m/h et 1.10m. On obtient alors un temps de 15h42 pour une recharge complète. Il faudrait donc une ouverture entre 4h et 20h environ. Ce ne sera pas dérangeant compte tenu du fait que les heures avant 6h sont au tarif de nuit.

Pour déterminer laquelle de ces deux durées est la plus proche de la réalité, il faudrait réaliser un essai avec 14h d'ouverture par exemple sur plusieurs jours ensoleillés afin de voir si cette moyenne est vraiment fiable. N'ayant pas pris une plage de valeur très grande, il est possible également que ces valeurs soit imprécises.

J'ai ensuite utilisé cette méthode de détermination graphique, pour les réservoirs de Larnage, Crozes, Marsaz, ainsi que Charbonnier et Sizay (voir tableau en Annexe). Pour la durée, c'est un temps indicatif entre le niveau bas et haut, pour certains des plus gros réservoirs il y a de petites recharges de maintien du niveau. Ces valeurs sont variables compte tenu de la puissance des pompes et de leur localisation plus ou moins proche de la station de pompage entre autres.

Cette durée va pouvoir nous permettre de mieux évaluer le temps minimum d'ouverture du pilotage. Sachant qu'il faut tenir compte des variations saisonnières, et même journalières des réservoirs. Pour ces calculs, je n'ai pas tenu compte des petites variations/ajustement des réservoirs avec des limites de niveau qui peut impacter, surtout le cas des gros réservoirs comme Sizay et Charbonnier. Ces variations sont moins visibles pour les plus petits, car, tout d'abord, il y a moins de demande, et leur recharge est effectué sur une certaine durée et n'est pas programmé en fonction des traqueurs. Elles devront ensuite être appliquées au niveau de l'automatisation de la gestion des recharges des réservoirs, en tenant compte de la production des traqueurs photovoltaïques.



Graphique de la production/consommation du 11 mai sur OkWind

Lors de cette journée, nous avons eu une très forte autonomie avec vraiment très peu de pompage durant la nuit et ceux présent ne dure qu’une dizaine de minutes. C’est vraiment un très bon exemple pour la suite avec une autonomie de 91.3%.

En conclusion de ce week-end, l’autonomie moyenne était de 81.84% allant de 70.5 à 91.3%, ce qui est très encourageant dans la poursuite de ces modifications. Lors de journée moins ensoleillée, ce ratio sera forcément plus faible. Le point important, ces journées-là, sera donc l’autoconsommation qui devra être la plus élevée possible (il y aura toujours des recharges nécessaires en journée même si la recharge principale se fera la nuit), au plus proche des 100%. Les journées ensoleillées produisant plus que la consommation auront donc une autoconsommation plus proche des 70-80%, mais avec une autonomie au plus proche de 100%.

Automatisation

Avec ses données de remplissage calculées précédemment, j’ai cherché à déterminer les ouvertures des différents réservoirs en fonction des kWh produit par les traqueurs.

En regroupant toute ces informations, voici le tableau de l’automatisation en fonction de la quantité d’électricité produites pour les différents réservoirs.

En kWh	<250	<350	250-400	<400	>400	350-450	<450	<500	>500
Larnage		6h-22h				20-13h NN :3m	20-13h NN :2m		
Volleyses				13-22h	20h-6h				
Crozes/ Marsaz								24-24h ou 6h-22h	19-14h
Charbonnier/ Sizay (en m)	NN : 3.25/3.1		NN : 2.7/2.5		NN : 1.9/1.7				

NN=niveau de nuit

Tableau récapitulatif de l'automatisation des pompages en fonction de l'électricité produite

Dans un premier temps, pour les réservoirs de Sizay et charbonnier, les deux plus importants et ayant le plus de recharges au cours de la journée, j'ai choisi les plages de kWh les plus basses permettant de prendre en compte leur recharge plus fréquente que les autres réservoirs. En même temps, j'ai déterminé un niveau bas de nuit permettant d'avoir la recharge d'un certain minimum la nuit. La différence de hauteur la nuit entre les deux va dépendre uniquement de la taille des réservoirs, mais sont équivalente.

