Éco-conception de bâtiment vinicole appliqué au chai de Celeyran

Matthieu Gasparoux

▶ **To cite this version:**

Matthieu Gasparoux. Éco-conception de bâtiment vinicole appliqué au chai de Celeyran. Agronomie. 2019. dumas-02971200

HAL Id: dumas-02971200

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02971200

Submitted on 26 Oct 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Ministère de l'agriculture

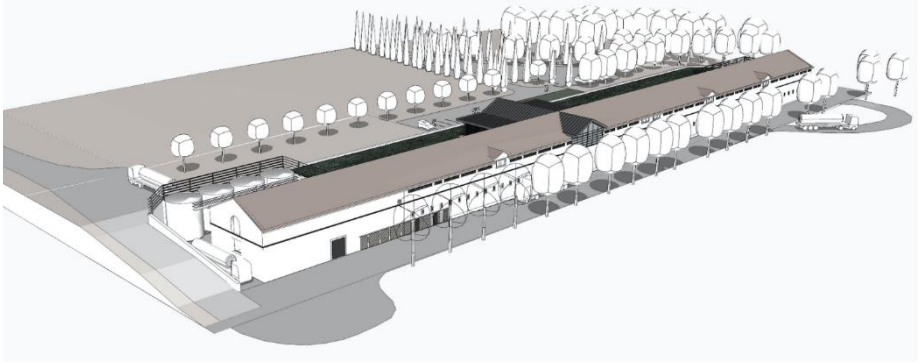
Mémoire de fin d'études

Présenté pour l'obtention du

DIPLOME D'INGENIEUR AGRONOME

Option : Viticulture Œnologie

Eco-conception de bâtiment vinicole appliqué à la cave de Celeyran



Par

Matthieu GASPAROUX

Année de soutenance : 2019

Organisme d'accueil : SICOE

Ministère de l'agriculture

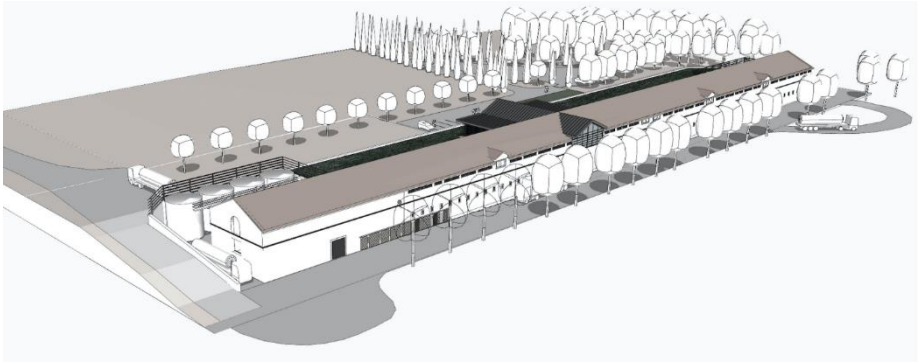
Mémoire de fin d'études

Présenté pour l'obtention du

DIPLOME D'INGENIEUR AGRONOME

Option : Viticulture Œnologie

Eco-conception de bâtiment vinicole appliqué à la cave de Celeyran



Par

Matthieu GASPAROUX

Mémoire préparé sous la direction de :
Hervé Hannin

Organisme d'accueil : **SICOE**

Présenté le : **5 novembre 2019**

Maitre de stage : **Nicolas Dornier**

Résumé :

L'éco-conception de bâtiment est un concept apparu au début des années 2000 en réponse aux enjeux actuels liés au réchauffement climatique et à la perte de biodiversité due aux pratiques humaines. L'éco-conception vise à créer ou réhabiliter des bâtiments de la manière la plus écologique possible, elle peut être appliquée à l'ensemble des constructions, c'est pourquoi nous avons entrepris de l'appliquer à la spécificité des bâtiments vinicoles. Au sein d'une construction, de nombreux points peuvent être améliorés tels que la consommation en eau et en électricité du bâtiment, les matériaux utilisés et l'efficacité thermique des bâtiments.

Dans un premier temps, nous avons décidé de traiter comme sujet la gestion des effluents de caves en présentant des nouvelles techniques de traitement des effluents. Ces nouvelles techniques utilisent la phytoépuration à l'aide de bambous ou de roseaux, cela permet un traitement des déchets peu énergivore, émettant peu d'odeurs et fonctionnant tout au long de l'année. La bambouseraie permet une gestion des effluents vinicoles sans export de matière et les roseaux plantés sur lits de zéolithe permettraient d'obtenir une eau traitée possiblement réutilisable pour l'irrigation.

Ensuite nous avons utilisé un logiciel permettant de modéliser l'évolution des températures dans le bâtiment au cours de l'année en fonction des techniques de construction (simulation thermique dynamique), ce qui nous a permis de réaliser des choix constructifs pour le futur bâtiment.

Enfin nous nous sommes penchés sur la mise en place de panneaux photovoltaïques en autoconsommation qui alimenteraient en électricité un bâtiment de négoce en vin. Une modélisation de la future consommation d'électricité du bâtiment a été faite ainsi qu'un prédimensionnement de la future centrale électrique pour répondre à une partie des besoins du bâtiment. On a observé que ce domaine consommerait aux alentours de 360 MWh par an et qu'une installation de 180 kWc de panneaux serait optimale pour la consommation électrique de ce bâtiment.

Mots clés :

Vin, Cave Vinicole, Eco-conception, Photovoltaïque, Gestion des déchets, Consommation en eau et électricité, Process

Abstract

At the beginning of the 20th century, buildings eco-design concept appeared in reponse of the global warming and the biodiversity loss due to human activity. The aim of eco-design is to create and restore building without impact on the earth. This concept can be applied on all constructions, that's why we tried to apply this to the specificity of the wine cellar. In the construction environment, many points can be improved such as water and electricity consumption, used materials and buildings thermal efficiency.

First, we decided to reflect about the winery effluent management. We find new technics to manage winery effluents. These new technics used phytopurification with bamboo or reeds. These technics use less electricity, smell better, and work all over the year. Bamboo plantations allow effluent management without export of water/sludge and planted bed of reeds on zeolithe permit to obtain a clean water who can be reused for irrigation in the future.

Then, we used a software to model the impact of the construction technics on the evolution of temperatures in the cellar during the year (dynamic thermal simulation). That allow us to make important construction choices.

Last but not least, we worked on the installation of solar panels next to a wine cellar. The aim of this installation is to produce half of the total electricity consumption of the building. We simulated the future electricity consumption of the cellar, the production of solar panels in the area of Narbonne and the size of the central needed. We observed that this cellar will need around 360 MWh by year and the optimal central for this site would be a central of 180 kWc.

Key words

Wine, Wine Cellar, Eco-design, Photovoltaic, Waste Management, Water and Electricity consumption, Process

Remerciements :

Je tiens à remercier l'ensemble du bureau SICOE, pour l'accueil chaleureux au sein de l'entreprise. Ces six mois de stage m'ont permis d'observer sous tous les angles le travail d'un bureau d'étude spécialisé en process vinicole. Ce fut très intéressant de comprendre l'organisation d'une entreprise à taille humaine, qui est responsable des travaux d'une trentaine de caves vinicoles par an.

Merci à Frederic, Xavier, Stéphen, Maxime, Christine, Christophe et Nicolas qui m'ont beaucoup appris en termes de conception de cave vinicole.

Ce stage m'aura permis d'acquérir des connaissances dans un secteur que je ne connaissais absolument pas, ce qui me servira forcément lorsque j'aurais besoin de réaliser des investissements au sein de mes futures expériences professionnelles.

Merci à tous

Sigles et abréviations :

ACV	Analyse de cycle de vie
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie
BDO	Bâtiments Durables Occitanie
BIVB	Bureau Interprofessionnel des Vins de Bourgogne
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
DBO_5	Demande Biologique en Oxygène
DCO	Demande Chimique en Oxygène
CNTE	Commission spécialisée du Conseil national de la Transition Ecologique
E+C-	Energie Positive & Réduction Carbone
FDES	Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire
GES	Gaz à Effet de Serre
GWP	Global Warming Potential
ICPE	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
INIES	La base numérique de données environnementales
LEED	Le Leadership in Energy and Environnmental Durable
MES	Matière en Suspension
SITEVI	Salon international des équipements et savoir-faire pour les productions vigne-vin, olive, fruits-légumes
SNTEDD	La Stratégie National de Transition Ecologique vers un Développement Durable
STD	Simulation Thermique Dynamique
Wc	Watt crête

Tables des illustrations

Tableaux :

Tableau 1 : Indicateurs de la stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable..... 16
Tableau 2 : Seuil de rejet à l'état naturel d'effluent provenant de cave vinicole soumise à enregistrement..... 22
Tableau 3 : Estimation de la consommation d'électricité par poste en fonction de la quantité de vin produit 26
Tableau 4 : Répartition de la production d'effluents dû aux vinifications au cours de l'année..... 30
Tableau 5 : Répartition des volumes d'effluents au cours de l'année du domaine de Celeyran 30
Tableau 6 : Charge des effluents en fonction de leur provenance..... 30
Tableau 7 : Répartition de la charge des effluents au cours de l'année du domaine de Celeyran 30
Tableau 8 : Variation des besoins en froid en fonction des modalités de construction pour le chai barriques 40
Tableau 9 : Variation des besoins en froid en fonction des modalités de construction pour le chai cuverie..... 40
Tableau 10 : Bilan consommation journalière d'électricité de la partie négoce..... 42
Tableau 11 : Bilan de la consommation journalière d'électricité des « autres consommations » 44
Tableau 12 : Bilan des volumes vinifiés du site de Celeyran..... 44
Tableau 13 : Estimation de la consommation électrique d'une journée type « vendange rouge »..... 44
Tableau 14 : Estimation de la consommation électrique d'une journée type « vendange blanc/rosé »..... 44
Tableau 15 : Evolution de la vitesse de fermentation en fonction des jours après vendange..... 47
Tableau 16 : Exemple de consommation en froid de la journée du 20 aout..... 47
Tableau 17 : Donnée de base permettant le calcul de la consommation en électricité des locaux 49
Tableau 18 : Consommation électrique de la gestion des températures de la partie bureau et locaux sociaux..... 49
Tableau 19 : Evolution des taux d'efficacité photovoltaïque avant et après optimisation 59
Tableau 20 : Paramètres pour calculer la rentabilité à long terme de l'installation photovoltaïque..... 63

Figures :

Figure 1 : Consommation moyenne d'électricité par mois d'un site de négoce..... 24
Figure 2 : Consommation moyenne d'électricité par mois d'un site de vinification..... 24
Figure 3 : Evolution des températures intérieures et extérieures dans le chai barrique de Celeyran sans système de gestion des températures 38
Figure 4 : Evolution des températures intérieures et extérieures dans le chai cuverie niveau haut de Celeyran sans système de gestion des températures..... 38
Figure 5 : Besoins en froid d'une cuve de 200 hl au cours des vinifications 47
Figure 6 : Bilan des consommations électriques au cours des vinifications du site de Celeyran 49
Figure 7 : Bilan des consommations électriques de la gestion de température des chais sur un an 51
Figure 8 : Bilan des consommations du site en MWh/mois..... 51
Figure 9 : Consommation électrique de Celeyran sur la première semaine de juin 53
Figure 10 : Consommation électrique de Celeyran sur la troisième semaine d'août 53
Figure 11 : Production électrique issue de panneau photovoltaïques pour 100 kWc de panneaux par jour au cours de l'année..... 55

Figure 12 : Taux d'autoproduction, d'autoconsommation et pourcentage d'énergie écrêtée en fonction de la puissance installée 55
Figure 13 : Répartition de la consommation d'énergie lors de la dernière semaine de mai avant optimisation 57
Figure 14 : Répartition de la consommation d'énergie lors de la dernière semaine de mai après optimisation 59
Figure 15 : Répartition de la production photovoltaïque au cours de l'année 59
Figure 16 : Répartition de la consommation d'énergie au cours de l'année 61
Figure 17 : Evolution du coût de l'électricité sur 25 ans en France en prenant une augmentation de 4% par an . 61
Figure 18 : Retour sur investissement de la centrale photovoltaïque en fonction de l'investissement de départ .. 63

Schémas :

Schéma 1 : 3 piliers du développement durable 14
Schéma 2 : Plan d'implantation de Celeyran au 10 juin 2019 28
Schéma 3 : Fonctionnement d'un bambou lors de l'épuration 32
Schéma 4 : Schéma de fonctionnement d'une bambouseraie 32
Schéma 5 : Plan d'implantation de la bambouseraie 34
Schéma 6 : Schéma de fonctionnement du système Zeofito 36
Schéma 7 : Plan d'implantation du procédé Zeofito 36
Schéma 8 : Vue en coupe du bâtiment de Celeyran présentant le volume des différentes STD 38
Schéma 9 : Implantation de la centrale photovoltaïque sur les bassins de rétention des eaux 64

Sommaire

Résumé : 5
Mots clés : 5
Abstract 5
Key words 5
Remerciements : 6
Sigles et abréviations : 7
Tables des illustrations 8
Tableaux : 8
Figures : 8
Schémas : 9
Sommaire 10
Introduction 13
Problématique et méthodologie 13
I) Introduction à l'éco-conception 15
1.1) Notions de développement durable 15
1.1.1 Bases socio-économiques du concept 15
1.1.2 Politique française en matière de développement durable 15
1.2) Notions générales d'écoconception 17
1.2.1 Définition de l'ADEME 17
1.2.2 Intérêt politique et économique de l'éco-conception 17
1.2.3 ACV : Notion de cycle de vie 17
1.2.4 Les labels liés à l'éco-conception 19
II) Eco-conception appliquée aux bâtiments vinicoles 21
2.1) Les points de leviers sur lesquels jouer pour l'amélioration des bâtiments vinicoles 21
2.2) De la consommation en eau à la production des effluents 21
2.2.1 La consommation en eau 21
2.2.2 La gestion des effluents 21
2.1) De la production à la consommation en énergie 25
2.3.1 L'autoconsommation d'énergie 25
2.3.2 Méthodologie pour estimer la consommation électrique d'un bâtiment 27
III) Un exemple concret : La réhabilitation écologique du domaine de Celeyran 27
3.1) Présentation du projet 27
3.1.1 Le domaine d'étude 27
3.1.1 Présentation de la SICOE 29
3.1.2 Workshop autour de l'écoconception en vue du SITEVI 29
3.1.3 Choix des axes de travail 29
3.2) La gestion des effluents : de nouvelles techniques innovantes 31
3.2.1 Estimation du volume annuel d'effluents 31

3.2.1 Estimation de la charge organique des effluents 31
3.2.2 La bambouseraie : aucun rejet dans la nature et production de biomasse 33
3.2.3 Le lit planté de roseaux sur zéolithe 35
3.3) Une gestion thermique optimale des bâtiments 37
3.3.1 Définition d'une STD 37
3.3.2 Réalisation de la STD 39
3.3.3 Résultats des STD sur la version de base 39
3.3.4 Les différentes modalités testées 41
3.3.5 Résultats des modalités et discussion des choix techniques 41
3.4) La production d'énergie photovoltaïque autoconsommée 41
3.4.1 Estimation de la consommation moyenne de la cave 41
3.4.2 Estimation de la production électrique des panneaux solaires 53
3.4.3 Optimisation des panneaux solaires tout au long de l'année 57
3.5.4 Bilan de la production photovoltaïque du site 59
3.4.5 Rentabilité à long terme 61
3.4.6 L'implantation des panneaux sur le site 63
I) Discussion 65
4.1) Intérêt écologique, éthique et financier de la réhabilitation de cette cave 65
4.2) Aspects critiques point par point 65
4.2.1 Gestion des effluents 65
4.2.2 Gestion thermique optimale des bâtiments 65
4.2.3 La production photovoltaïque autoconsommée 65
II) Conclusion 67
Références bibliographiques 69
Annexes 73

Introduction

Dans le cadre d'un projet commun entre l'école d'architecture de Montpellier, l'entreprise SICOE (bureau d'étude spécialisé en ingénierie de process vinicole) et l'école de Montpellier SupAgro, j'ai eu la chance durant six mois d'intégrer l'équipe de ce bureau d'étude. Cette entreprise vise l'excellence dans la conception de chais vinicoles en cherchant continuellement l'amélioration des systèmes mis en place dans les caves. Dans cette optique, cette entreprise est très intéressée par l'éco-conception des chais. Durant mon stage, en collaboration avec les quatre étudiants de l'école d'architecture, nous avons cherché de nouvelles techniques adaptées au monde vinicole permettant aux nouvelles constructions et réhabilitations d'avoir le moins d'impacts possibles sur l'écosystème planétaire.

C'est pourquoi nous avons tout d'abord étudié le terme d'éco-conception dans sa globalité, les enjeux autour de ce nouveau concept, les motivations des différentes entreprises du bâtiment à s'y intéresser, ainsi que le rôle de l'Etat dans cette transformation du monde du bâtiment.

Puis nous nous sommes focalisés sur les bâtiments vinicoles qui ont un fonctionnement particulier avec des consommations en eau et électricité rythmées durant l'année et qui n'ont donc pas les mêmes spécificités qu'un bâtiment classique.

Enfin afin d'illustrer nos propos, nous nous sommes plus particulièrement penchés sur le chantier de la réhabilitation du chai de Celeyran, propriété acquise par la société Gérard Bertrand en 2019. Cet exemple nous a permis d'explorer de nouveaux outils qui gravitent autour de l'éco-conception telle que la simulation thermique dynamique. Nous nous sommes également intéressés à des systèmes innovants de traitements des effluents de caves ainsi qu'à l'autoconsommation d'électricité produite par des panneaux photovoltaïques.

Problématique et méthodologie

L'éco-conception de bâtiment est un sujet d'actualité. En effet nous traversons actuellement une prise de conscience écologique de la population grâce aux scientifiques du GIEC, ainsi qu'aux associations et ONG internationales écologiques nous sensibilisant sur les problèmes environnementaux. Plusieurs problèmes sont à citer tels que la chute de la biodiversité mais aussi le changement climatique, engendrant à la fois une augmentation des événements climatiques exceptionnels ainsi qu'une diminution des ressources (pour l'industrie et la construction, métaux, sable et bois de construction). Cette prise de conscience a notamment eu lieu dans le secteur du bâtiment, un des plus énergivores dans le monde de l'industrie, avec des entreprises qui s'efforcent depuis le début des années 2000 de mettre en place des solutions innovantes permettant aux constructions d'avoir un impact plus faible sur la planète aussi bien durant leur construction que dans l'utilisation du bâtiment au quotidien.

L'agriculture, et particulièrement la viticulture, sont également aujourd'hui pointées du doigt. En effet, le vignoble français utilise 20% des pesticides français pour 6% de la SAU. Le monde du vin doit donc se montrer irréprochable dans l'ensemble de ses pratiques pour ne pas observer une dévaluation de ce produit culturel à haute valeur ajoutée. Cependant, il existe aujourd'hui énormément d'études sur l'impact écologique de la culture de la vigne, avec l'utilisation des pesticides, mais très peu d'études sur l'impact du chai lors de sa construction et lors de son utilisation au quotidien.

Nous nous sommes demandés comment appliquer les principes d'éco-conception à la construction et la réhabilitation de chais vinicoles. Nous nous sommes vite rendu compte de la complexité du sujet et du champ des domaines d'étude possible. L'impact de la conception d'un bâtiment aussi bien durant la construction que pendant l'utilisation dépendra des choix constructifs dès les premiers dessins du projet jusqu'à la dernière brique posée. La complexité du sujet est telle que nous avons dû lister les différents domaines à améliorer. Nous avons cité :

- l'utilisation de matériaux écologiques (leur durabilité et leur proximité avec le bâtiment)
- les consommations en eau et en électricité
- la performance énergétique du bâtiment
- l'isolation du bâtiment
- la gestion des déchets durant les travaux et durant la vie du bâtiment (les effluents vinicoles).