Pour ce qu'il en est de Larnage, le temps de recharge étant d'environ 5h30-6h, l'ouverture minimum sera de 7h. J'ai fixé des gammes de kWh plus élevées que pour les deux premiers réservoirs afin de ne pas surconsommer en journée. Pour la hauteur des niveaux de nuit, je me suis basé sur les tendances de niveau de la courbe de Larnage, c'est-à-dire le maximum étant 3.70 et le minimum autour de 2 m à 2.20 m pouvant varier selon les horaires d'ouverture choisis.

Étant positionné juste avant Crozes dans la chaîne, je me suis aligné pour leurs horaires de remplissage afin de laisser 1h à Larnage pour se remplir, avant que Crozes vienne à son tour le faire, ainsi qu'après pour que Larnage atteigne son niveau maximal. Crozes n'étant pas un gros réservoir, ce temps devrait suffire. J'ai également fait attention au fait de mettre la limite des kWh à Crozes supérieur à Larnage pour éviter la surconsommation en journée. Si lors des premiers jours après le début de la mise en route les réservoirs baissent comme celui des Volleyses lors de l'essai, le temps d'ouverture de Larnage devra être de 11h ou 12h à 20h et Crozes de 13h à 18 ou 19h par exemple.

Crozes et Marsaz sont des réservoirs assez petits tous les deux, c'est pour cela que j'ai choisi de leur mettre les mêmes conditions d'ouverture. C'est-à-dire entre 19h et 14h lorsqu'il y a plus de 500 kWh prévisionnelle. J'ai choisi également de les faire s'ouvrir un jour sur deux si les prévisions sont inférieures à 500 kWh comme ce qui était réalisé durant le week-end du 8-12 mai. Pour Crozes, la diminution est de 60 cm toutes les 24h soit avec un temps de remplissage de 0.11m/h, il faudrait environ 5h25. Or, s'ils étaient fermés la veille et que l'avant-veille était en journée, il se peut qu'il y ait plus de 24h. Étant ouvert entre 22h et 6h avec donc 8h d'ouverture, le temps sera largement suffisant pour le remplissage.

Et pour finir, pour le réservoir des Volleyses, ayant le temps de remplissage le plus long, je pense qu'il est préférable de lui donner une limite de kWh assez basse mais pas trop, puisqu'il aura forcément du remplissage durant la journée. J'ai donc choisi 400 kWh comme limite, mais selon les résultats obtenus lors de la mise en route, il faudra peut-être le modifier légèrement.

Les prédictions solaires

Les prévisions sont d'une réelle importance puisqu'elles vont permettre de faire des économies si elles sont exactes, mais si celles-ci ont une trop grande différence avec la production réelle, cela entraînera des coûts supplémentaires.

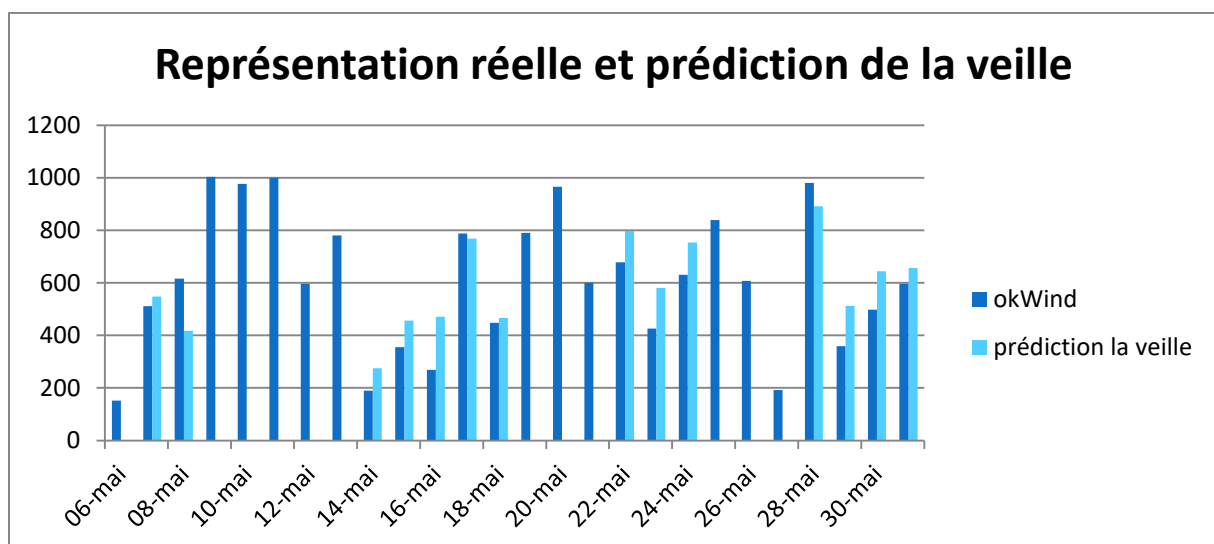
Les prévisions d'OKWind sont affichées pour le jour même et le lendemain et sont actualisées entre le matin et l'après-midi de ces deux jours. Leur prévision n'étant pas enregistrée automatiquement, à partir du 6 mai et jusqu'à la fin du mois, j'ai noté, les jours où j'étais présente, leur valeur afin de vérifier leur fiabilité.

Après traitement des données obtenues, j'ai constaté en moyenne 90.49 % de fiabilité de la prédiction de la veille comparé à la production réelle. C'est une valeur correcte, n'excédant pas les 10 % de moins, qui va nous permettre d'assurer une certaine fiabilité sur les prévisions et donc une adaptation assez fiable.

Suite à cela, je me suis intéressé à l'écart-type de cette valeur avec $\sigma=33.91$, ce qui est tout de même élevé. L'étendue des valeurs, $E=123$, restent elle aussi élevée compte tenu des deux extrêmes de production avec 180% lors de la surproduction et 57.10% lors de la sous-production comparé aux estimations.

Ceci reste à noter que sans la valeur de 180%, la moyenne des prévisions comparé aux valeurs réelles, tombe à seulement 80 %.

Il faut également prendre en compte sur ces résultats que le nombre de valeur reste limité (sur 12 jours seulement) ce qui peut entraîner des incertitudes.



Graphique représentatif prédiction et valeur réelle de production

Sur ce graphique, on peut voir en bleu ciel les prédictions de la veille comparées aux valeurs réelles obtenues. On peut voir que globalement elles sont assez proches ou légèrement inférieures.

Compte tenu de toutes ces informations, je pense que nous pouvons nous fier à ces prédictions pour l'automatisation des périodes de pompage. Il faudra tenir compte de ce résultat en adaptant

potentiellement les valeurs d'automatisation choisies pour les remplissages des différents réservoirs (tableau un peu plus haut), en fonction des résultats obtenus lors de la mise en route.

Dans l'optique de potentiellement augmenter la précision de la prédiction, il est également possible d'investir dans sa propre station de prédiction solaire. Pour cela, il faudrait prévoir l'installation d'un héliographe pour mesurer le rayonnement solaire, d'un anémomètre afin de mesurer la vitesse du vent, un thermomètre pour la température, un hygromètre pour l'humidité relative. En plus de toute ces données météorologiques, il faudra utiliser un modèle de simulation PV (photovoltaïque), le plus fiable et réaliste sur la zone souhaité.

Tous ces éléments auraient un coût assez important, avec une précision qui reste à déterminer. Cela pourrait permettre de réaliser des prédictions plus fiables, mais aussi possiblement moins, et cela reste plus complexe niveau organisation, temps et précision.