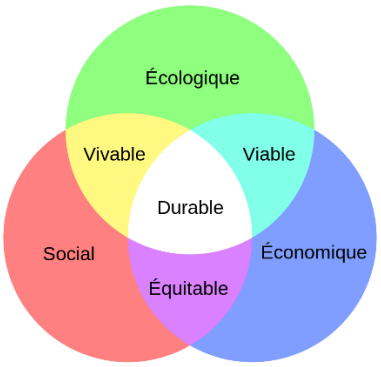


Schéma 1 : 3 piliers du développement durable

Nous avons fait le choix de nous concentrer sur des aspects du bâtiment qui sont spécifiques aux bâtiments vinicoles. C'est pourquoi, en prenant l'exemple d'un cas concret, nous nous sommes intéressés à :

- la simulation thermique dynamique appliquée à un chai barriques et un chai cuverie
- de nouvelles techniques de gestion des effluents par phytoépuration
- ainsi qu'à l'autoconsommation d'électricité photovoltaïque.

D'un point de vue méthodologique, nous nous sommes concentrés sur le cas concret de la réhabilitation du Château de Celeyran. Nous avons réalisé une STD sur l'ensemble du bâtiment ce qui nous a permis de réaliser certains choix constructifs en matière d'isolation par exemple. Puis, nous avons démarché des entreprises spécialisées dans l'épuration d'effluents vinicoles concernant de nouvelles techniques d'épurations dites écologiques permettant de traiter les effluents à l'aide de plantes tels que le roseau et le bambou. A l'aide de la bibliographie, ainsi que de l'expérience de ces entreprises nous avons pu proposer certaines solutions innovantes au maître d'ouvrage.

Enfin, nous avons dû lister l'ensemble des consommations énergétiques du site de Celeyran jour par jour sur une année. Pour cela, nous avons évalué l'utilisation de chaque appareil au cours de l'année ainsi que les besoins en froid et chaud de la cave et des bureaux. En prenant en compte les données d'ensoleillement du site, cela nous a permis de dimensionner une taille de centrale photovoltaïque adaptée à la future consommation du château. Enfin, nous avons calculé la rentabilité de cette installation à long terme.

I) Introduction à l'éco-conception

Dans cette partie nous allons présenter les notions d'éco-conception à une échelle globale de la production industrielle française.

1.1) Notions de développement durable

1.1.1 Bases socio-économiques du concept

Le terme d'éco-conception rentre dans le cadre du développement durable. Ce terme traduit de l'anglais : « sustainable development » a été inventé par Gro Harlem Brundtland en 1987 [1] : « le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ». Ce terme est donc en lien direct avec les concepts de croissance économique verte qui a pour but sur un long terme de respecter les trois piliers du développement durable : les côtés sociaux, économiques et écologiques définis en 1992 lors du sommet de la Terre à Rio.

L'éco-conception est donc portée par les trois piliers du développement durable. Au sein de cet exposé nous allons surtout nous intéresser au côté écologique de celui-ci.

1.1.2 Politique française en matière de développement durable

a) Les instances chargées de la transition énergétique

Le CNTE (Conseil National de la Transition Ecologique) [2] est chargé par le ministère de l'écologie de mettre en place depuis 2015 la SNTEDD, « Stratégie Nationale de Transition Ecologique vers un Développement Durable ». Elle consiste à élaborer une stratégie à long terme de l'État français pour réduire son impact sur le réchauffement climatique et le maintenir sous la barre des 1.5°C, mais aussi de réduire la nuisance des activités françaises sur la faune, la flore et plus généralement sur les écosystèmes.

Tableau 1 : Indicateurs de la stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable.

Changement climatique	Perte accélérée de biodiversité	Raréfaction des ressources	Risques sanitaires environnementaux
Emissions de gaz à effet de serre sur le territoire national	Artificialisation des sols	Consommation intérieure de matières	Evolution de l'indice de pollution de l'air en milieu urbain
Empreinte carbone de la demande finale intérieure	Evolution des populations d'oiseaux communs spécialistes	Consommation d'énergies fossiles	Evolution de l'indice de pollution des cours d'eau
Evolution de la température en France	Consommation de produits phytosanitaires	Prix des matières premières pétrole et gaz	
Evolution de la concentration en carbone de l'atmosphère	Etat de conservation des habitats naturels	Evolution de la part du territoire occupé par des sols artificiels	
Logements et population en basse littorale (exposés à des risques de submersion)	Proportions d'espèces éteintes ou menacées	Qualité des eaux souterraines	
Montant indemnisations versées par les assurances au titre de catastrophes naturelles	Etat de santé des récifs coralliens	Qualité des eaux de surface	
Evolutions du nombre d'évènements naturels graves		Population exposée à la vulnérabilité énergétique	

Légende : Evolution Positive, stagnante et régression de l'indicateur

b) Les signes indicateurs écologiques

Cette stratégie a identifié quatre enjeux : le changement climatique, la perte accélérée de biodiversité, la raréfaction des ressources et les risques environnementaux. Pour répondre à ces enjeux le ministère propose des actions et leviers afin que les citoyens et entreprises s'engagent dans la voie de la transition écologique. Tous ces enjeux sont quantifiés par des indicateurs. (Tableau 1)

1.2) Notions générales d'écoconception

1.2.1 Définition de l'ADEME

D'après l'ADEME l'éco-conception : « C'est une démarche préventive et innovante qui permet de réduire les impacts négatifs du produit, service ou bâtiment, sur l'environnement tout au long de son cycle de vie (Analyse du Cycle de Vie), tout en conservant ses qualités d'usage. »

Comme nous l'avons vu, l'éco-conception fait partie intégrante du développement durable, car cela consiste à concevoir donc créer ou réhabiliter un produit de la manière la plus écologique possible. C'est une approche préventive centrée sur le produit qui permet de diminuer l'impact de la construction et de l'utilisation du produit sur l'environnement. Ce concept est présent dans l'ensemble des secteurs de l'industrie tel que l'automobile, l'électronique, l'aéronautique et la plupart des produits de grande consommation (Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2016).

Nous allons plus particulièrement nous intéresser au concept d'éco-construction ou éco-rénovation lors de la réhabilitation ou construction de bâtiments et plus particulièrement sur les bâtiments techniques vinicoles.

Le concept d'éco-construction n'a pas de définition officielle. C'est une démarche environnementale qui va de la construction ou rénovation d'un bâtiment jusqu'à sa déconstruction. Au sein de ce concept il faut distinguer trois grandes parties :

- Les travaux de rénovation ou construction, qui correspondent aux choix des matériaux et de leur provenance, mais aussi à la réduction des déchets
- La vie du bâtiment lors de son utilisation : diminution des consommations en énergie et en eau, qualité de l'air, confort des occupants
- La fin de vie du bâtiment prend en compte la durée de vie du bâtiment, mais aussi le recyclage des matériaux après une réhabilitation ou une déconstruction

1.2.2 Intérêt politique et économique de l'éco-conception

L'éco-conception est également un enjeu concurrentiel pour les entreprises. C'est une source d'innovation et la plupart des services R&D (recherche et développement) travaillent dessus. Cela donne une plus-value à l'entreprise et lui permet de remporter de nouveaux marchés. D'un point de vue marketing ce concept est donc primordial dans toutes les entreprises de construction.

1.2.3 ACV : Notion de cycle de vie

L'analyse du cycle de vie est une méthode d'évaluation normalisée permettant de réaliser un bilan environnemental multi-critères et multi-étapes d'un système (produit, service, entreprise ou procédé) sur l'ensemble de son cycle de vie. Selon les normes ISO 14040 et ISO 14044 celle-ci se déroule en quatre étapes [3]:

- Définition des objectifs et du champ de l'étude
- Inventaire de cycle de vie
- Evaluation des impacts
- Interprétation des résultats obtenus en fonction des objectifs retenus

a) Application aux bâtiments

L'analyse du cycle de vie (ACV) est aujourd'hui un des meilleurs moyens pour estimer la cohérence d'un projet dans le bâtiment. Elle permet de comparer différentes techniques constructives, différents matériaux et leurs impacts sur l'environnement, de leur fabrication jusqu'à leur destruction ou recyclage.

Cet outil est très prometteur pour l'avenir car il pourra donner une vue d'ensemble de l'impact d'un chantier et l'impact général qu'aura un bâtiment sur son territoire.

b) ACV des matériaux : les fiches FDES

Depuis 2004, il existe une base de données nommée INIES qui permet aux professionnels du secteur de référencer leur produit en donnant l'ACV globale de la production de leur produit à travers les fiches FDES (Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire).

Une FDES est un document normalisé qui présente les résultats de l'Analyse de Cycle de Vie d'un produit ainsi que des informations sanitaires dans la perspective du calcul de la performance environnementale et sanitaire du bâtiment pour son éco-conception.

c) Les indicateurs des impacts environnementaux pris en compte dans l'ACV

En sortie de base de données, nous obtenons l'impact que la production de ce matériel a pour l'environnement suivant différents indicateurs :

- Indicateurs de l'énergie :
  - Utilisation d'énergie renouvelable
  - Energie non-renouvelable
- Indicateurs d'économie circulaire :
  - Epuisement des ressources abiotiques fossiles
  - Déchets dangereux en décharge
- Indicateurs GES (Gaz à effet de Serre) :
  - Réchauffement climatique (GWP) en kg équivalent CO_2
- Indicateurs en lien avec la biodiversité :
  - Appauvrissement de la couche d'ozone
  - Acidification des sols et de l'eau
  - Eutrophisation
  - Formation d'ozone photochimique
  - Pollution de l'air et de l'eau
  - Utilisation nette d'eau douce

Ces deux derniers indicateurs sont les plus importants lors de l'éco-conception d'un bâtiment, ils sont disponibles en ligne sur la base de l'INIES pour chaque produit référencé.

1.2.4 Les labels liés à l'éco-conception

La législation française, à travers de nouvelles normes environnementales (tel que les ICPE : Installation Classées pour la Protection de l'Environnement) oblige les grandes entreprises à construire des bâtiments respectueux de l'environnement, cependant ces normes ne sont parfois pas suffisantes. Les avancées d'aujourd'hui seront obsolètes demain, il est donc important que chaque entreprise soit en perpétuelle innovation et améliore ses différents indicateurs de performances écologiques et sociales.

Afin d'accélérer ce mouvement des normes/certifications ont été créé pour donner un atout aux entreprises vertueuses lors de la construction d'un bâtiment. Il existe différentes normes d'état ISO 26000, ISO 14001, certification d'état tel que HQE et E+/C-. Il existe également des certifications plus locales telle que la certification BDO (Bâtiments Durables Occitanie). Et certaines connues à l'internationale telle que LEED aux États-Unis et BREEAM en Angleterre.

Toutes ces certifications sont accordées d'après différents critères d'efficacité énergétique, de respect de l'environnement et permettent à l'entreprise d'obtenir un avantage compétitif lors de la construction d'un bâtiment.

II) Eco-conception appliquée aux bâtiments vinicoles

2.1) Les points de leviers sur lesquels jouer pour l'amélioration des bâtiments vinicoles

Dans une démarche continuelle d'amélioration des systèmes, nous pouvons lister différents points sur lesquels nous pouvons améliorer les pratiques existantes dans la construction de chais vinicoles. Ces points sont ancrés dans le concept d'écoconception et participent au développement durable de la filière vinicole en France.

Points d'améliorations lors de la construction :

- Lieu d'implantation, orientation du bâtiment
- Matériaux utilisés
- Gestion des déchets
- Utilisation d'eau
- Transport des matériaux de construction
- Terrassement

Points d'amélioration lors de l'utilisation du site :

- Utilisation de l'énergie
- Utilisation de l'eau et bonne gestion des effluents
- Facilité d'utilisation des outils de production
- Facilité d'entretien sur moyen/long terme
- Gestion de l'insonorité du matériel
- Gestion des déchets

Nous avons plus particulièrement développé deux points très importants que sont l'utilisation de l'énergie et la gestion des effluents qui sont deux piliers à améliorer continuellement.

2.2) De la consommation en eau à la production des effluents

2.2.1 La consommation en eau

La consommation en eau d'un bâtiment viti-vinicole est très importante. Selon les caves cette consommation peut varier avec un coefficient de 100, comme on peut le voir sur l'étude du BIVB [4]. Pour comparer les caves entre elles nous réalisons le ratio volume d'eau consommé sur quantité de vin vinifié. Il est cependant délicat de comparer différentes caves qui n'ont pas les mêmes méthodes de vinification, les mêmes temps d'élevage et les mêmes techniques de vendange. On peut prendre comme exemple la machine à vendanger qui demande presque 3000 litres d'eau pour son nettoyage, chaque jour.

Cependant nous pouvons estimer la consommation en eau d'un site de vinification de 0,8 à 1,2 l d'eau par litre de vin vinifié (Racault et al [5]). Cette valeur sera différente si le site ne fait pas que de la vinification mais aussi du négoce ou de la mise en bouteille.

Il existe beaucoup de points à prendre en considération lors de la conception d'un projet pour diminuer les consommations en eau. Par exemple la pente des sols doit être entre 2 et 3% pour faciliter l'évacuation de l'eau et faciliter le nettoyage, les cuves en inox doivent être en recuit brillant pour faciliter le nettoyage, les robinets doivent être munis d'un arrêt automatique. La pression de l'eau dans la cave est également importante, plus elle est importante, moins l'opérateur utilisera de l'eau au quotidien. Il est également important de prévoir des surpresseurs à eau chaude pour le nettoyage du sol et matériel de cave. En conclusion, toute l'ergonomie de la cave doit être pensée pour utiliser le moins d'eau possible.

2.2.2 La gestion des effluents

Le volume des effluents de cave est calqué sur le volume de consommation en eau des bâtiments. Ces effluents sont caractérisés par différents indicateurs dont les plus importants, dans le domaine vinicole, sont :

- La Demande Chimique en Oxygène (DCO) : correspondant à la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation de toute la matière organique présente dans les effluents

Tableau 2 : Seuil de rejet à l'état naturel d'effluent provenant de cave vinicole soumise à enregistrement

	Direct dans la nature	Après traitement (si efficacité 90-95%)
MES	35 mg/l	100 mg/l
DBO_5	30 mg/l	100 mg/l
DCO	125 mg/l	300 mg/l

- La Demande Biologique en Oxygène (DBO_5) : correspondant à la quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation de la matière organique par voie biologique (biodégradable), calculée au bout de 5 jours à 20°C
- Les Matières en suspensions (MES) : correspond à l'ensemble des matières insolubles en suspension dans l'effluent

La charge des effluents dépend des pratiques œnologiques et des caractéristiques techniques de la cave. Il est donc assez difficile de quantifier leur charge.

a) Réglementation sur la gestion des effluents vinicoles

La gestion des effluents et régie par l'ICPE (Installation classée pour la Protection de l'Environnement) 2251: « Préparation, conditionnement des vins » en fonction du volume de vin traité/vinifié sur site.

La cave n'est pas soumise à la même réglementation :

- > 500 000 hl/an cave soumise à autorisation
- 20 000hl à 500 000 hl/an cave soumise à enregistrement
- 500 à 20 000 hl/an cave soumise à déclaration
- < 500 hl/an pas de réglementation mais doit respecter la loi sur l'eau

L'exemple que nous prendrons par la suite relève des caves soumises à enregistrement.

Il existe différentes techniques pour traiter ses effluents : évaporation, épandage, digestion anaérobique, digestion aérobique par des bactéries. De plus les effluents peuvent être stockés puis envoyés par camion-citerne dans des centres de traitements.

i) Concernant les rejets dans la nature :

Après traitement de la matière organique, les effluents peuvent légalement être rejetés dans le milieu naturel, les taux de matière organique et de matière en suspension ne doivent cependant pas dépasser certains seuils [13]. (Tableau 2) De plus, je ne l'ai pas détaillé dans ce document, mais il y a également des réglementations quant à la concentration en azote, métaux lourds (cuivre, zinc, etc.) et d'autres composés organiques qui posent souvent peu de problème dans les effluents de caves (à l'inverse des effluents émanant du nettoyage du matériel de traitement de la vigne qui sont de nature très différente).

i) Concernant l'épandage :

L'épandage consiste à épandre les effluents sans traitement préalable directement dans les champs. Il peut y avoir un dégrillage pour enlever les particules les plus grosses et un bassin de stockage tampon en amont de l'épandage. Pour épandre il faut tenir un cahier d'épandage et respecter les réglementations en vigueur. Il est interdit d'épandre dans les vignes pendant la période végétative. La plupart du temps les viticulteurs épandent dans les champs en jachère autour de leur parcellaire soit avec des tonnes à lisier soit avec des canons d'aspersion.

Il est dit dans l'ICPE 2251 [6] que l'épandage des déchets et effluents est autorisé si les limites suivantes sont respectées :

- Azote total inférieure à 10 t/an
- Volume annuel inférieur à 500 000 m3/an
- DBO5 inférieur à **5 t/an.**

(On souligne que la valeur de 5t/an semble incohérente. En effet pour une telle valeur, une cave produisant 500 000 m3/an d'effluents devrait épandre des effluents ayant une DBO5 inférieure à 10 mg/l ce qui est 10 fois moins que la valeur demandée pour rejeter l'effluent en milieu naturel).

i) Réglementation quant à la réutilisation des eaux traitées pour irriguer la vigne

Aucune étude n'a été réalisée en France quant à la réutilisation d'eau traitée vinicole pour l'irrigation des vignes. Il existe aujourd'hui des projets dans le sud de la France, autour de Narbonne et Montpellier, pour la réutilisation d'eaux usées issues de stations d'épuration tel que le projet « Irri Alt'eau » qui permet à la cave de Gruissan d'irriguer ses vignes avec les eaux usées de la station d'épuration de Narbonne-Plage [4] sous le couvert d'expérimentations de l'INRA Puech Rouge. D'après les premières conclusions de ces essais, il y a très peu d'impact au niveau œnologique et agronomique d'une telle pratique. Ils observent seulement qu'au cours du temps il faut faire attention à l'augmentation de la salinité du sol.

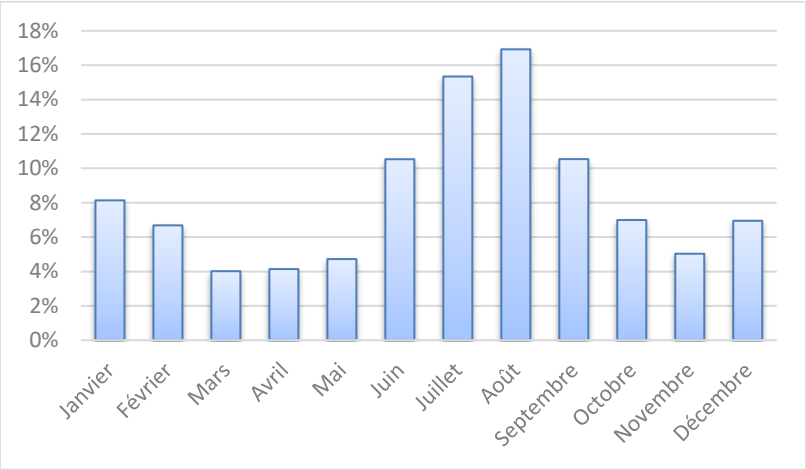


Figure 1 : Consommation moyenne d'électricité par mois d'un site de négoce

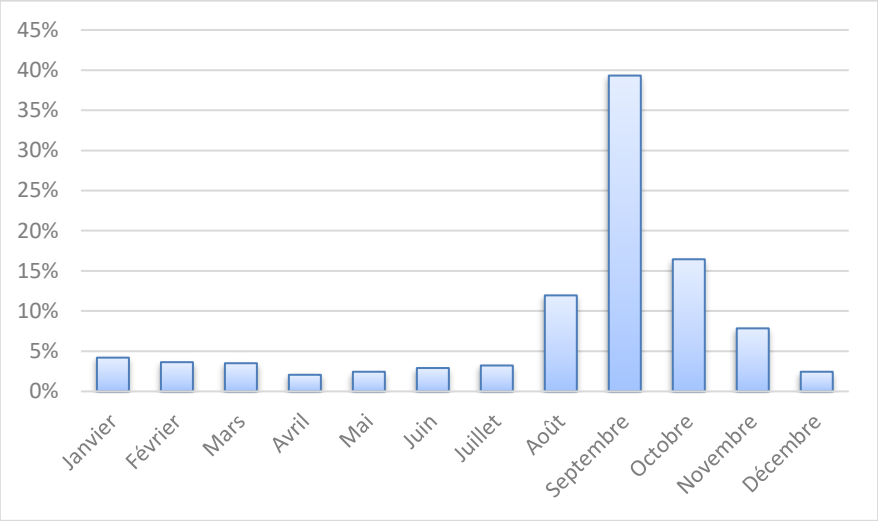


Figure 2 : Consommation moyenne d'électricité par mois d'un site de vinification

Il existe déjà des essais à l'étranger, en Afrique du Sud [7] en Australie [8] et en Californie dans la propriété Francis Ford Coppola sur la réutilisation des eaux traitées. D'après Howell et al, (2014) [7], l'irrigation ne pose aucun problème sur le vin si les effluents ont une concentration en DCO inférieure à 3g/l. Cependant une irrigation intensive et toujours au même endroit d'effluents chargés en K+ peut avoir un effet négatif sur les propriétés du sol.