Hors de ces installations, la météo des agriculteurs pourrait être prise en compte, c'est une météo souvent plus précise et plus localiser, nous aurions la prédiction heure par heure sur les 48 h prochaine. Il faudra ensuite voir avec un modèle de simulateur PV également.

Développement

La rentabilité

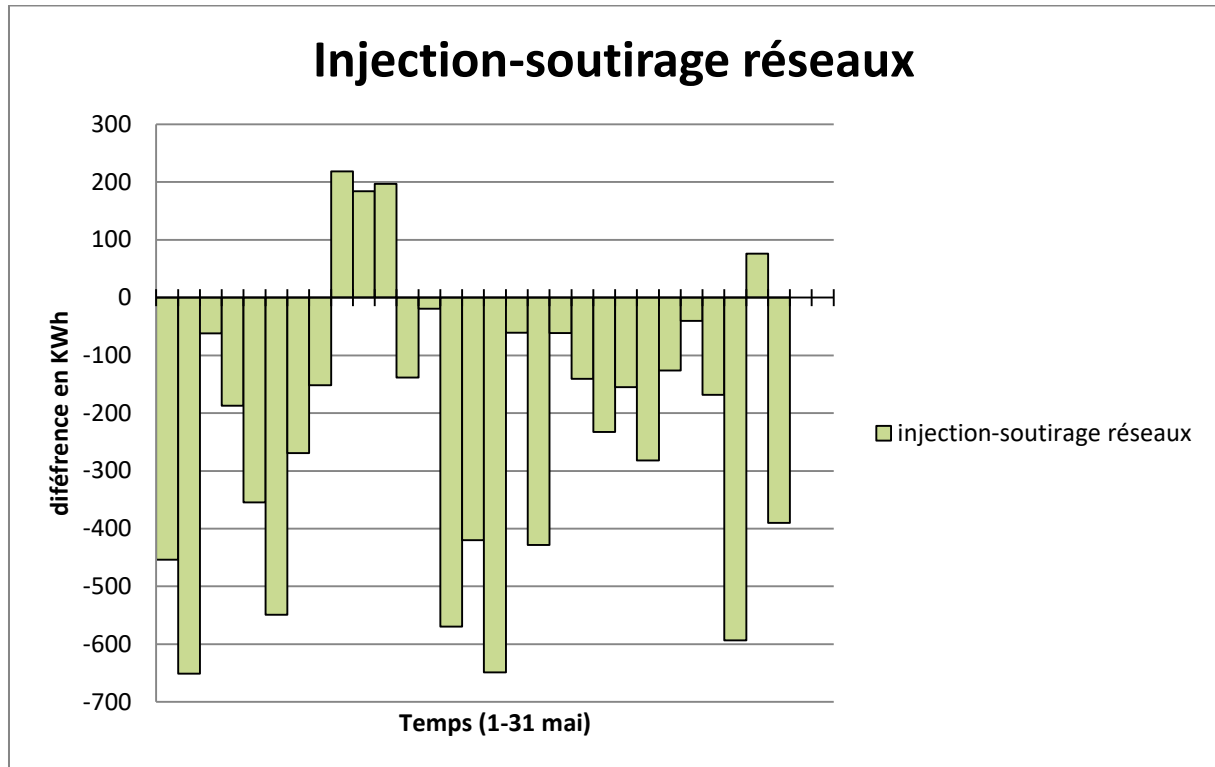
Les traqueurs sont assurés sur 30 ans à hauteur d'une capacité de 84 %. L'entretien des panneaux photovoltaïques sur 30 ans est inclus dans le prix d'achat des panneaux solaires par l'entreprise. On peut donc considérer que le seul coût est donc celui de l'achat du traqueur photovoltaïque soit de presque 68 000 euros pour un traqueur. Compte tenu de la diminution de la moitié de la facture d'électricité (sur la base de la moyenne annuelle de 50.7 % d'autonomie), et en partant sur le fait que le coût de 1 MWh est d'environ 200 euros, nous obtenons les résultats suivants