Pour le moment il n'existe pas de réglementation concernant la réutilisation des effluents vinicoles après traitements. La réglementation que nous avons suivie concernant la qualité des eaux d'irrigation issues de stations d'épuration est l'arrêté du 25 juin 2014, relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration et des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts [9]. D'après cette réglementation la vigne doit être irriguée avec des eaux de qualité B (annexe 1). Concernant les matières en suspension et la DCO les eaux de qualité B doivent être conformes à la réglementation des rejets d'eaux usées traitées. Soit au tableau 2 ci-dessus, il faut être plus attentif cependant à la quantité d'Escherichia coli (< 10 000 UFC/100ml), aux entérocoques fécaux, aux phages ARN F-spécifiques et aux spores de bactéries anaérobies sulfitoréductrices (annexe 2). Il est dit dans ce document que des analyses des effluents traités irrigués devront être faites toutes les deux semaines pour des eaux de qualité B.

Il est donc légalement possible d'irriguer les vignes avec les eaux d'épurations traitées, uniquement lors des périodes d'autorisation d'irrigation.

2.1) De la production à la consommation en énergie

2.3.1 L'autoconsommation d'énergie

L'implantation de panneaux solaires sur un site à visée écologique semble une évidence. Ce moyen de production d'électricité est de plus en plus développé en France car de plus en plus rentable. De plus il fait partie des moyens pour attendre l'objectif de 50% d'énergie renouvelable en France à l'horizon 2025 (Accord de Paris).

L'ensemble des caves vinicoles ne sont pas propices à l'autoconsommation de leur production photovoltaïque. L'avantage d'une cave ayant une activité de négoce, qui achète du vin en vrac tout au long de l'année, est la constance des consommations électriques au cours de l'année avec une légère augmentation en été avec les besoins en froid de la cave (figure 1). A contrario une cave classique de vinification aura une consommation très forte durant les vendanges et beaucoup plus faible le reste de l'année (figure 2), il n'est donc pas recommandé d'installer un équipement en autoconsommation.

L'autoconsommation d'énergie est permise en France depuis juillet 2017 [10], dans le cas d'une cave réalisant du négoce, nous avons choisi d'étudier cette solution plutôt que la revente d'énergie car elle est plus rentable pour le client, plus simple à mettre en place car il n'y a pas besoin de passer d'appel d'offre auprès d'EDF.

L'objectif de l'autoconsommation est de maximiser le taux d'autoconsommation et le taux d'autoproduction et de minimiser la quantité d'énergie écrêtée.

$$Taux\ d'Autoconsommation = \frac{Production\ photovoltaïque\ consommée\ par\ le\ batiment}{Production\ photovoltaïque\ totale}$$

$$Taux\ d'Autoproduction = \frac{Production\ photovoltaïque\ consommée\ par\ le\ batiment}{Consommation\ totale\ du\ site}$$

$$Quantité\ d'énergie\ écrêtée = Quantité\ d'énergie\ perdue\ par\ le\ système$$

Pour estimer le nombre de panneaux photovoltaïques optimal d'un site, nous avons besoin de connaître la consommation du site au cours de l'année, ainsi que la production photovoltaïque moyenne aux coordonnées GPS de la cave.

Tableau 3 : Estimation de la consommation d'électricité par poste en fonction de la quantité de vin produit

Caractéristique du site	Vinification	Négoce/Stockage	Mise en bouteille
Consommation électrique en kWh/hl/an	5 - 20	1,5	3

2.3.2 Méthodologie pour estimer la consommation électrique d'un bâtiment

a) Estimation globale obtenue grâce à un questionnaire envoyé à différentes caves

La consommation électrique d'une cave est assez difficile à estimer, il existe quelques études comme celle réalisée dans le vignoble bourguignon [11] qui montrent une extrême variation de consommation en énergie entre les caves. En moyenne sur l'année, certaines caves consomment aux alentours de 5 kWh/hl alors que d'autres peuvent en consommer 350 kWh/hl. Cette variation est due à la qualité de conception du bâtiment, de son âge, de la région viticole mais aussi aux méthodes de vinification et d'élevage du vin au sein de cette cave. Il est en effet compréhensible qu'une même cave située en Provence ou dans le bordelais n'ait pas la même consommation en froid l'été.

Pour affiner nos données, nous avons demandé, au sein des clients de SICOE, la consommation en énergie de différentes caves récemment construites. En compilant les données de ces caves nous obtenons une estimation de la consommation électrique de chaque atelier en kWh/hl/an. Il a été décidé de séparer les activités d'une cave en 3 parties, la partie vinification qui correspond à la plus grosse demande d'énergie, la partie négoce qui correspond à l'achat, traitement des vins et revente et la partie mise en bouteille, qui est un poste non négligeable pour les caves ayant une grosse activité de mise en bouteille. (Tableau 3)

b) Estimation au cours de l'année en additionnant la consommation de chaque appareil

Pour obtenir la consommation électrique d'un bâtiment au cours de l'année il faut déterminer le moment et la durée de fonctionnement de chaque appareil. Puis il faut multiplier par la puissance électrique absorbée par cet appareil. Pour déterminer au plus juste le nombre de panneaux photovoltaïques nécessaires à l'autoconsommation maximale du bâtiment (le meilleur taux d'autoconsommation et d'autoproduction) il faudrait obtenir une consommation sur un pas de 10 min. Cependant il est très compliqué d'estimer le moment d'utilisation d'un appareil au cours d'une journée c'est pourquoi lors d'une construction il est plus simple d'estimer la consommation électrique sur le pas d'une journée.

III) Un exemple concret : La réhabilitation écologique du domaine de Celeyran

3.1) Présentation du projet

3.1.1 Le domaine d'étude

Le domaine de Celeyran situé à Salles d'Aude (11) a été racheté par l'entreprise Gérard Bertrand en mai 2019. Ce domaine d'une centaine d'hectares est composé d'un grand château, d'une écurie ainsi que d'une ancienne cave. Les terrains agricoles entourant les bâtiments sont pour la moitié plantés en vigne et le reste est en jachère. Gérard Bertrand a une forte sensibilité pour la viticulture biologique/biodynamique, c'est l'un des pionniers de ce secteur sur le marché du négoce français, c'est pourquoi, il souhaite créer une ferme écologique sur ce domaine.

La réhabilitation de la partie cave est un projet où SICOE et l'agence AD Architecture travaillent en binôme en tant que maîtres d'œuvre pour le compte de Gérard Bertrand. Cette cave n'est plus exploitée depuis une trentaine d'années, elle fait 180m de long et comporte 142 cuves béton d'une moyenne de 300 hl de volume. L'ensemble est pour le moment en très mauvais état.

La cave rénovée sera essentiellement pour le négoce, elle permettra de désengorger d'autres sites de Gérard Bertrand et d'économiser la location d'espaces de stockage dans d'autres caves. La cave de Celeyran aura pour but de traiter 200 000 hl de vin par an (filtration, stabilisation), avant la mise en bouteille sur un autre site, il y aura également une partie vinification de l'ordre de 10 000 hl par an et un espace d'élevage d'environ 3000 barriques.

Le client souhaite créer une ferme écologique sur ce site. Dans cette optique, avec le groupe d'étudiants en architecture ainsi qu'avec l'aide d'entreprises externes mandatées par SICOE, nous allons réfléchir à comment réhabiliter ce site de la manière la plus écologique possible sans toutefois proposer des solutions économiquement inconcevables.

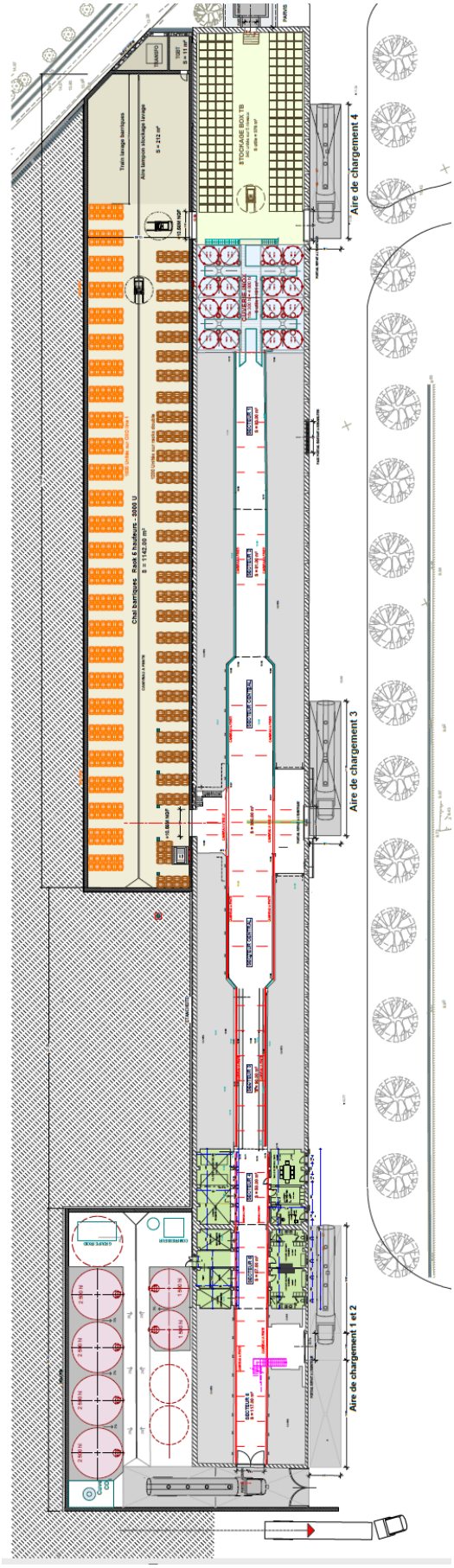


Schéma 2 : Plan d'implantation de Celeyran au 10 juin 2019

3.1.1 Présentation de la SICOE

La SICOE, Société d'Ingénierie et Conseil Œnotechnique, est une entreprise créée il y a 30 ans par M. Nicolas Dornier. C'est un bureau d'étude spécialisé dans la maîtrise d'œuvre en bâtiments viti-vinicoles mais qui s'ouvre également à d'autres process agroalimentaires tel qu'une usine de chocolat et une usine de confection de bouchons Diam à Perpignan. L'entreprise accompagne des responsables d'exploitations, appelés maîtres d'ouvrage, du début à la fin de leur projet. Sur la plupart des projets, l'entreprise travaille avec un cabinet d'architecture, ce cabinet est responsable de la partie bâtiment et la SICOE de la partie process.

Les missions de la SICOE sont assez variées : audit, rédaction des aides France AgriMer, rédaction de cahiers des charges, planification des travaux et suivi de chantier.

A chaque projet de réhabilitation/construction/extension, la SICOE réalise un chiffrage d'avant-projet, puis dessine les plans en accord avec les attentes du maître d'ouvrage. Une fois les attentes du client intégrées, la SICOE réalise le cahier des charges pour chaque lot de la construction.

Un lot correspond aux capacités de réalisations d'une entreprise. Il y a par exemple le lot électricité, le lot maîtrise des températures, le lot passerelles, le lot tuyauterie, le lot réception, vendange… Ces cahiers des charges sont ensuite envoyés à différentes entreprises choisies par le maître d'ouvrage pour les mettre en concurrence et négocier le meilleur prix auprès des entreprises. Une fois les entreprises choisies par le maître d'ouvrage, la SICOE et l'entreprise d'architecture travaillent de concert pour réaliser le plan d'exécution du bâtiment.

La SICOE peut également être investie par un domaine en tant que bureau d'étude process, dans ce cas-là ils ne sont pas maître d'œuvre mais apportent leurs conseils au client au niveau de toute l'ingénierie autour du process vinicole voir agroalimentaire. L'entreprise composée de 7 personnes est basée à Perpignan dans les Pyrénées-Orientales, mais possède des clients dans toute la moitié sud de la France, de l'Ile de Ré jusque dans le Beaujolais.

Dans l'ensemble de ces projets, la SICOE souhaite apporter au client un travail en adéquation avec ses valeurs. Depuis 30 ans l'entreprise souhaite construire des chais durables, construits pour économiser un maximum d'eau, d'énergie et de matières premières et ayant donc le plus faible impact possibles sur la planète.

Dans le cas d'une nouvelle construction ou d'une réhabilitation, c'est au maître d'ouvrage de choisir les typicités du nouveau bâtiment. C'est donc à lui, avec l'aide des conseils du maître d'œuvre, de définir un cahier des charges environnementales. Le bâtiment devra respecter les réglementations en vigueur mais le maître d'ouvrage peut pousser le concept plus loin s'il veut des performances environnementales et écologiques plus poussées. Il est donc important que le maître d'œuvre, en l'occurrence la SICOE, soit au fait des dernières avancées technologiques et conseille au maître d'ouvrage les techniques de construction les plus neutres pour l'environnement, tout en indiquant les différences budgétaires.

3.1.2 Workshop autour de l'écoconception en vue du SITEVI

Un workshop, constitué de 4 étudiants de l'école d'architecture de Montpellier, de membres de la SICOE, de l'agence AD architecture, de l'entreprise CITE (spécialisé en étude thermique) et d'un étudiant de Sup Agro Montpellier (moi-même) a été organisé sur plusieurs rencontres entre janvier et septembre 2019. Ce workshop est basé sur des recherches et discussions autour de l'éco-conception de chai vinicole. Nous avons tous ensemble travaillé sur ce sujet pour y dépister des sources d'amélioration et d'enrichissement pour les professionnels du bâtiment et plus précisément la construction/rénovation de cave vinicole.

L'objectif final de ce workshop, donc de notre stage, est une conférence lors du SITEVI qui se tiendra à Montpellier du 26 au 28 novembre 2019. Lors de cette conférence nous devrons, avec les étudiants de l'école d'architecture, exposer le travail réalisé durant cette année et engager un débat avec l'auditoire. Ce travail n'a pas pour but d'être exhaustif mais il se veut instructif pour l'ensemble d'un public novice en matière d'éco-conception de chai.

3.1.3 Choix des axes de travail

La cave de Celeyran ne sera pas une cave de vinification comme les autres, c'est une cave qui aura essentiellement une activité de négoce, ce qui lui conférera des particularités intéressantes, par exemple, une consommation d'électricité et une production d'effluents homogène sur l'ensemble de l'année d'où le choix du

Tableau 4 : Répartition de la production d'effluents dû aux vinifications au cours de l'année

Mois	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Totale
Pourcentage de la production par mois	4%	4%	4%	4%	4%	4%	4%	13%	25%	11%	11%	11%	**100%**
Production effluents vinifications (m^3/mois)	**42**	**42**	**42**	**42**	**42**	**42**	**42**	**125**	**250**	**111**	**111**	**111**	**1000**

Tableau 5 : Répartition des volumes d'effluents au cours de l'année du domaine de Celeyran

Mois	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Totale
Production effluents négoce (m^3/mois)	583	583	583	583	583	583	583	583	583	583	583	583	**7000**
Production effluents vinifications (m^3/mois)	42	42	42	42	42	42	42	125	250	111	111	111	**1000**
Total effluents (m3/mois)	**625**	**625**	**625**	**625**	**625**	**625**	**625**	**708**	**833**	**694**	**694**	**694**	**8000**
Nombre de jours de production/mois	21	21	21	21	21	21	21	25	27	25	21	21	
Quantité d'effluents par jours en (m^3/j)	**30**	**30**	**30**	**30**	**30**	**30**	**30**	**28**	**31**	**28**	**33**	**33**	

Tableau 6 : Charge des effluents en fonction de leur provenance

Charges en mg/l	Traitement des vins (négoce)	Vinifications
DCO	10000	13000
DBO_5	6500	10000
MES	400	800

Tableau 7 : Répartition de la charge des effluents au cours de l'année du domaine de Celeyran

Mois	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Total/ an
Production effluents négoce (m^3/jour)	28	28	28	28	28	28	28	23	**22**	23	28	28	**7000**
Production effluents vinifications (m^3/jour)	2	2	2	2	2	2	2	5	**9**	4	5	5	**1000**
DCO en kg/jour	306	306	306	306	306	306	306	298	**336**	291	347	347	**83000**
DBO5 en kg/jour	202	202	202	202	202	202	202	203	**233**	196	233	233	**55500**
MES en kg/jour	13	13	13	13	13	13	13	13	**16**	13	15	15	**3600**

photovoltaïque en autoconsommation. De plus la réhabilitation d'un tel ensemble impose des choix au niveau des matériaux de construction et des choix techniques concernant la gestion de l'ambiance thermique du bâtiment ou la rénovation des cuves.

Dans cette optique nous avons donc choisi de nous intéresser dans un premier temps à deux techniques innovantes de gestion des effluents, puis à la réalisation d'une STD (Simulation Thermique Dynamique) et enfin plus particulièrement à l'autoconsommation d'électricité.

3.2) La gestion des effluents : de nouvelles techniques innovantes

3.2.1 Estimation du volume annuel d'effluents

La cave de Celeyran traitera tout au long de l'année 200 000 hl de vin dans une partie négoce et vinifiera aux alentours de 10 000 hl. L'enjeu de cette partie est d'estimer la production journalière d'effluents pour dimensionner la station de traitement.

En moyenne durant la vinification, on observe que la quantité d'effluents produits est entre 0,8 et 1,2 l d'effluent/l de vin vinifié (ce qui correspond, logiquement à la consommation en eau du bâtiment) [5]. Nous estimons la production d'effluents, due à la partie vinification, à 1000 m^3/an. La répartition par mois de la quantité d'effluents produits par les vins vinifiés qui correspond aux activités de réception de vendanges, nettoyages, soutirages a été faite comme présentée sur le tableau 4 et 5.

Pour la partie négoce, il est plus compliqué d'estimer la quantité d'effluents produits à l'année. Cette production correspond à l'ensemble du nettoyage des cuves, filtres tangentiels, sols et autres équipements utilisés dans le traitement des vins. Ces volumes d'effluents dépendent fortement de la charge des vins. Nous avons donc pris une production d'effluents de 7000 m^3/an qui correspond à la production d'un autre site de négoce de Gérard Bertrand, équivalent en volume. Nous considérons que cette production est constante au cours de l'année.

3.2.1 Estimation de la charge organique des effluents

En recoupant les données de diverses publications [5], [12] ainsi que d'anciennes analyses réalisées par le responsable qualité de Gérard Bertrand sur un site similaire en production, nous avons pu estimer la charge en matière organique des différents effluents. Ces charges seront à vérifier une fois que le site sera entré en production. (tableau 6)

A l'aide de ces différents tableaux, nous pouvons en déduire des flux journaliers de matière organique et de MES théorique. Pour dimensionner la nouvelle station d'épuration nous prenons alors en compte le jour maximal de rejet qui se trouve en septembre. (tableau 7).

Pour un jour du mois de septembre nous obtenons une concentrations de DCO théorique en sortie de cave de **336/(22+9)= 10,8 kg/m^3 soit 10 800 mg/l**. Avec un même raisonnement, on aura théoriquement en sortie des effluents à 7 500 mg/l de DBO_5 et 516 mg/l de MES. Pour respecter les réglementations de rejet en milieu naturel, d'après l'ICPE 2251, il faut donc avoir une efficacité de traitement d'au moins 99% de matière organique.

A la différence de domaines vinicoles classiques ce domaine aura une production d'effluents presque constante tout au long de l'année. L'enjeu est de trouver une méthode d'épuration capable de traiter de grands apports de matière organique de manière constante tout au long de l'année. Il existe de nombreuses techniques d'épurations différentes. Pour restreindre le choix des techniques nous avons pris en compte deux facteurs :

- L'utilisation énergétique : de nombreuses techniques de traitement sont énergivores (par exemple le bassin d'aération, qui consomme presque 100 kWh par jours pour aérer et brasser les effluents afin d'améliorer le fonctionnement des bactéries).
- L'odeur de la station d'épuration : la cave se trouvant à proximité d'un village et voulant accueillir à terme des visiteurs sur la partie château, le maître d'ouvrage nous a demandé de trouver des techniques d'épuration n'émanant pas de fortes odeurs.