	Prix d'achat (estimation moyenne)	Consommation annuelle	Autoconsommation	Prix annuelle	Prix annuelle avec autoconsommation
Mai 2023- Avril 2024	200 €/MWh	286.91 MWh	145.35 MWh	57 382€	28 312 €

Tableau récapitulatif du coût de la consommation

Sur une année, Eaux de la Veauce a économisé plus de 29 000 €, ce qui représente plus de 40 % du prix d'achat d'un panneau photovoltaïque. Compte tenu du fait qu'il y a eu 4 panneaux solaires, soit un coût d'achat d'environ 250 000 €, il faudra environ 8 ans et demi pour rembourser le prix d'achat. Sur le long terme, les panneaux solaires sont très rentables, compte tenu du fait de leur longue durée de vie. Durant les 21 autres années Eaux de la Veauce, va donc économiser près de la moitié de sa facture d'électricité (pourrait varier compte tenu du rendement qui peut diminuer légèrement dans le temps) pour le site des Marais.

Pour ce qui en est de ce mois de mai, j'ai comparé l'injection au réseau et le soutirage de celui-ci. Voici le graphique récapitulatif.



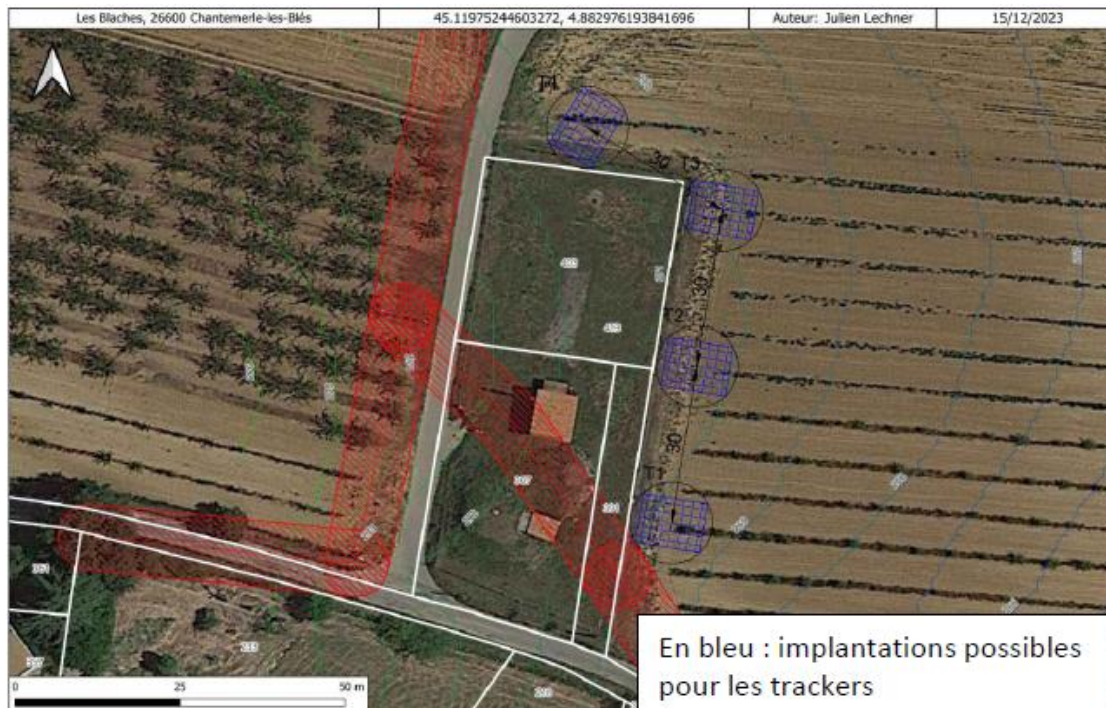
Graphique représentatif de l'injection-soutirage du réseaux

Sur ce graphique, on peut voir les 4 jours où l'électricité injecté aux réseaux était quantitativement plus élevée que celle prélever (les 3 barres au-dessus de 0). Ce mois était très pluvieux ce qui explique qu'il y est plus de soutirage du réseau que d'injection. Le prix du rachat étant plus faible que le coût, il n'est pas possible de comparer les valeurs supérieures à zéro comme des gains d'argent.