Le maître d'ouvrage voulait une technique n'émettant quasiment pas d'odeurs et consommant peu d'électricité, c'est pourquoi nous nous sommes intéressés à l'épandage sur bambouseraie et au lit planté de roseaux sur zéolithe.

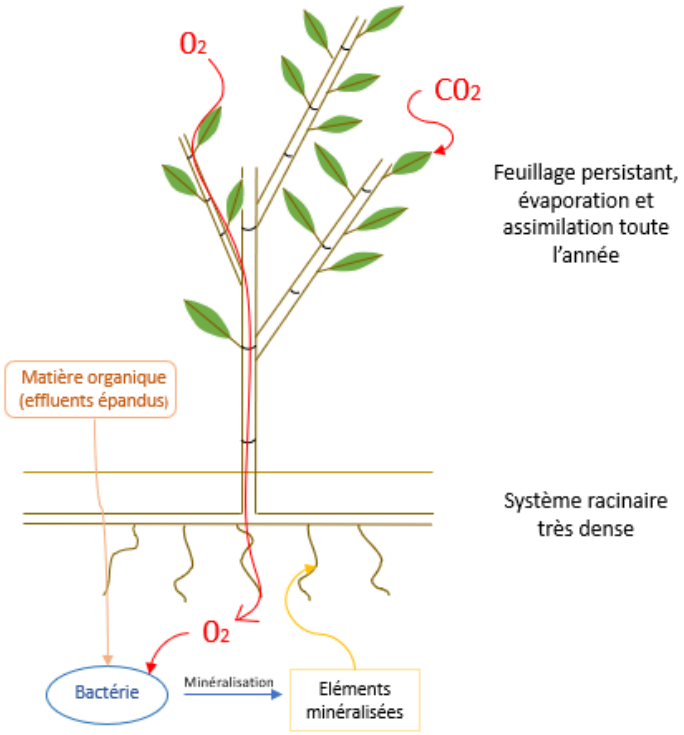


Schéma 3 : Fonctionnement d'un bambou lors de l'épuration

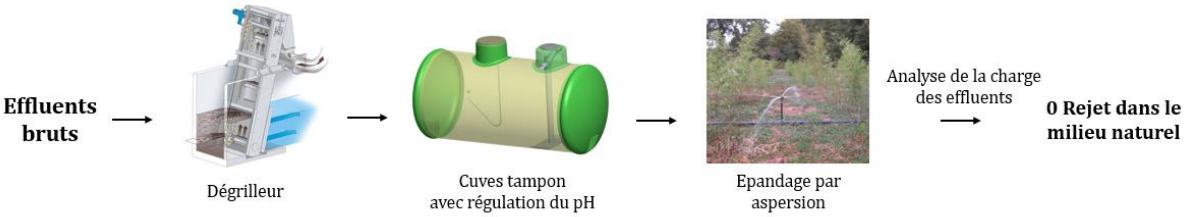


Schéma 4 : Schéma de fonctionnement d'une bambouseraie

3.2.2 La bambouseraie : aucun rejet dans la nature et production de biomasse

a) Fonctionnement

La Bambouseraie est une technique de phytoépuration (épuration par les plantes) en voie de développement en France et qui est davantage connue à l'étranger. Nous avons étudié ce principe de gestion des effluents avec l'aide de l'entreprise « Bamboo For Life », basée à Miramas (13).
Cette technique est relativement simple et se décompose en quatre étapes :

- Dégrillage des effluents à 1 mm
- Capacité de stockage des effluents sur une semaine dans des cuves tampons
- Epandage des effluents stockés sur des bambous
- Vérification de la qualité de l'eau à 1 m de profondeur par des drains collecteurs

Cette technique n'a pas de sortie d'eau traitée. L'ensemble des effluents traités sont utilisés par la plante et l'eau restante, non utilisée, percole dans le sol. Il est donc nécessaire d'analyser cette eau à l'aide des drains pour observer sa qualité à 1m de profondeur.

Cette technique d'épuration repose sur les caractéristiques physiologiques des bambous. Ce sont des espèces végétales ayant une croissance végétative tout au long de l'année, donc capables d'utiliser rapidement la matière minérale et l'eau présente dans le sol. Le chevelu racinaire du bambou est très dense et permet une bonne aération du sol. Cela favorise l'infiltration de l'eau, donc des effluents épandus par aspersion, et aussi le développement de bactéries aérobies permettant la consommation de la matière organique présente dans ces effluents. De plus le bambou, comme le roseau, augmente la concentration en oxygène dans le sol par un flux d'oxygène allant des feuilles aux racines. (Schéma 3)

a) Dimensionnement de la bambouseraie

Pour dimensionner une bambouseraie il faut prendre en compte le volume des effluents et leur concentration en matière organique. Un bambou a besoin d'entre 800 et 1000 mm d'eau par an. Les bambous, associés aux bactéries présentes dans le sol, ont une capacité d'épuration entre 30 et 40 tonnes de DCO/ha/an [13]. D'après notre estimation Celeyran aura une production de DCO de 83 tonnes par an. En prenant une consommation de 30 tonnes de DCO/ha/an, on aurait besoin d'une bambouseraie de 83/30 = **2,8 hectares.**

A Salles-d'Aude, commune d'implantation de la cave, les moyennes de précipitations sont aux alentours de 635mm/an [14]. Ajoutés aux 8000 m3 d'effluents estimés sur 2,8 hectares soit 8000/2,8 = 0,285 m3/m², soit 285 mm/an, cela donnerait une quantité d'eau sur la bambouseraie de 635+285 = 920mm/an ce qui correspond bien à la pousse des bambous.

L'entreprise « Bamboo For Life » avait prévu comme première étude une bambouseraie de 3 hectares, nous sommes donc proches de la réalité.

b) Avantages et inconvénients d'une Bambouseraie

Au niveau épuration cette technique est ultra extensive, consomme peu d'énergie pour fonctionner et ne produit pas de boues à extraire.
Mais elle présente plusieurs inconvénients non négligeables :

- la surface prise par les bambous : 2,8 hectares pour traiter les effluents c'est presque deux fois plus que la surface nécessaire par évaporation naturelle qui est estimée à 1,6 hectares.
- la durée d'implantation des bambous : lors de son installation la bambouseraie n'est pas à son fonctionnement maximal, il faudra 4 ans pour avoir l'efficacité optimale de la bambouseraie.
- la coupe des bambous : elle se réalise dès la 4eme année et concerne ¼ des bambous tous les ans. L'efficacité de traitement d'un bambou à lieu durant ces premières années de vie, lorsque sa croissance est rapide, c'est pourquoi il faut les couper tous les 4ans pour laisser la place aux nouvelles générations. Cette coupe à un coût mais permet également de produire un revenu.

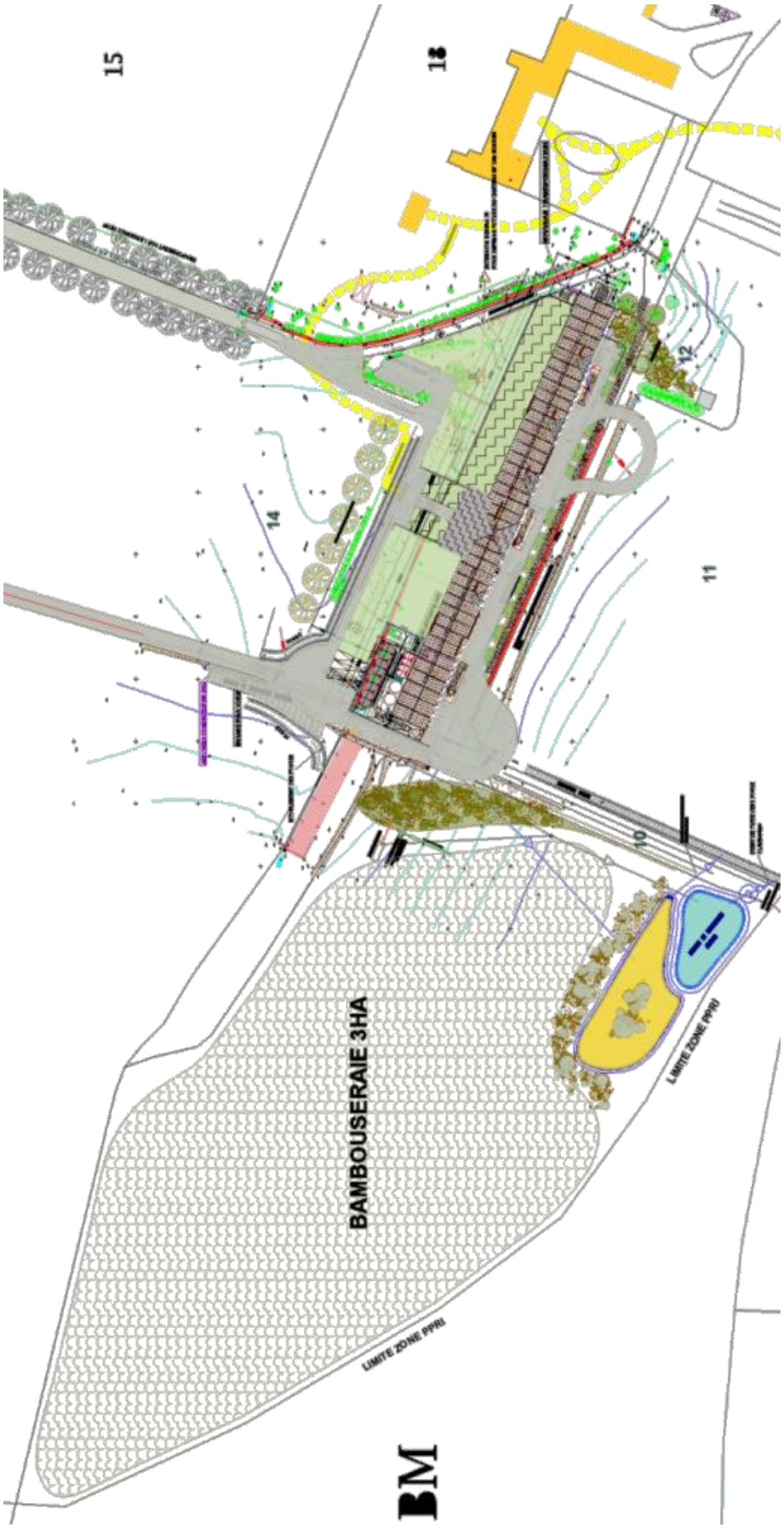


Schéma 5 : Plan d'implantation de la bambouseraie

La bambouseraie a d'autres vertus : elle permet la production de biomasse qui pourra servir de source d'énergie (70€/T). Sa fibre, très résistante pourrait être utilisée comme matière première pour l'aéronautique (700€/T). Elle permet également un reboisement du paysage avec au passage un stockage de dioxygène atmosphérique, ce qui peut être comptabilisé dans l'efficacité énergétique d'un site dans la partie séquestration de $C0_2$. Ce reboisement permet également un rafraîchissement bioclimatique des alentours.

Proposition de calcul de rentabilité de la bambouseraie :

- le coût de l'installation : aux alentours de 500 000 € (d'après « Bamboo For Life »),
- la vente du bambou pour la production d'énergie :70€/T,
- la production de 30 T/an de bambou
- coût de la coupe : 3000€/an.

Le bilan est que cela n'est pas un investissement rentable car la vente des bambous rapporterait 2100 €/an alors que leur coupe en coûte 3000€.
Dans le cas où la vente du bambou serait faite pour l'industrie aéronautique, on obtiendrait un revenu de 30x700 – 3000 = 18000 €/an, ce qui donnerait un retour sur investissement de 27 ans. Cependant ce serait sans prendre en compte la préparation des bambous avant la vente (enlever les feuilles, dimensionnement des bambous, fagoter.

Cependant, dans le modèle de ferme écologique, la bambouseraie serait un avantage touristique pour le site, on pourrait envisager de réaliser une balade à l'intérieur de celle-ci pour expliquer au public les vertus d'une telle installation.

3.2.3 Le lit planté de roseaux sur zéolithe

a) Fonctionnement

Le traitement sur lit de roseaux est un traitement connu en France. Généralement il est utilisé avec un prétraitement aérobique qui enlève plus de 90% de la matière organique [15]. En soit, le lit de roseaux est uniquement une solution de fin de traitement qui permet de finir d'éliminer la matière organique et de gérer la production de boues.

Le procédé que je vais présenter est le lit planté de roseaux sur zéolithe. Celui-ci s'utilise directement sur les effluents, sans prétraitement (ni aérobie ou méthanisation).
Cette technique de gestion des effluents venant d'Italie se déroule en 4 étapes :

- Dégrillage des effluents à 1 mm
- Stockage des effluents dans une cuve tampon
- Filtration des effluents à 10 micromètres
- Traitement sur les lits plantés de roseaux

La zéolithe est une roche volcanique ayant un squelette microporeux, la surface de contact entre le milieu extérieur et la roche est 100 fois plus importante que celle du sable (200 m²/g pour la zéolithe contre 2,2 m²/g pour le sable) (Rochard et al, [16]). Cette microporosité permet d'optimiser l'absorption et les processus de biodégradation au sein du système par les différentes bactéries. Le fonctionnement est globalement le même que le fonctionnement de la bambouseraie mais avec une efficacité au m² beaucoup plus importante. Les roseaux ont des propriétés similaires aux bambous, ils permettent des transferts d'oxygène de l'air à la partie immergée, ce qui augmente l'activité des bactéries dans le sol.

La filtration à 10 micromètres est indispensable avant le passage sur lit planté sur zéolithe. En effet les micropores seraient bouchés par des particules plus grosses. Pour la même raison, il est impossible d'utiliser ce système de traitement des effluents si la cave utilise du kieselguhr pour filtrer ses vins.

a) Dimensionnement des lits plantés

Il est difficile de trouver de la bibliographie permettant de calculer la surface de lit planté nécessaire pour dégrader la matière organique présente dans les effluents à l'aide de filtres plantés sur zéolithe. D'après la publication de Rochard et al [17] des essais réalisés sur des petites surfaces montrent une efficacité de 53g de

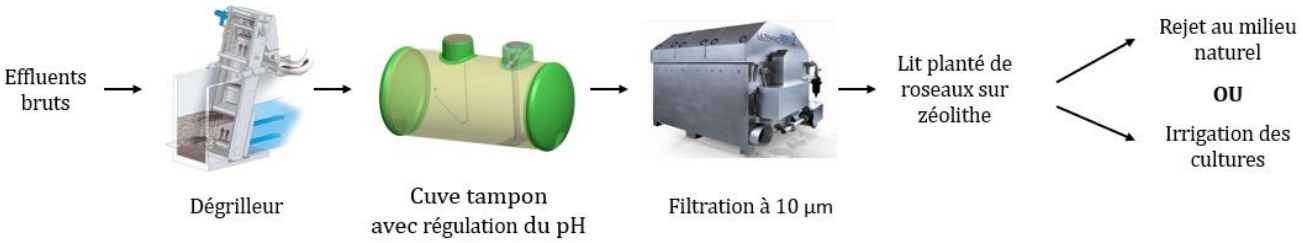


Schéma 6 : Schéma de fonctionnement du système Zeofito

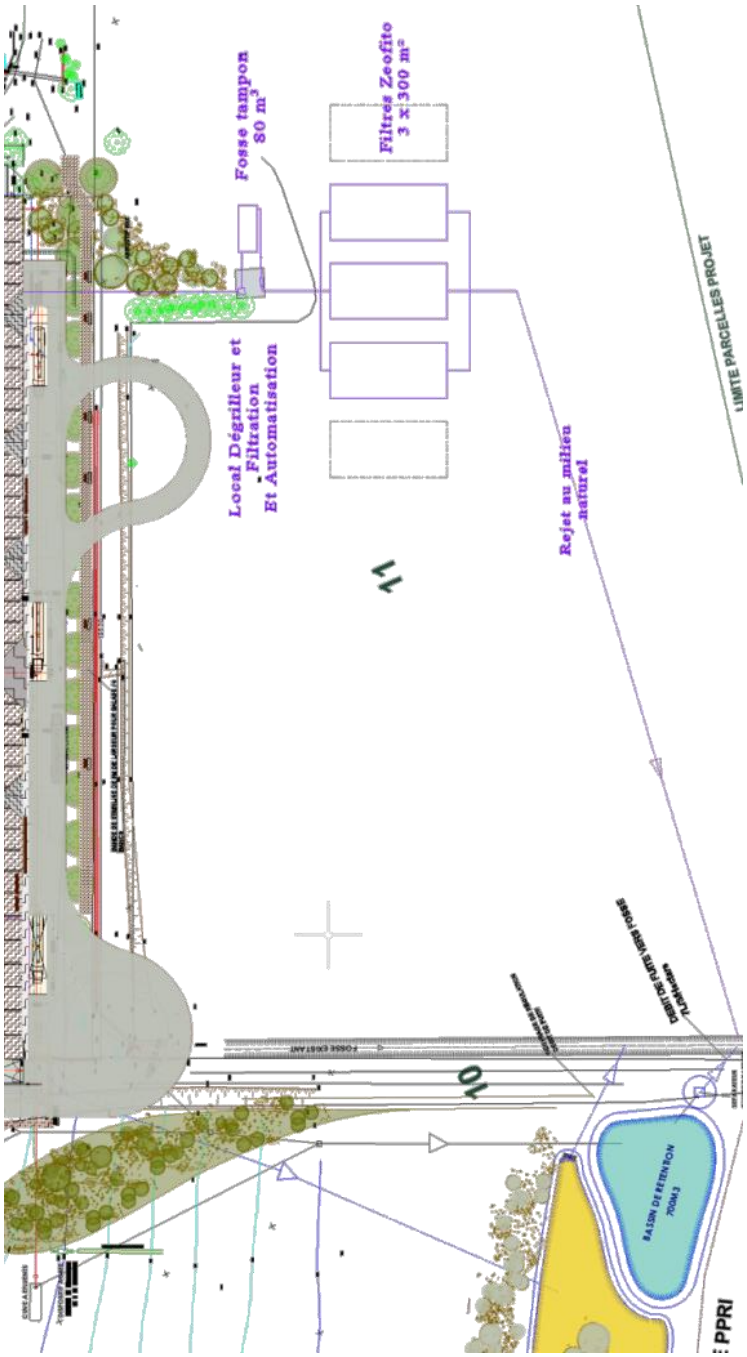


Schéma 7 : Plan d'implantation du procédé Zeofito

DCO/m²/jour avec éventuellement des pics atteignant jusqu'à 136 g DCO/m²/jour. Une autre publication de 2012, montre une efficacité supérieure (sans toutefois donner la valeur) lorsqu'il y a une inoculation préalable des effluents avec des micro-organismes [18]. Nous avons donc demandé un devis à l'entreprise « Amethyst » qui a breveté le système Zeofito. D'après leur devis, 900 m² de lit planté suffirait pour la gestion des effluents sur le site. Cela nous donnerait un traitement de la DCO de 83 000/900 = 92 kgDCO/m²/an. A surface égale ce système aurait donc une efficacité 30 fois supérieure à la bambouseraie. Cette différence est énorme et peut probablement s'expliquer par la forte microporosité de la zéolithe.

b) Avantages et inconvénients

Il y a de nombreux avantages à une telle technique d'assainissement :

- La consommation électrique est limitée à l'usage des pompes
- La surface d'emprise au sol des lits plantés est relativement faible : 900 m²
- Le traitement au sein des lits de roseaux ne produit pas d'odeur inconfortable
- C'est un système naturel qui peut avoir sens dans un lieu à visée touristique
- On peut penser que ce système est compatible avec une future réutilisation des effluents pour l'irrigation

Les inconvénients sont le manque de retour d'expérience de ce système d'épuration. Le dernier rapport remis à l'OIV en 2019 [16] montre que de nombreuses caves italiennes fonctionnent maintenant sur ce système mais pour le moment il n'y a pas de retour d'efficacité à plus de 14 ans. Il est donc intéressant de suivre l'évolution de l'efficacité de ce système dans le temps qui apparaît aujourd'hui comme révolutionnaire. Au niveau du prix cette solution est équivalente à la bambouseraie.

c) Réutilisation de l'eau après traitement

En suivant des lits plantés de roseaux, il est possible de mettre en place un système de récupération des eaux usées traitées pour ensuite être envoyées vers le circuit d'irrigation. En effet après traitement les taux de DCO, DBO_5 et MES seront à des taux réglementaires pour le rejet dans la nature et donc réglementaires pour l'irrigation (partie 2.2.2). De plus les lits plantés de roseaux sur zéolithe sont un bon moyen d'éliminer les agents pathogènes [16] avec une bonne élimination de Escherichia Coli, bactérie pouvant provoquer une intoxication alimentaire chez l'homme.

3.3) Une gestion thermique optimale des bâtiments

3.3.1 Définition d'une STD

Lors d'une rénovation ou d'une construction, la simulation thermique dynamique (STD) permet de modéliser à l'aide d'un logiciel l'évolution des températures dans un bâtiment au cours de l'année en fonction des techniques de construction (isolation, choix constructif, procédé d'extraction d'air) et des températures extérieures au niveau du site. Le bâtiment est considéré comme un volume avec des flux entrants et sortants de chaleur.
La STD donne comme résultat le nombre d'heures d'inconfort à l'année, c'est-à-dire le nombre d'heures non comprises entre la valeur basse et la valeur haute de température voulue par le maître d'ouvrage. Par exemple entre 12 et 22 °C pour un chai. Elle donne également les besoins en énergie en kW pour équilibrer les températures à la valeur de consigne.

Cette étude présente plusieurs intérêts :

- C'est un outil d'aide à la décision car il permet de modéliser l'impact de certaines techniques constructives. Par exemple le choix de la quantité d'isolation qui correspondra à un R (résistance au flux de chaleur) pour le logiciel, mais qui correspondra pour l'architecte à une épaisseur et un type d'isolation. Mais également l'impact qu'aura une ventilation nocturne (appelée free cooling) qui consiste à faire rentrer de l'air frais de nuit dans un bâtiment à l'aide de turbines peu consommatrices en électricité.
- Elle permet également de dimensionner les futurs groupes de froid permettant de réguler la température des bâtiments. Cela évitera d'avoir des groupes surdimensionnés, ce qui aurait un impact financier et consommateur en ressource énergétique.
- Elle permet également d'évaluer la future consommation en électricité pour maintenir le bâtiment à température. Dans une optique d'autoconsommation d'électricité cela est très intéressant.

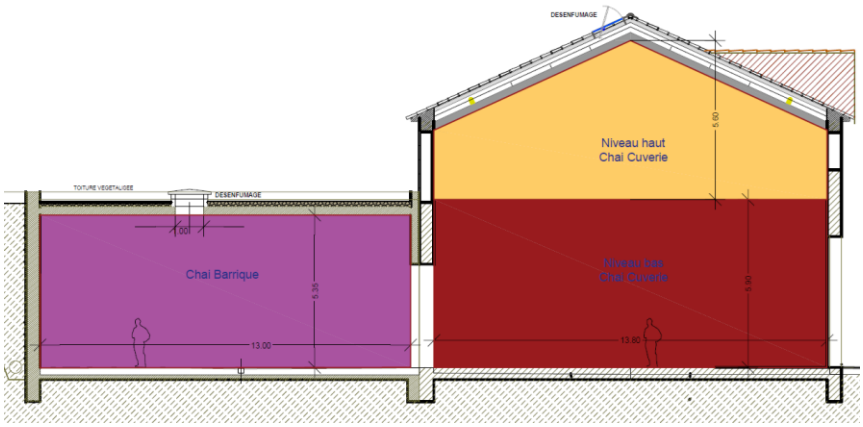


Schéma 8 : Vue en coupe du bâtiment de Celeyran présentant le volume des différentes STD

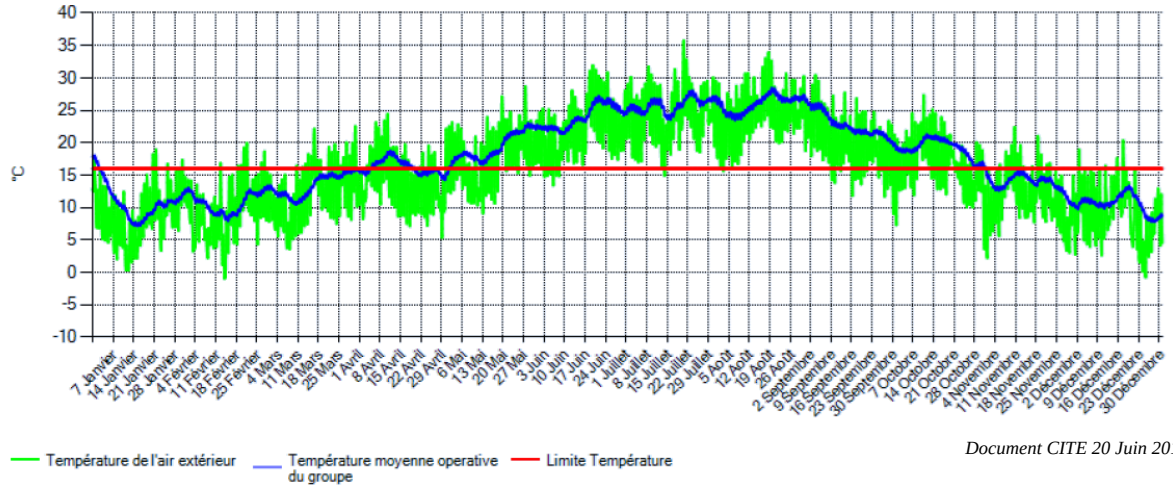


Figure 3 : Evolution des températures intérieures et extérieures dans le chai barrique de Celeyran sans système de gestion des températures

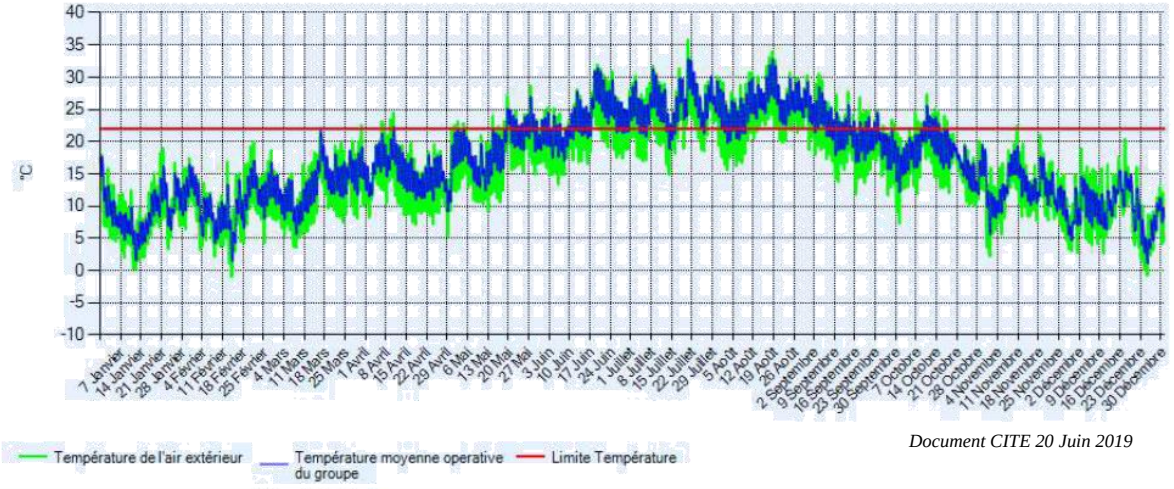


Figure 4 : Evolution des températures intérieures et extérieures dans le chai cuverie niveau haut de Celeyran sans système de gestion des températures

3.3.2 Réalisation de la STD

Avec l'aide de l'entreprise « CITE Energie », bureau d'étude spécialisé en thermique basé à Carcassonne, nous avons réalisé une STD sur le projet de Celeyran. Dans le cas de Celeyran, le bâtiment a été séparé en 3 parties. Une première analyse a été réalisée sur le futur chai à barriques enterré qui aura une température de consigne constante tout au long de l'année à 16 °C. Puis deux STD ont été réalisées sur le chai cuverie. Une sur la partie haute (au-dessus de 5m60) qui correspond au volume au-dessus des cuves bétons et une sur la partie basse. Cela nous a permis d'estimer le gradient de température entre le haut et le bas du bâtiment qui fait 12m de haut. (Schéma 8)

3.3.3 Résultats des STD sur la version de base

Dans la version de base de chaque STD nous avons dû rentrer les paramètres de bases qui permettront ensuite la comparaison.

Paramètre de base pour réaliser la STD du chai barrique :

- T°C ambiante =16°C
- T°C vin = 16°C
- Murs et plancher sans isolation
- Murs enterrés à 50%
- Toiture terrasse isolée (R=9)
- Absence de ventilation

On observe sur la figure 3, que le la température au sein du chai à barriques varie au cours du temps en fonction de la température de l'air extérieur. Cette simulation représente la température au cours de l'année avec les paramètres de base sans système de gestion de la température.

On observe également qu'il y a une inertie non négligeable du bâtiment : la courbe de température du chai barrique fluctue beaucoup moins que la courbe de température extérieure, la chaleur met du temps à rentrer dans le bâtiment et lorsqu'elle y est, elle y reste.

On constate à la lecture du tableau récapitulatif fourni par « CITE Energie » (annexe 3), qu'en tenant compte des paramètres de base il y a 4825 heures d'inconfort (température supérieure à 16°C) et un besoin pour rééquilibrer les températures de 68 000 kWh/an de froid pour une puissance installée nécessaire de 61 kW.

Paramètre de base pour réaliser la STD du chai cuverie haut et bas :

- T°C ambiante = 12 - 22°C
- T°C vin = 19°C
- Murs et plancher sans isolation
- Toiture rampante isolée (R=10,2)
- Brise-soleil sur face sud
- Absence de ventilation

On observe sur la figure 6, qu'à l'inverse du chai à barriques, le chai cuverie a peu d'inertie, la température au sein du bâtiment varie fortement en fonction des températures extérieures. On peut lire dans le tableau récapitulatif fourni par « CITE Energie » (annexe 4), qu'en suivant les paramètres de base, il y aurait 2019 heures d'inconfort dans le niveau bas et 2323 heures d'inconfort dans le niveau haut (températures supérieures à 22°C) et un besoin pour rééquilibrer les températures de 67 000 kWh/an de froid pour le niveau bas et 80 000 kWh/an pour le niveau haut, pour une puissance installée nécessaire de 150 kW pour le niveau bas et 160 kW pour le niveau haut.

On peut également observer le gradient de température entre le niveau bas et le niveau haut. Lors des fortes températures il peut y avoir jusqu'à 2,5 degrés d'écart entre les deux niveaux. Dans la suite nous avons assemblé les deux niveaux pour pouvoir évaluer l'impact des différents choix constructifs.

Tableau 8 : Variation des besoins en froid en fonction des modalités de construction pour le chai barriques

Variables	Base	Isolation R=6,35	Murs non enterrés	Free cooling	Puits climatiques
Besoins en froid en % par rapport à la base	**100%**	**+1%**	**+50%**	**-4%**	**-15%**

Tableau 9 : Variation des besoins en froid en fonction des modalités de construction pour le chai cuverie

Variables	Base	Isolation R=7,4	ITE	Cuves vides	Free cooling	Puits climatiques	Températures de confort à 25°C
Heures d'inconfort par an (T>22°C)	**100%**	**=**	**-2%**	**+33%**	**-7%**	**-11%**	**-50%**

3.3.4 Les différentes modalités testées

Pour réaliser des choix structuraux du bâtiment, nous avons évalué la STD avec différents paramètres. Pour chaque paramètre nous avons obtenu son impact sur les besoins en froid du bâtiment ainsi que sur les heures d'inconfort.

Modalités d'essais chai barrique :

- Isolation toiture terrasse plus faible (R=6,35)
- Murs non enterrés
- Free-cooling (20000 m3/h)
- Puits climatiques

Modalités d'essais chai cuverie :

- Isolation toiture plus faible (R=7,4)
- ITE Isolation Thermique Extérieure
- Cuves vides
- Ventilation nocturne (free-cooling)
- Puits climatiques (tuyauteries souterraine apportant passivement chaleur l'hiver et fraîcheur l'été (échangeur géothermique air-sol))
- Température de confort à 25 °C

3.3.5 Résultats des modalités et discussion des choix techniques

On observe à l'aide du tableau 8 qu'une isolation un peu moins épaisse, moins chère et logiquement moins efficace a peu d'impact sur les besoins en froid. On peut interpréter ce résultat surprenant par le fait qu'en diminuant l'isolation en toiture on facilite à la chaleur de rentrer mais on facilite également à la chaleur de sortir la nuit, en augmentant l'inertie du chai. On remarque que si les murs n'étaient pas enterrés la consommation en froid serait 50% supérieure ce qui est facilement compréhensible. Le free-cooling permettra de gagner uniquement 4% des besoins en froid et les puits climatiques permettraient de gagner 15%.

Au final, il sera retenu une isolation de la toiture terrasse de R=9, et une ventilation nocturne (free-cooling) de 20 000 m^3/h. Le puits climatique n'est pas retenu car énergivore lors de l'installation, non rentable économiquement et pourrait engendrer des problèmes sanitaires dans le chai dans le futur.

On observe sur ce tableau 9 que l'isolation en toiture n'a quasiment aucun impact sur le nombre d'heures d'inconfort, l'isolation en façade sud permet d'obtenir 2% d'heures d'inconfort en moins. Le free-cooling permet de gagner 7% et les puits climatiques permettraient de gagner 11% par rapport à la base. On remarque aussi l'importance du vin dans les cuves, qui permet de tempérer le bâtiment, sans cela nous aurions 33% d'heures d'inconfort en plus. Enfin il est également important de noter que tout cela dépend de la température de confort choisie, en effet en prenant 22°C de température de confort le seuil d'exigence est important, choisir 25°C permet par exemple de diminuer les heures d'inconfort de 50%.

Au final, on retiendra pour la construction une toiture rampante de R=7,4, le free-cooling associé à une gestion automatique des ouvrants en toiture. Pour les mêmes raisons que pour le chai à barriques les puits climatiques n'ont pas été retenus dans le projet.

3.4) La production d'énergie photovoltaïque autoconsommée

3.4.1 Estimation de la consommation moyenne de la cave

La particularité de Celeyran est la grosse partie négoce, 200 000hl/an, il faut donc considérer cette cave comme différente en comparaison d'une cave où il y a tout le processus de vinification effectué sur chaque vin.

Dans un premier temps, nous avons réalisé un rapide calcul permettant de nous donner une estimation de la consommation en énergie par an de ce site, en prenant en compte le fait que le bâtiment serait restauré et donc aurait une efficacité optimale. Nous avons réutilisé les données du tableau 3 page 14.

Soit 200 000 hl x 1,5 kWh/hl + 10 000 hl x 5 kWh/hl = 350 MWh/ an

Tableau 10 : Bilan consommation journalière d'électricité de la partie négoce

Poste	Période d'utilisation	Puissance cumulée du matériel (kW)	Temps d'utilisation (h)	Consommation en kWh/jour
Filtration tangentielle	*toute l'année*	14	2 x 10	280
Stabilisation tartrique	*toute l'année*		10	126
Pompage des vins	*toute l'année*	10	10	100
Froid multitubulaire	*Juin - Oct*		10	255
Autres consommations	*toute l'année*	22,8	10	168
Consommation journée ouvrée	*Nov - Mai*			**674**
Consommation journée ouvrée	*Juin - Oct*			**929**

Pour prévoir la bonne quantité de panneaux photovoltaïques, nous avons besoin de connaître la consommation énergétique en temps réel, ou du moins sur un pas de 10min, du bâtiment. Cependant le bâtiment n'étant pas en activité pour le moment, il est impossible de quantifier la consommation. C'est pourquoi, nous nous sommes donnés comme objectif de simuler la consommation en énergie par jour tout au long de l'année avec une différenciation entre la nuit et le jour, d'après la méthodologie décrite dans la partie II.

Pour cela nous avons séparé la consommation électrique en trois grandes parties :

- La partie négoce
- La partie vinification
- La partie climatisation/chauffage

Pour la partie négoce et vinification, nous avons réalisé les calculs à partir des données communiquées par le maître d'ouvrage et le temps d'utilisation par jour de chaque appareil dans la cave. Nous avons ensuite multiplié ce temps d'utilisation par la puissance de l'appareil en kW. Pour la partie climatisation nous avons utilisé les résultats de la Simulation Thermique Dynamique.

a) Estimation de la consommation électrique de la partie négoce

Dans cette partie nous avons pris en compte que les 200 000hl de vin traités chaque année sur le domaine l'étaient entre 7h et 19h, tous les jours ouvrés de l'année et d'une façon homogène soit à peu près 800hl par jour en prenant une base de 250 jours ouvrés.

Pour simplifier les calculs nous avons considéré que l'utilisation des appareils de traitement des vins sont tous utilisés de la même manière tout au long de l'année, hormis la mise en température des vins qui est valable uniquement pour des vins rentrant dans la cuverie en été.

<u>Exemple de calcul pour le refroidissement des vins l'été :</u>

Nous avons décidé avec le maître d'ouvrage que chaque vin serait mis à température en rentrant dans la cave. Le fait de mettre à température les vins dans une cuverie béton aura un impact important sur l'inertie de la cave. On considère que de juin à octobre les vins achetés au négoce arrivent dans la cuverie inox extérieure à une température de 25°C et nous voudrions les rentrer dans la cave à 18°C.

Pour connaître la consommation électrique par jour de ce poste, nous avons besoin de connaître la quantité de vin refroidi par jour (800 hl/j), le débit de la pompe de circulation du vin (sa consommation électrique étant déjà prise en compte dans la partie pompage) (150 hl/h), la puissance des pompes de circulation du froid (5,5 kW pour la pompe annexe, 7,5kW pour la pompe principale), ainsi que les caractéristiques du groupe de froid (240 000 fg/h ; 80 kWh absorbés max).

(Pour simplifier les calculs nous avons considéré que le vin avait la capacité calorifique de l'eau)

Temps de transfert = 800 hl / 150 hl/h = 5,3 heures

Besoin en froid : Q= V x (Tf-Ti) / D = 80000 x (25 – 18) / 5,3 = 105 000 fg/h

Puissance absorbée du groupe par heure : Pbesoin= Qbesoin*Pgroupe/Qgroupe = 105 000 x 80 / 281 000 = 35 kWh

Puissance électrique consommée par jour = (Ppompe +Pfroid) x Temps = (5,5 + 7,5 + 35) x 5,3 = 255 kWh/jour

Toutes les autres consommations de la partie négoce ont été calculées sur un principe similaire, que nous ne détaillerons pas dans ce document.

Concernant les autres consommations, nous avons estimé la consommation électrique du matériel de cave énergivore dans le tableau 11. En prenant en compte la puissance électrique théorique de l'appareil et son utilisation moyenne durant une journée. Cependant il est très compliqué d'estimer toutes les consommations donc certaines ont été sous-estimées pour ne pas fausser les calculs dans la suite et ne pas prévoir trop de panneaux solaires. Concernant la production d'eau chaude, nous l'avons comptabilisé dans la partie ambiance thermique du bâtiment.