Les autres stations

D'autres stations sont envisagées pour l'installation de nouveaux traqueurs comme les Blaches, Bateau et Glun. Ce sont toutes des stations avec un assez bon débit de pompage, même si moins fort que celui des Marais. Il y aurait 3 traqueurs pour le site Blaches, 1 pour Bateau et 1 pour Glun. Il y aurait aussi l'ajout de deux nouveaux traqueurs sur le site des Marais.

Voici, en exemple, les emplacements possibles pour le site des Blaches.



Images de l'emplacement potentiel des traqueurs sur le site Blaches

Ces traqueurs sont assez gros et ont besoin d'un assez grand espace afin de pouvoir être positionné mais également de ne pas se faire d'ombre, ils doivent être près des lieux de pompage afin de pouvoir transmettre l'électricité directement aux pompes. Ces traqueurs ne doivent pas être dans le périmètre de protection immédiat du forage. La construction de la dalle est également réglementée afin de ne pas contaminer l'eau de la nappe avec des produits chimiques par exemple.

Autres contraintes, les traqueurs doivent respecter le plan d'urbanisation local en place sur les localisations des forages. Les traqueurs, qui sont sur pied ne sont parfois pas autorisés dans le but de protection de certaine zone agricole ou autre, comme pour le forage de Glun. Il faut alors entreprendre des démarches afin d'obtenir une dérogation ou une modification de celui-ci.

Les espaces de stockage

Il serait également possible de penser à stocker l'énergie produite par les traqueurs.

Pour cela, il existe plusieurs batteries différentes, stockage à air comprimé, chimique, volant d'inertie... Le système du stockage à air comprimé consiste à mettre de l'air sous pression qui va faire monter sa température, mélanger à du gaz va faire tourner une turbine. Son coût est de 400 à 1200 €/kW cela signifie que sur la base que l'on souhaite stocker le surplus d'une journée ensoleillé 1000-800 kwh, il faudrait en stocker 300. Sois entre 120 000 et 360 000 euros. Ce ne serait donc clairement pas rentable. Ce qui en est du stockage chimique, il va consommer 3kWh d'électricité pour en stocker seulement 1kWh, ce ne sera pas rentable non plus. Et pour finir le stockage volant d'inertie coûte entre 1000 et 4500/kWh ce qui mènerait à un coût encore plus élevé que celui à air comprimé.

En conclusion, le stockage de l'électricité produite par les traqueurs aurait un coût trop important au vu de la quantité, ainsi que le fait que les journées ensoleillées l'été s'enchaînent durant cette période sans besoin de prélèvement à côté.

Mais nous pouvons considérer que le stockage de cette énergie est en quelque sorte réalisé lors du stockage de l'eau dans les réservoirs. Le remplissage se fait quand il y a beaucoup de soleil et moins quand c'est nuageux.

Conclusion

Ce stage m'a permis d'en apprendre beaucoup sur les traqueurs photovoltaïques ainsi que la gestion des ressources énergétiques et le bon fonctionnement d'un réseau.

La gestion est très complexe afin d'obtenir un équilibre entre un stock d'eau minimum dans les réservoirs et les coûts d'électricité. La gestion des canalisations est également complexe et doit comprendre la prévention des fuites ou casse, le raccordement de nouveau compteur ou dans le cas de Ponsas d'une nouvelle commune, la mise à jour des données cartographiques du réseau...