Tableau 11 : Bilan de la consommation journalière d'électricité des « autres consommations »

	Puissance du matériel (kW)	Temps d'utilisation (h)	Consommation en kWh/jour
Train de lavage barrique	5	1	5
Chariot élévateur	7	2	14
Nettoyage en place	3	3	9
Air comprimé	20	2	40
Eclairage	10	10	100
Consommation journée ouvrée			**168**

Tableau 12 : Bilan des volumes vinifiés du site de Celeyran

	Vinification rouge	Vinification blanc
Volume vinifié (hl)	4000	4000
Date des vendanges	01/09 -21/09	15/08 – 03/09
Durée vendanges (jours)	20	20
Vitesse de fermentation (jours)	10	10

Tableau 13 : Estimation de la consommation électrique d'une journée type « vendange rouge »

Process rouge					**TOTAL**
Matériel	Table de tri	Egrappoir	Fouloir	Pompe queue de cochon	
Temps d'utilisation par jour (h)	5,4	5,4	5,4	5,4	
Puissance du matériel (kW)	1	3	2	4	**54 kWh/jour**

Tableau 14 : Estimation de la consommation électrique d'une journée type « vendange blanc/rosé »

Process Blanc			**TOTAL**
Matériel	Pressoir	Pompe	
Temps d'utilisation par jour (h)	4,5	2	
Puissance du matériel (kW)	10	3	**51 kWh/jour**

a) Estimation consommation électrique de la partie vinification

Aujourd'hui, les volumes qui seront vinifiés sur le site ne sont pas encore connus, nous avons donc dû estimer les volumes de vinification en fonction du nombre d'hectares. Nous avons considéré que sur les 100 hectares de la propriété, il y aurait 50% de rouge et 50% de blanc/rosé. Les rendements à l'hectare dans ce secteur sont estimés à 80hl/h. Pour simplifier les choses nous avons distingué uniquement deux techniques de vinification, une vinification « vin rouge » et une vinification « Vin blanc/rosé ». (Tableau 12)

De plus nous avons considéré que l'apport de raisin serait homogène chaque jour et qu'il n'y aurait pas d'interruption d'apport entre le début et la fin des vendanges. De plus le process serait réalisé entre 7h et 19h et le contrôle des températures serait sur l'ensemble de la journée, nuit et jour compris à parts égales. Pour évaluer la consommation électrique, pour chaque technique de vinification nous avons séparé la partie transformation du raisin en moût et la partie gestion des vinifications.

i) Consommation en énergie de la transformation des raisins en moût

Pour calculer la consommation en énergie de la transformation des raisins en moût pendant les vendanges, nous avons calculé la quantité d'énergie utilisée par « journée de type vendange de rouge » et par « journée type vendange blanc ». Cette donnée dépend de la puissance du matériel utilisé ainsi que du temps de fonctionnement de celui-ci. (Tableau 13 et 14)

Nous obtenons 54 kWh utilisés pour une journée de type rouge en prenant en compte la table de tri, l'égrappoir, le fouloir et la pompe queue de cochon. Et nous obtenons 51 kWh pour une journée de type blanc en prenant en compte le pressoir et la pompe pour remplir la cuve.

ii) Consommation en énergie de la vinification

Concernant les vinifications du vin rouge, nous avons considéré que les vinificateurs n'allaient pas réguler la température, nous avons donc uniquement comptabilisé l'utilisation des pompes pour les remontages.

Concernant la vinification en blanc nous avons comptabilisé l'utilisation des pompes mais aussi la maîtrise des températures. On considère qu'en une journée de vendange en blanc on a rempli une cuve inox de 200 hl (4000 hl de blanc vendangé sur 20 jours). Nous avons besoin de la surface de cette cuve pour évaluer les échanges thermiques à travers sa paroi. On considère que la cuve fait 200hl et 2,5m de diamètre. Cela nous donne une surface d'échange de 32 m² (voir calcul annexe 5).

Pour chaque cuve le moût rentrant dans la cave à 27 °C est débourbé à une température de 12°C pendant 24h, puis il est maintenu à 18°C pendant les vinifications.

<u>Cela nous donne pour une cuve :</u>

Q (fg/h) = V x (Tf – Ti) / D = 20000 x (27-12) / 24 = 12 500 fg/h

Puis nous devons prendre en compte le besoin en froid pour le maintien des températures pendant les fermentations. Lors des fermentations deux phénomènes entrent en jeu, la quantité d'énergie produite par la fermentation (Qf) et la quantité d'énergie reçue à travers la paroi de la cuve (Qe), on considère que la température du chai est de 22°C durant les vinifications.

On en déduit Qf (kcal/h) = (V x Dt x Vf) / D avec V le volume, Dt=2,8 est l'élévation de température par pourcentage alcoolique volumique gagné et Vf la vitesse de fermentation (pourcentage alcool volumique gagné par jour).

Tableau 15 : Evolution de la vitesse de fermentation en fonction des jours après vendange

Jour après vendange	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total(%)
Vf	0,5	1	1,5	2	2,5	2	1	1	0,5	0,5	12,5

Qe (kcal/h) = K x S x (Text-Tint) avec K le coefficient d'échange de l'inox qui est de 10 kcal/h/m²/°C, S la surface de la cuve et Text-Tint la différence de température entre le vin et le chai.

Les besoins en froid Qi(fg/h) = Qe + Qf

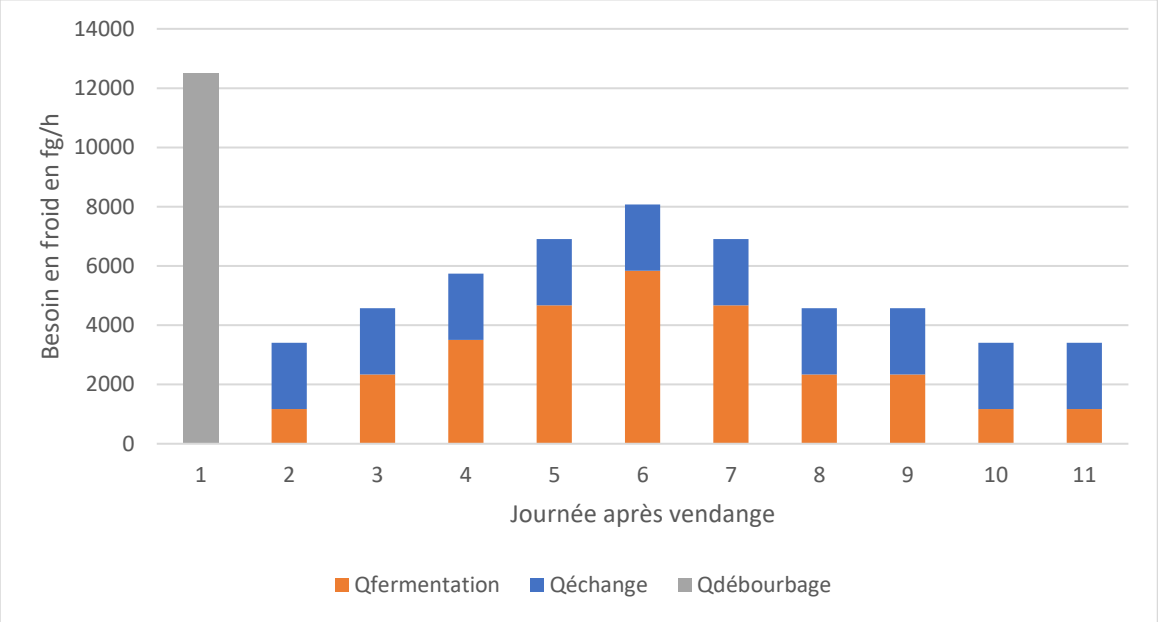


Figure 5 : Besoins en froid d'une cuve de 200 hl au cours des vinifications

Grâce à ce graphique, établi pour une cuve de 200hl, nous avons les besoins en frigorie de chaque cuve. En ajoutant ces besoins, chaque jour, nous pouvons avoir le besoin en frigorie par jour de la cave. A l'aide des caractéristiques du groupe de froid qui va être installé sur l'exploitation nous pouvons en déduire la quantité d'électricité nécessaire pour produire tout ce froid.

Tableau 16 : Exemple de consommation en froid de la journée du 20 aout

Date	Débourbage (fg/h)	Cuve1	Cuve2	Cuve3	Cuve4	Cumul fg/h	Cumul W	kWh absorbée total	kWh jour	kWh nuit
20/08	12500	5947	4780	3613	2447	29287	34089	233	116,5	116,5

iii) Bilan des consommations globales

Le bilan global de la consommation en énergie des vinifications nous donne un tableau indiquant la consommation en kWh la nuit et le jour, chaque jour entre le début des vendanges et la fin des vinifications.

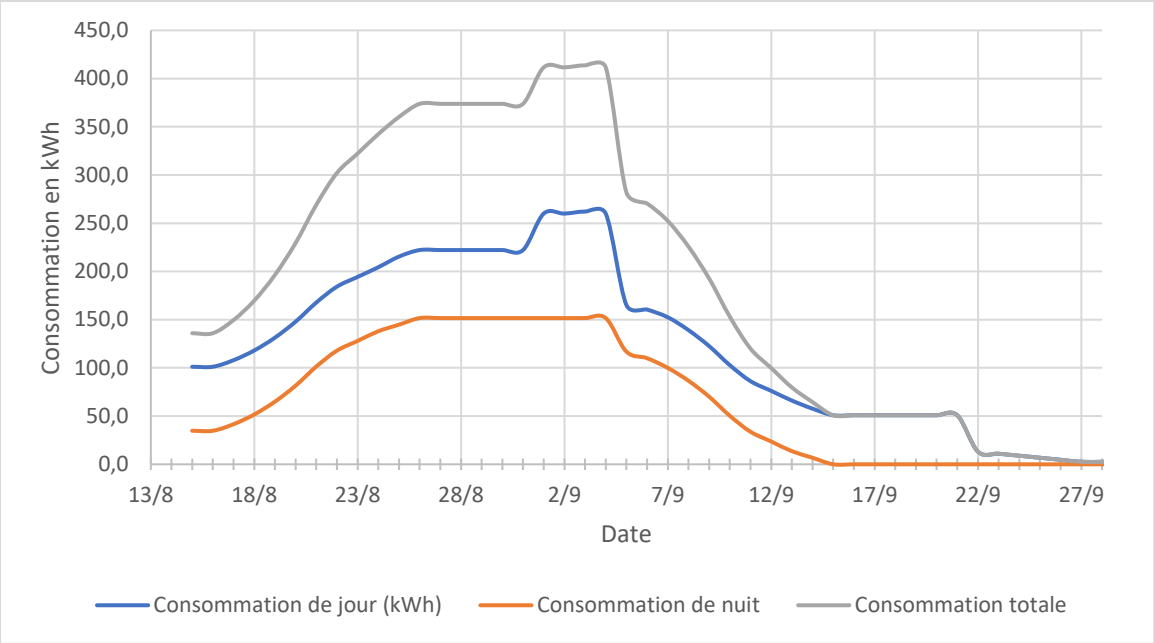


Figure 6 : Bilan des consommations électriques au cours des vinifications du site de Celeyran

a) Estimation de la consommation électrique de la partie ambiance

Dans une première partie j'ai estimé la consommation des locaux à l'aide de données récoltées sur des bases de données utilisées par des bureaux thermiques.

Tableau 17 : Donnée de base permettant le calcul de la consommation en électricité des locaux

Consommation moyenne chauffage d'un local en kWh/m²/an	**60**
Consommation moyenne climatisation d'un local en kWh/m²/an	**50**
Nombre de jours ouvrés entre novembre et février	**82**
Nombre de jours ouvrés entre juin et septembre	**84**

En prenant en compte que les employés chauffent de novembre à février tous les locaux et climatisent de juin à septembre uniquement les bureaux, tous cela, uniquement les jours ouvrés. Cela nous donne une répartition des consommations comme suit :

Tableau 18 : Consommation électrique de la gestion des températures de la partie bureau et locaux sociaux

	Locaux personnel	**Bureaux**	**Totale**
Surface locaux personnel (m²)	70	140	
Consommation moyenne Climatisation en kWh/m²/jour	0	83,3	**83,3**
Consommation moyenne Chauffage en kWh/m²/jour	51	102,5	**153,5**

Nous avons présenté dans la partie 3.4, la Simulation Thermique Dynamique, celle-ci nous a permis de réaliser des choix constructifs mais aussi de calculer la consommation électrique pour la gestion des températures du chai barriques et du chai de vinification.

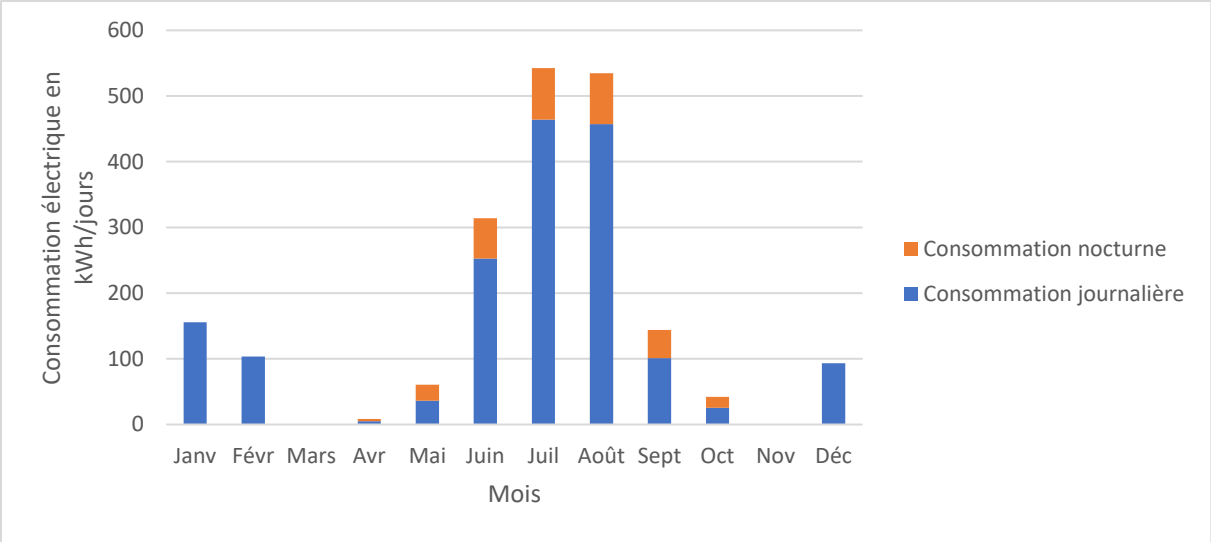


Figure 7 : Bilan des consommations électriques de la gestion de température des chais sur un an

b) Bilan de l'estimation de la consommation du site

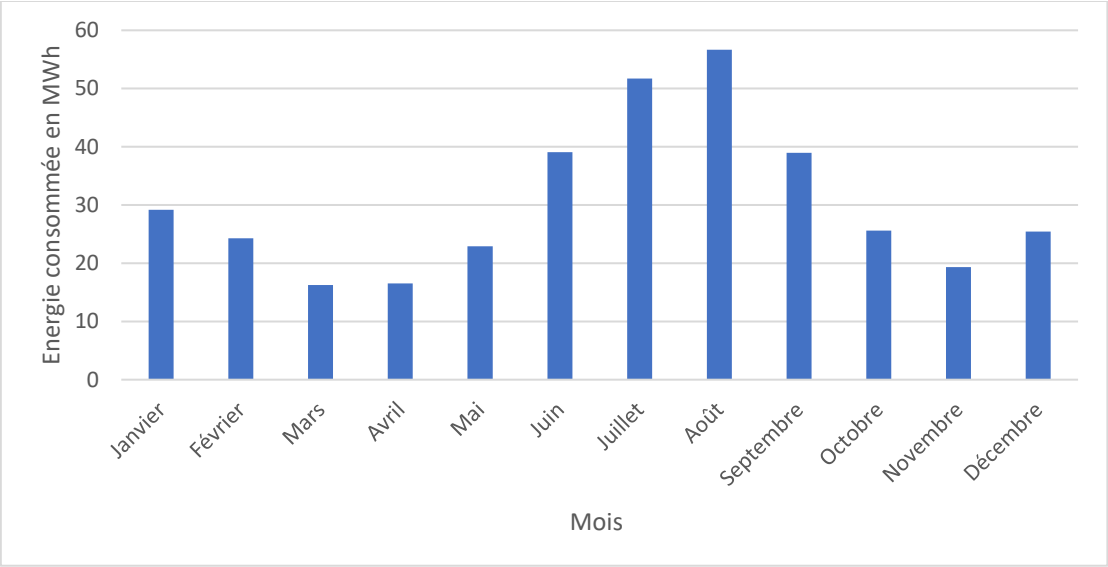


Figure 8 : Bilan des consommations du site en MWh/mois

On obtient au final une consommation totale de 380 MWh dont 360 MWh de jour d'après nos estimations. On peut remarquer une forte consommation en été avec le besoin en froid pour mise à température des vins ainsi que pour la gestion des vendanges. La consommation est également plus élevée en hiver avec le chauffage des locaux sociaux et bureaux.

Cependant on remarque qu'en fonction de la période de l'année, il y a une hétérogénéité plus au moins marquée entre les jours de la semaine (figure 9) et ceux du week-end (figure 10). Comme le montre les deux figures suivantes. Cela aura un impact sur la consommation de l'électricité photovoltaïque produite les week-ends peu consommateurs en énergie.

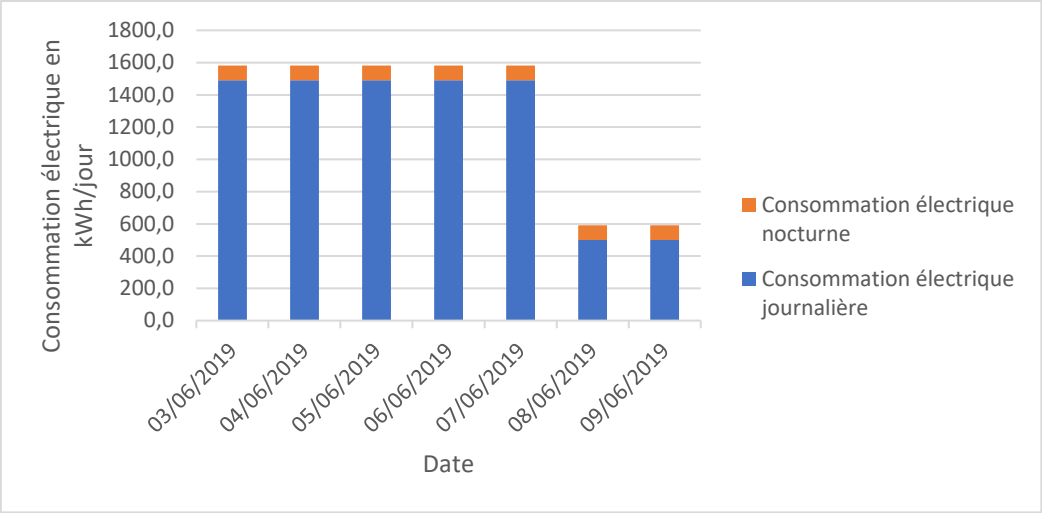


Figure 9 : Consommation électrique de Celeyran sur la première semaine de juin

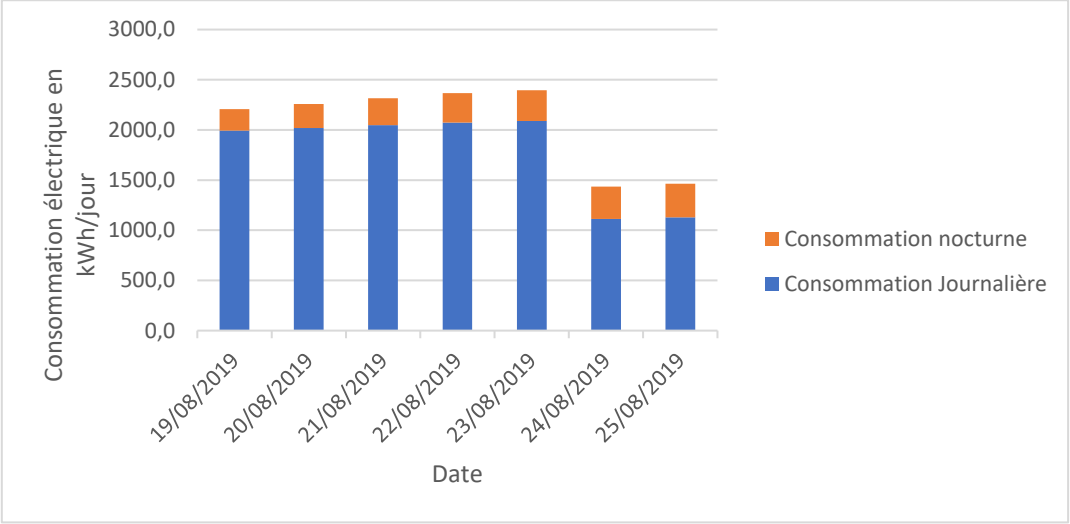


Figure 10 : Consommation électrique de Celeyran sur la troisième semaine d'août

3.4.2 Estimation de la production électrique des panneaux solaires

En France, il existe deux sortes de production photovoltaïque :

- La production directement vendue au réseau nécessite de faire un appel d'offre auprès d'EDF au départ, avec proposition d'un prix de vente en €/kWh (pour les centrales supérieures à 100 kWc). Les démarches sont compliquées et peu de projets sont acceptés par EDF. Cette consommation consiste à vendre l'ensemble de sa production à un prix fixe pour ensuite racheter les besoins en électricité de la cave.
- La production en autoconsommation consiste à produire l'électricité et la consommer soit même, soit en direct s'il n'y a pas de système de batterie, soit quand on en a besoin mais cela nécessite la présence de batteries.

Le projet à Celeyran serait en autoconsommation, et pour le moment sans batterie dans le sens « batterie lithium-Ion », car ces batteries sont coûteuses et non durables. Nous pourrons réfléchir par la suite à un système de batterie que je vais appeler « batterie tampon », qui permettrait de stocker l'énergie sous forme de froid dans la cave.

L'unité de mesure de puissance d'un panneau solaire est le Watt crête (Wc), il correspond à la délivrance d'une puissance électrique de 1 Watt sous les meilleures conditions d'ensoleillement et de température (1000 W/m², 25°C). Selon les modèles de panneaux on trouve que 170 kWc correspond à 1000 m² de panneaux.

A Salles d'Aude, pour des panneaux solaires orientés vers le sud avec un angle de 15°, nous pouvons à l'aide du logiciel PvSyst trouver que la production photovoltaïque par an serait de 1300 kWh/kWc, répartis au cours de l'année.

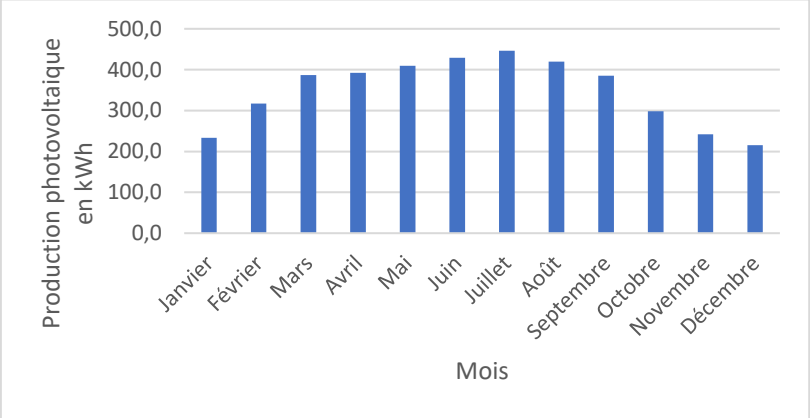


Figure 11 : Production électrique issue de panneau photovoltaïques pour 100 kWc de panneaux par jour au cours de l'année.

Une première estimation nous mènerait au calcul simple suivant : 360 000/ 1300 = 277 kWc. Avec 277 kWc nous produirions autant d'électricité que nous en consommerions. Cependant la production photovoltaïque et la consommation du bâtiment ne sont pas totalement couplées. Nous devons prendre en considération que durant certains mois l'activité du site est moins énergivore, et que même chaque semaine l'activité du site est importante durant les jours ouvrés mais plus faible sur le week-end. C'est pourquoi je me suis intéressé au taux d'autoproduction, au taux d'autoconsommation et à la quantité d'énergie écrêtée (perdue) tout au long de l'année.

En réalisant différentes hypothèses de taille de centrale photovoltaïque (de 50 à 250 kWc), nous obtenons le graphique suivant :

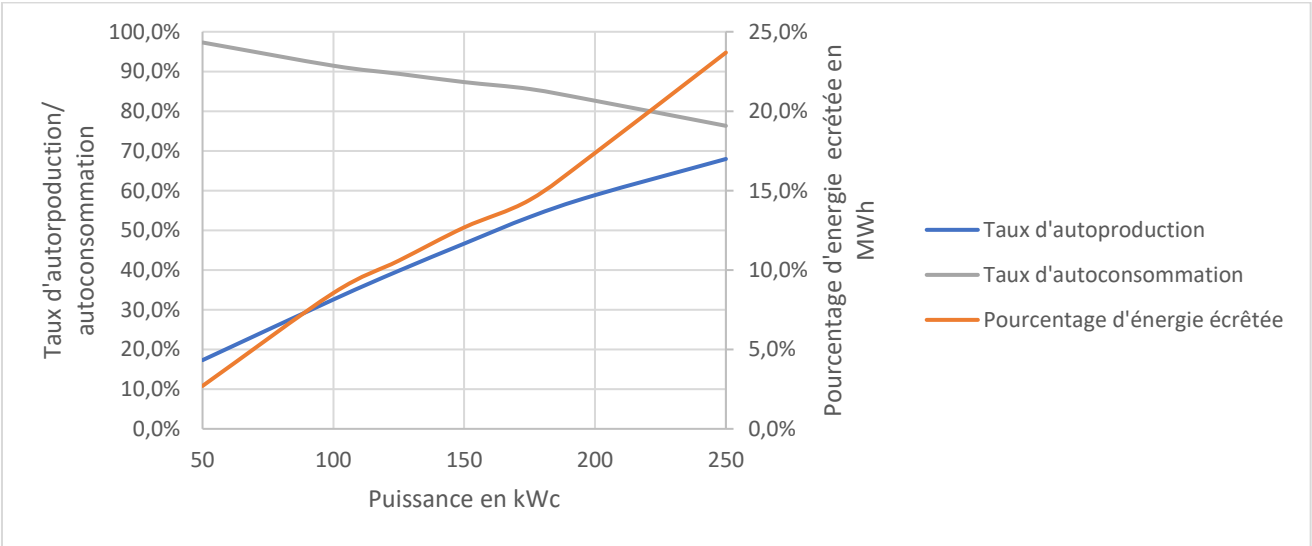


Figure 12 : Taux d'autoproduction, d'autoconsommation et pourcentage d'énergie écrêtée en fonction de la puissance installée.

On observe qu'aux alentours de 180 kWc, il y a un changement de pente des courbes. En regardant les tableaux de données on peut observer que si on met plus que 180 kWc, il y a une surproduction d'énergie sur l'ensemble des journées du mois de mars, avril et mai.

On remarque également sur le tableau de données que la plupart de l'énergie écrêtée se trouve sur les week-ends. On choisit donc de continuer la suite de l'étude avec 180 kWc de panneaux, cela correspond à une surface de panneaux légèrement supérieure à 1100m².

3.4.3 Optimisation des panneaux solaires tout au long de l'année

L'objectif d'un ingénieur process est d'optimiser l'ensemble du bâtiment pour qu'il soit le plus efficient, le plus rentable et le plus pratique d'utilisation pour l'opérateur. Jusqu'à aujourd'hui les bâtiments industriels étaient pensés pour avoir un maximum d'utilisation de l'électricité la nuit, lorsque le tarif d'électricité était le plus avantageux. Avec un système d'autoproduction d'électricité à l'aide de panneaux photovoltaïques la gestion de l'énergie doit être pensée différemment. En effet tant qu'il y a de l'énergie disponible la journée, il faut la consommer pour ne pas qu'elle soit écrêtée. On peut observer que d'après nos estimations, il y aura une grosse surproduction d'électricité le week-end (figure 13).

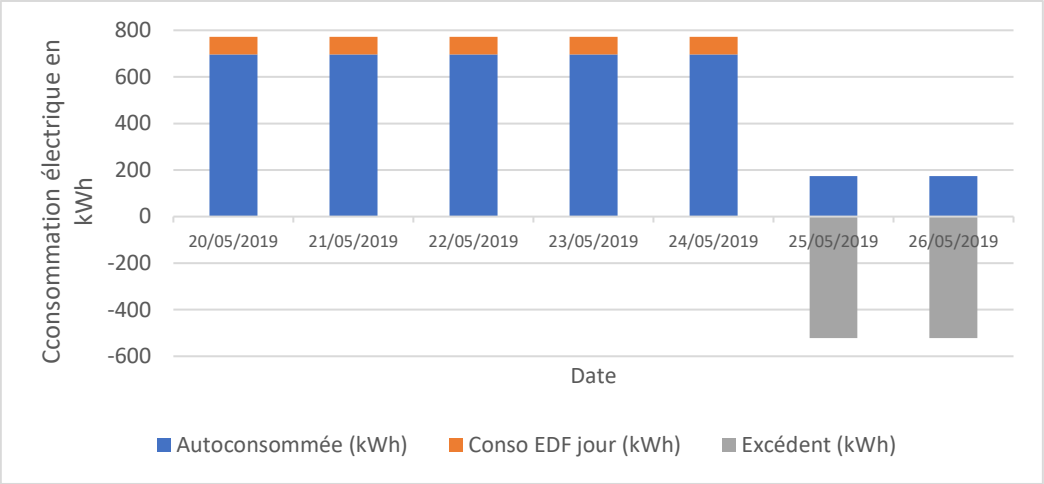


Figure 13 : Répartition de la consommation d'énergie lors de la dernière semaine de mai avant optimisation

Nous avons eu l'idée d'utiliser cette énergie excédentaire le week-end en utilisant le vin comme pile de froid. L'idée serait donc de refroidir une partie du vin le week-end pour ne pas avoir à le faire la semaine. Dans le schéma direct du fonctionnement de la cave la plupart des vins arriveront dans la cuverie extérieure (13 000 hl de capacité) pour être assemblés, collés, puis relogés à l'intérieur. Dans la cave, nous ne voulons pas rentrer de vin à plus de 19°C pour des raisons de qualité de stockage et pour ne pas réchauffer l'ambiance de la cave. Il est donc prévu l'installation d'un échangeur multitubulaire permettant de rabaisser les vins en température entre la cuverie extérieure et la cuverie intérieure. Il est donc techniquement possible de pré-refroidir les vins le week-end dans ces cuves de grand format (2500 et 1500 hl), cela permettrait de diminuer les consommations en froid de l'échangeur la semaine.

La production de froid serait gérée par automate et ne fonctionnerait uniquement qu'en présence d'électricité photovoltaïque et donc de soleil. Il a été proposé dans cette optique la mise en place de ceintures de refroidissement sur les cuves extérieures. En faisant l'hypothèse que le groupe de froid, de 80 kW absorbée (et 240 000 fg/h) fonctionne 5 heures dans la journée, nous obtiendrons une consommation de 400 kWh par jour les week-ends ou jours fériés.

Cet apport, sur deux jours, durant 5 heures par jour de 240 000 x 5 x 2 = 2 400 000 frigories pourra d'après les calculs diminuer 7500 hl de vin (1 cuve de 2500 hl et 2 cuves de 1500 hl) de $\Delta T = Q / V = 24000000 / 750000 =$ **3,2 °C**

Dans notre modèle nous avons pris en compte cette utilisation entre mai et septembre lorsque les températures extérieures sont les plus chaudes.

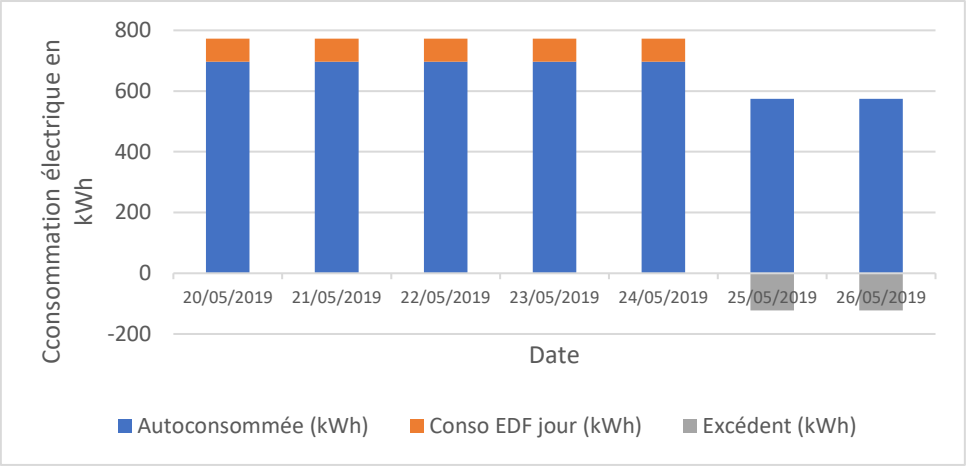


Figure 14 : Répartition de la consommation d'énergie lors de la dernière semaine de mai après optimisation

Cette optimisation a donc une répercussion sur le taux d'autoproduction, le taux d'autoconsommation et la quantité d'énergie écrêtée (tableau 19). Cependant comme elle a lieu uniquement les mois d'été nous considérons que les 180 kWc de panneaux restent le choix le plus optimal pour ce site de production.

Tableau 19 : Evolution des taux d'efficacité photovoltaïque avant et après optimisation

	Taux d'autoproduction	Taux d'autoconsommation	% d'énergie écrêtée
Après optimisation	56 %	90 %	10 %
Avant optimisation	54,5 %	85 %	15 %

3.5.4 Bilan de la production photovoltaïque du site

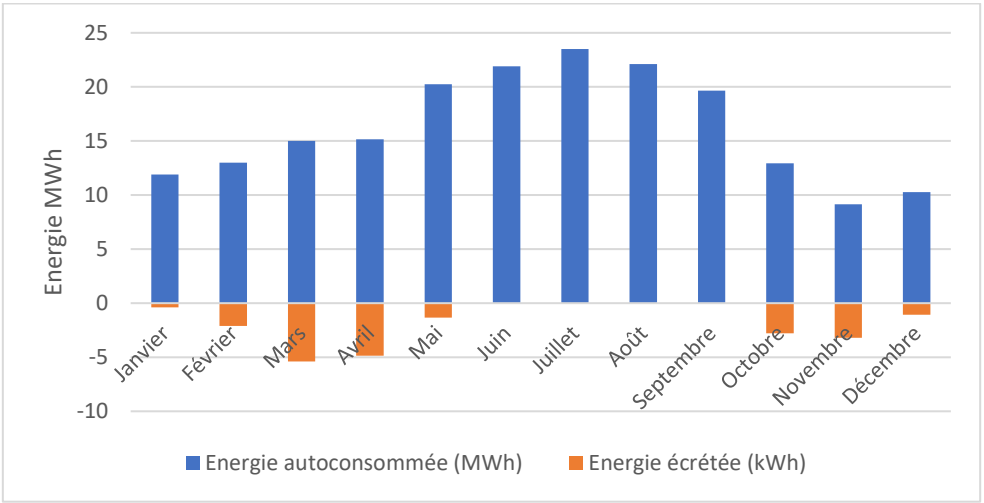


Figure 15 : Répartition de la production photovoltaïque au cours de l'année

On observe sur la figure 15, que la production photovoltaïque est totalement utilisée l'été lors des pics de consommation. Les mois où il y a le plus d'énergie écrêtée sont mars et avril, ce sont des mois où il y a un bon taux d'ensoleillement, des températures non excessives et donc une production importante d'énergie photovoltaïque. Cependant les températures n'étant pas très chaudes, le bâtiment est peu consommateur en électricité pour refroidir le vin et l'air.

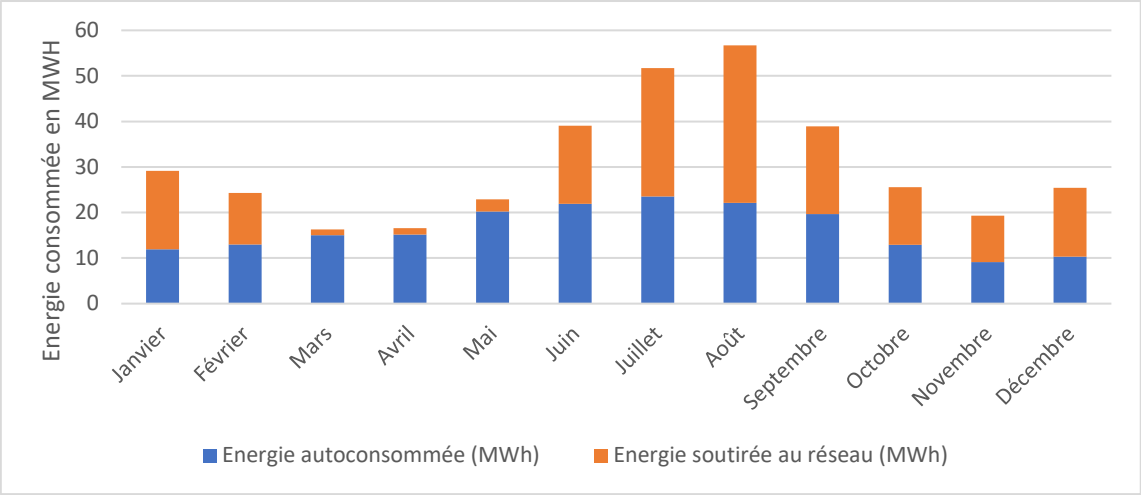


Figure 16 : Répartition de la consommation d'énergie au cours de l'année

Sur la figure 16, nous pouvons observer l'évolution de la consommation en énergie au cours de l'année. Sur les mois de grosse consommation, juin, juillet, août et septembre, on peut voir que la moitié de l'énergie consommée est tirée du réseau. En revanche, sur les mois de mars et avril, peu consommateurs en énergie, on peut voir que quasiment l'ensemble de l'énergie est produite par les panneaux photovoltaïques.

3.4.5 Rentabilité à long terme

Grâce à nos estimations d'énergie potentiellement autoconsommée, nous pouvons en déduire la quantité d'électricité que le bâtiment n'aura pas besoin de soustraire au réseau. On observe que sur les prochaines années, les professionnels de l'électricité prévoient une augmentation du coût de l'électricité de 3 à 5% par an (figure 17).