Pour ce qui en est de l'optimisation de l'électricité photovoltaïque, il faudrait dans un premier temps programmer le logiciel afin d'obtenir une gestion automatiser sur le logiciel Topkapi afin de programmer la gestion du remplissage des réservoirs en fonction des kWh prédictifs, installer de nouveaux traqueurs sur d'autres stations ainsi que sur le site de Marais afin d'obtenir la meilleur autonomie possible.

Le soleil était l'élément manquant de mon stage, il aurait pu me permettre d'avoir plus de données et de pouvoir tester, comme pour le week-end du 8 au 12 mai, les hypothèses. L'automatisation aurait eu une précision plus grande que ce que j'ai eu la possibilité de faire.

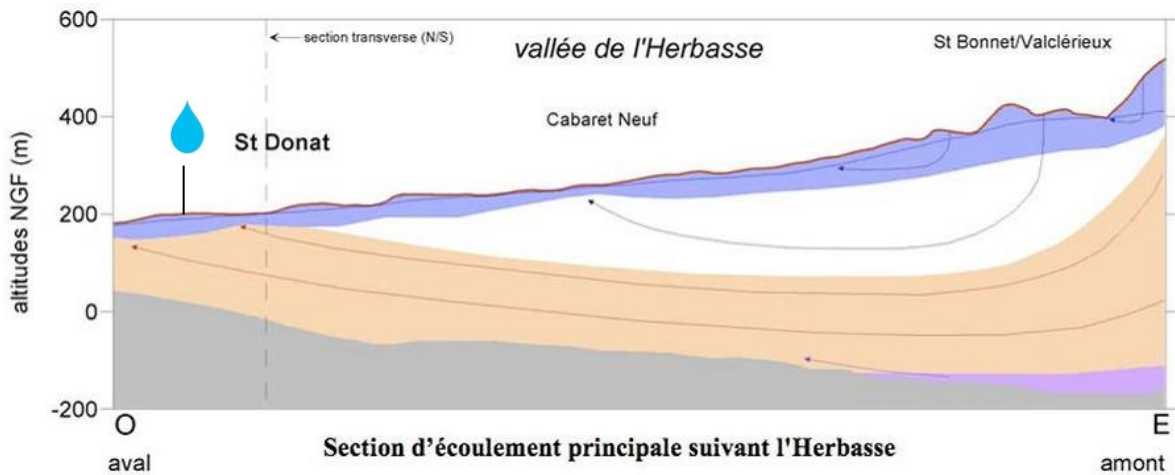
Bibliographie

- SAGE : rapport de la modélisation de la nappe de la molasse / MARS 2020 / ARTELIA
- Mémoire technique : réponse à l'appel d'offre pour les panneaux photovoltaïque / DECEMBRE 2023 / OKWind / 39p
- Rapport 2021 d'Eaux de la Veaine
- Plan d'implantation des installations /DECEMBRE 2023/ Eaux de la Veaine /5p
- <https://www.meteolor.fr/les-instruments-de-mesure/> (06/05/2024)

Annexe

	m/h	Augmentation hauteur moyenne (m)	(en heure)	Temps de remplissage
Sizay	0.51	1.75	3.43	3h26
Charbonnier	0.25	1.25	1	5h
Marsaz	0.53	0.6	1.13	1h08
Crozes	0.11	0.5	4.55	4h30
Larnage	0.2	1.15	6	5h45
Volleyses	0.09	1.2	13.33	13h20

Tableau récapitulatif du temps de recharge des réservoirs



Coupe géologique des aquifères du secteur de Saint-Donat - D'après étude "Aquifère molassique. Diagnostic général et orientations de gestion"

Coupe géologique d'écoulement principale suivant l'herbasse (aquifère de la molasse du miocène)

La goutte d'eau symbolise la localisation du syndicat des Eaux de la Veaine.



Test de vérification des pressions des bornes d'incendie



Pose d'un compteur abonné