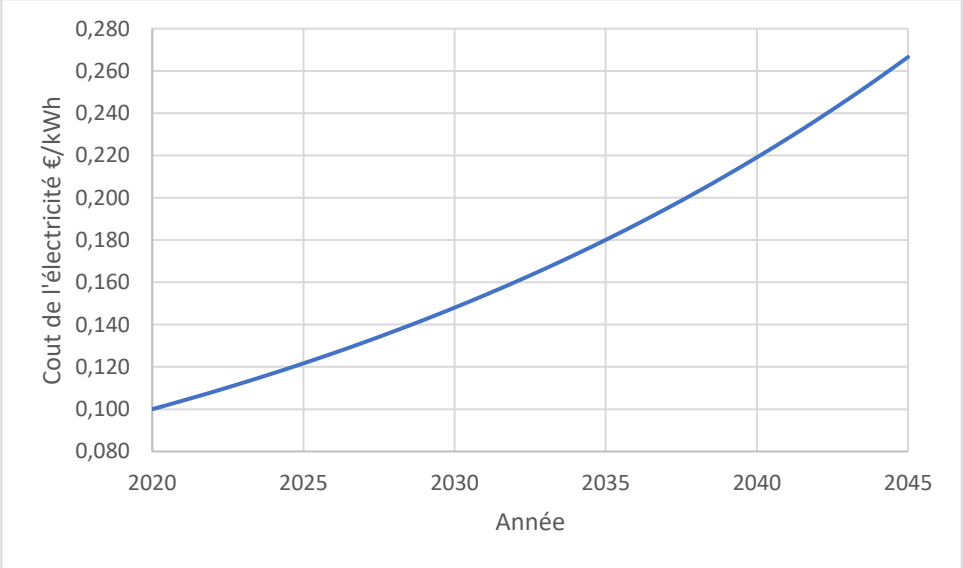


Figure 17 : Evolution du coût de l'électricité sur 25 ans en France en prenant une augmentation de 4% par an

Le coût d'une centrale est évalué entre 1,2 et 1,5€/Wc, pour 180 kWc, le prix va donc varier entre 216 000 et 270 000 €. L'hypothèse d'un apport de fonds propres de l'entreprise à hauteur de 20% a été retenue, donc un niveau de dette de 80 %. L'emprunt serait fait sur 15 ans avec un taux d'intérêt de 1%.
Pour réaliser un retour sur investissement le plus juste possible, nous avons pris en compte la maintenance, l'assurance ainsi que le remplacement des onduleurs tous les 10 ans. (Annexe 6)

Tableau 20 : Paramètres pour calculer la rentabilité à long terme de l'installation photovoltaïque

Centrale photovoltaique	
Puissance centrale (kWc)	180,0
Energie solaire produite (MWh/an)	228,7
Productible (kWh/kWc)	1270,5
Electricité consommée par le batiment (MWh/an)	366,8
Electricité autoconsommée (MWh/an)	205,1
Electricité écrêtée (MWh/an)	23,6
Dégradation de la centrale	0,50%
Taux d'autoproduction	56%
Taux d'autoconsommation	90%

Tarifs de l'éléctricité	
Coût du kWh année 0 (€)	0,1
Inflation du tarif %/an	4%

Investissement	
Cout centrale €/Wc	1,2
Estimation coût centrale (€)	**216 000 €**

Cout d'exploitation	
Maintenance €/an	1300
Inflation annuelle %	1%
Assurance €/an	1000

Financement	
Niveau de dette(%)	80%
Taux d'intêret	1%
Durée du prêt (années)	15
Fonds propre (20%)	43 200 €
Montant emprunté(80%)	172 800 €
Calcul amortissement (années)	15

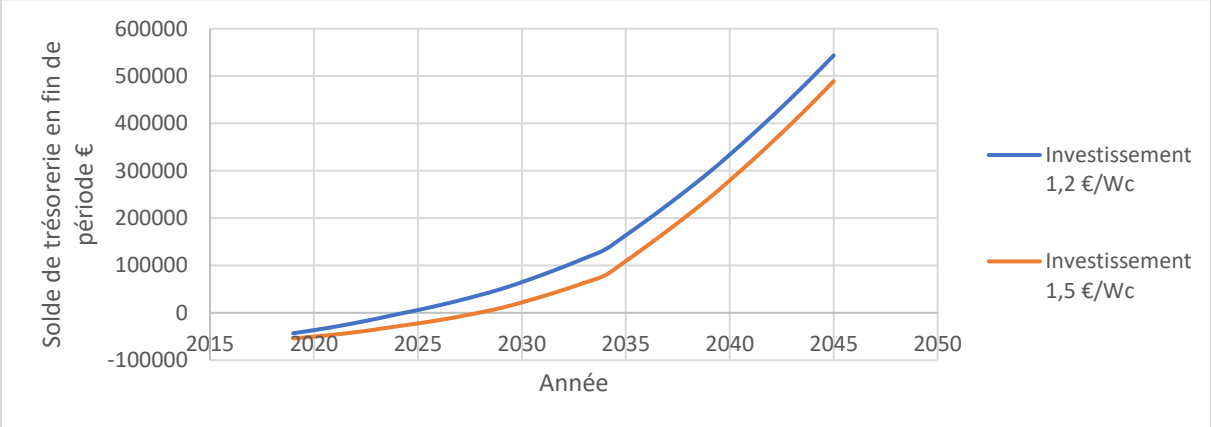


Figure 18 : Retour sur investissement de la centrale photovoltaïque en fonction de l'investissement de départ

On peut observer que si l'investissement initial est de l'ordre de 1,2 €/Wc, nous trouvons un retour sur investissement théorique de 5 ans, alors que si l'investissement est de 1,5 €/Wc, le retour sur investissement serait de 8 ans. On peut également observer qu'à long terme, avec une durée de vie des panneaux solaires estimée à 25 ans (mais pouvant aller jusqu'à plus de 30 ans), l'investissement serait très rentable.

3.4.6 L'implantation des panneaux sur le site

L'implantation des panneaux solaires sur le site est un sujet important. Il faut que les panneaux ne soient pas trop éloignés de la cave pour réaliser des économies en câbles électriques. De plus l'emplacement des panneaux est réglementé, en effet la chambre d'agriculture n'accepte pas l'implantation de champs photovoltaïque sur des terrains agricoles pour cause d'artificialisation des sols. Deux idées ont alors été soumises, une serre photovoltaïque, qui rentrerait dans le cadre de la ferme écologique, ou le positionnement des panneaux au-dessus des bassins de rétention des eaux de pluie sur une charpente métallique.

Après réflexion la serre photovoltaïque n'a pas été retenue pour cause du manque de pertinence de faire une culture sous les panneaux solaires. En effet d'après certaines études, il y aurait une diminution de la pollinisation des abeilles due aux ondes émises par les panneaux mais également une chute de la production végétale due à la diminution de l'exposition au soleil des plantes sous l'ombre des panneaux.

Il a donc été retenu l'idée de mettre les panneaux solaires sur une charpente métallique au-dessus des bassins de rétention des eaux pluviales. Cela permet d'avoir un double usage sur une surface de sol obligatoirement artificialisé par les bassins de rétention.

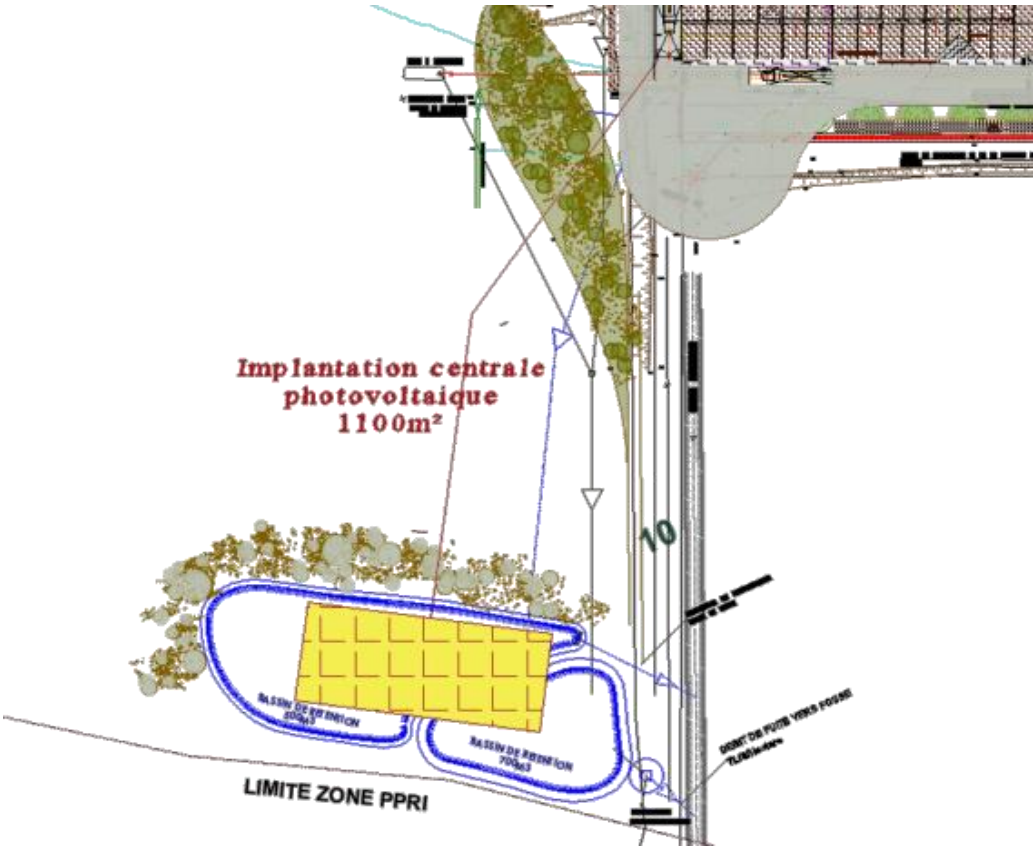


Schéma 9 : Implantation de la centrale photovoltaïque sur les bassins de rétention des eaux

I) Discussion

4.1) Intérêt écologique, éthique et financier de la réhabilitation de cette cave

Il est très difficile d'estimer l'impact qu'aura chaque choix lors de la construction, s'il vaut mieux terrasser pour avoir un bâtiment enterré et donc une forte inertie, ou construire un bâtiment bien isolé ou alors construire un bâtiment peu isolé avec une pompe à chaleur permettant de gérer les températures. Pour comparer tous ces modèles il faudrait réaliser des ACV sur chaque modalité, ce qui demande de prendre en compte de nombreuses variables difficilement définies dès le départ. C'est pourquoi dans notre étude nous avons entrepris une démarche scientifique claire mais qui n'a pas vocation à être totalement poussée dans l'ensemble des domaines étudiés.

Dans tous les cas le fait de rénover une cave déjà existante semble intéressant tant financièrement qu'écologiquement. En effet cela exige moins d'extraction de matière premières, moins d'énergie nécessaire à leur transformation et à leur transport.

4.2) Aspects critiques point par point

4.2.1 Gestion des effluents

Les deux solutions présentées dans ce document sont des solutions innovantes de gestion des effluents. D'après les entreprises commercialisant ces procédés il n'y a aucune gêne liée à l'odeur des effluents, il faudrait s'en assurer en visitant d'autres installations similaires, le problème étant qu'il en existe très peu pour le moment en France. Il aurait été intéressant de réaliser une ACV pour comparer ces deux systèmes avec d'autres systèmes de gestion des effluents (épandage, bassin d'évaporation), dans leur ensemble pour voir quel système a le moins d'impact sur la planète.

De plus certains points restent encore sans réponse :

- Aucune législation n'existe concernant la réutilisation des effluents de caves pour irriguer. Sera-t-il obligatoire d'irriguer une vigne bio avec des effluents provenant d'une cave ne vinifiant que des vins bios ?
- L'efficacité des traitements innovants et la pérennité de ces systèmes dans le temps ne sont pas connues.

4.2.2 Gestion thermique optimale des bâtiments

La simulation thermique dynamique est un outil intéressant pour concevoir ou rénover un bâtiment, cependant cela reste de la modélisation informatique, il se peut donc que certains paramètres essentiels soient oubliés ou que le bâtiment ne se comporte pas exactement comme nous l'avions prévu. Il serait donc intéressant de comparer les données calculées à l'aide de l'ordinateur avec les données réelles du bâtiment en fonctionnement. Nous avons eu l'idée, malheureusement trop tardive et présentant des aspects techniques contraignants, d'installer une sonde de température dans le bâtiment de Celeyran durant l'été 2019. Cette expérimentation aurait permis dans un premier temps de comparer les résultats de la STD du chai cuverie (option cuve vide) avec le suivi de température réalisée par la sonde. Si c'était à refaire nous aurions mis en place cet essai dès mai pour avoir les températures réelles dans le chai entre mai et octobre.

4.2.3 La production photovoltaïque autoconsommée

L'autoconsommation d'énergie photovoltaïque semble être à moyen et long terme une façon rentable de produire de l'énergie. De plus le fait d'auto-produire son énergie à l'aide d'énergie renouvelable permet à l'entreprise une certaine autonomie et résilience en cas de coupure électrique. Au sein de ce projet de grande envergure de ferme écologique, les panneaux photovoltaïques semblent être une technique durable et écologique de produire de l'électricité et sera donc un plus dans le discours oenotouristique du site.

Il est également intéressant de remarquer que l'installation de ces panneaux photovoltaïques peut se dérouler en plusieurs étapes, nous pouvons partir au départ sur une centrale de 100 kWc, ce qui permettrait à l'entreprise de toucher les aides de l'état de l'ordre de 9000€ pour ensuite rajouter des modules une fois la consommation réelle du site connue. Il est également important de souligner qu'à long terme le maître d'ouvrage souhaite rénover le château de Celeyran situé à deux pas de la cave. Ce château aurait une forte activité touristique,

donc essentiellement le week-end, cela permettrait de consommer l'électricité photovoltaïque produite en excès le week-end et donc possiblement de redimensionner à la hausse la quantité de panneaux.

Nous pouvons de plus critiquer nos estimations de consommation qui sont purement théoriques. Certaines consommations ont été sous-estimées pour ne pas prévoir trop de panneaux photovoltaïques. Ces estimations ont été faites sur le pas de la journée avec les informations connues de la future activité de la cave. Il sera intéressant de comparer ces estimations avec les données réelles après l'utilisation de la cave durant une année.

Enfin il serait intéressant de prolonger l'étude en prenant en compte la durée de vie totale du panneau photovoltaïque et de comparer à l'aide d'une ACV le cycle de vie du panneau de sa production à sa destruction avec l'ACV d'une production électrique nucléaire (60% de l'électricité produite en France)

II) Conclusion

Le secteur du bâtiment est actuellement l'un des secteurs le plus consommateur en matières premières et énergies ainsi que le premier producteur de déchets. Chaque jour des milliers de bâtiments voient le jour dans le monde et accroissent de plus en plus l'artificialisation des sols.

L'éco-conception est un concept récent permettant aux entreprises de diminuer leur impact sur la planète. Il est développé par de nombreuses entreprises d'un point de vue idéologique mais aussi marketing. En effet, c'est un nouveau concept « tendance », qui permet aux entreprises de se démarquer de leurs concurrents en jouant sur la mouvance écologique actuelle.

Il est assez simple de prôner les bonnes pratiques de son entreprise, cependant en s'y penchant d'un peu plus près, il est très compliqué, aujourd'hui, d'évaluer l'impact d'une action sur notre planète. En ce temps de très forte mondialisation toutes les entreprises sont interconnectées, des milliards d'échanges sont réalisés tous les jours et uniquement une ACV poussée permettrait de comparer réellement deux actions/techniques de construction.

Concernant le chai viticole c'est le même problème se pose : il est extrêmement difficile de mesurer l'impact de nos choix, c'est pourquoi il est important de faire le maximum d'efforts sur ce qui nous est possible de quantifier telle que la consommation en eau et en électricité de la future cave.

L'éco-conception est donc un concept à la mode, peut-être pas toujours pour les bonnes raisons, mais il s'avère indispensable dans le raisonnement de construction des générations futures.

Comme expliqué en introduction, très peu d'études ont été réalisées sur l'impact de la construction d'un chai, il est donc important de poursuivre cette démarche innovante, faite d'analyses et d'expériences, pour en réduire au maximum les effets nocifs sur l'écosystème.

Références bibliographiques

Présentée dans l'ordre d'apparition :

[1] BRUNDTLAND, Gro Harlem. Rapport Brundtland. *Ministère des Affaires étrangères et du Développement international. L'Odyssée du développement durable*, 1987.

[2] CNTE (2016), Consulté le 5 aout 2019, : Stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable :https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/SNTEDD%20%20Le%20premier%20rapport_0.pdf

[3] Julián Ortiz Castaño. L'écoconception de bâtiments et de matériaux de construction face aux défis des territoires durables : l'échelle des écoquartiers, prospectives et définition des indicateurs. *Géographie*. 2017.

[4] ETCHEBARNE, Flor, ECHEGOYEN, Maia, et PEREYRA, Gustavo. Irri-Alt'Eau-Des eaux traitées en quantité et qualité maîtrisées pour l'irrigation par goutte-à-goutte de la vigne: Partie 2/2. *Revue des oenologues et des techniques vitivinicoles et oenologicques: magazine trimestriel d'information professionnelle*, 2016, vol. 43, no 161, p. 12-15.

[5] RACAULT, Yvan, STRICKER, Anne-Emmanuelle, et VEDRENNE, Jacky. Les effluents vinicoles : problématique du traitement et premier bilan sur la conception et le fonctionnement des procédés biologiques. *Ingénieries-EAT*, 2002, no 32, p. p. 13-p. 26

[6] France Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, Arrêté du 26/11/12 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations relevant du régime de l'enregistrement au titre de la rubrique n° 2251 (préparation, conditionnement de vins) de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement, journal officiel n°277 du 28 novembre 2012

[7] HOWELL, C. L. et MYBURGH, P. A**.** Management of winery wastewater by re-using it for crop irrigation-A review. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 2018, vol. 39, no 1, p. 116-131

[8] KUMAR, A., RENGASAMY, P., SMITH, L., *et al. Sustainable recycled winery water irrigation based on treatment fit for purpose approach*. Technical report, CSIRO, Australia, 2014.

[9] MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ENERGIE, DE LA SANTE, DE L'AGRICULTURE DE L'AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORET. Arrêté du 25 juin 2014 modifiant l'arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts. *Journal Officiel n°0153 du 4 juillet 2014, texte n°29*

[10] MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE, DU TRANSPORT ET DU LOGEMENT. Décret n° 2017-676 du 28 avril 2017 relatif à l'autoconsommation d'électricité et modifiant les articles D. 314-15 et D. 314-23 à D. 314-25 du code de l'énergie. *Journal Officiel n°0102 du 30 avril 2017, texte n°6*

[11] Anonyme « Consommation d'énergie dans les chais : résultats en Bourgogne et perspectives » 2 avril 2015, https://extranet.bivb.com/technique-et-qualite/developpement-durable/energie/gallery_files/site/2992/3312/35144.pdf site consulté le 3 mai 2019

[12] BROUILLET, J. L., PICOT, B., SAMBUCO, J. P., *et al.* Ecotechniques d'assainissement des eaux usées domestiques: évolution et perspectives. *XIIIe Congrès Mondial de l'Eau, 1er au*, 2008, vol. 4.

[13] PARCS NATURELS REGIONAUX DU HAUT-JURA ET DU MORVAN, Choix de techniques d'assainissement adaptées aux communes et ruisseaux de tête de bassin versant, *Septembre 2009,*

[14] CLIMATE-DATA, consultée le 28 juillet 2019, https://fr.climate-data.org/europe/france/languedoc-roussillon/narbonne-59710/

[15] JOURJON, F., KHALDI, S., REVEILLERE, M., *et al.* Microbiological characterization of winery effluents: an inventory of the sites for different treatment systems. *Water Science and Technology*, 2005, vol. 51, no 1, p. 19-26.

[16] ROCHARD, J., MARENGO, E., MARENGO, D., *et al.* Ecoconception des caves: Réduction de la consommation d'énergie et intégration paysagère du traitement des effluents de cave avec le dispositif de lit planté de roseaux sur support zéolithe Zeofito. *OIV Congres*, 2019

[17] ROCHARD, J., OLDANO, A., et MARENGO, D. ZeofitoTM, the active phytopurification system. In : *5th international specialized conference on sustainable viticulture: winery waste and ecologic impacts management*. 2009.

[18] ROCHARD, J., MARENGO, E. Experimentation constructed wetlands with zeolite for wine wasterwater treatment : Zeofito. *13th International Conference Wetland Systems for Water Pollution Control.* 2012

Annexes

Annexe 1 : Extrait du tableau donnant le niveau de qualités des eaux usées traitées pour l'irrigation en fonction des cultures

TYPE D'USAGE	NIVEAU DE QUALITÉ SANITAIRE DES EAUX USÉES TRAITÉES			
	A	B	C	D
Cultures maraîchères, fruitières et légumières non transformées par un traitement thermique industriel adapté (excepté cressiculture (1)	+	-	-	-
Cultures maraîchères, fruitières, légumières transformées par un traitement thermique industriel adapté	+	+	-	-

Annexe 2 : Tableau donnant les paramètres qualitatifs requis des différents niveaux de qualités des eaux usées traitées

PARAMÈTRES	NIVEAU DE QUALITÉ SANITAIRE DES EAUX USÉES TRAITÉES			
	A	B	C	D
Matières en suspension (mg/ L)	< 15	Conforme à la réglementation des rejets d'eaux usées traitées pour l'exutoire de la station hors période d'irrigation		
Demande chimique en oxygène (mg/ L)	< 60			
Escherichia coli (UFC/ 100mL)	≤ 250	≤ 10 000	≤ 100 000	-
Entérocoques fécaux (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Phages ARN F-spécifiques (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2
Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices (abattement en log)	≥ 4	≥ 3	≥ 2	≥ 2

Annexe 3 : Tableau récapitulatif des simulations thermiques dynamiques du chai barriques

base	version de base isolation toiture terrasse 200 mm (R=9)		
	sans ventilation		
Heures T°>16°C/an	4825		
T° maxi (°C)	28,4		
Puissance froid (kW)	61		
Consommation froid (kWh/an)	68 000		
Conclusion: cette STD permet de fixer les valeurs de base permettant le calcul des gains à venir en fonction des diverses solutions constructives envisagées.			
Nota: les puissances et consommations notées correspondent aux besoins nécessaires pour obtenir une température d'ambiance de 16°C et ainsi ramener à 0 heure d'inconfort.			
Variable 1:	Isolation toiture terrasse		
	R=6,35 (polyuréthane 140 mm)	R=9 (polyuréthane 200 mm)	Gain
Heures T°>16°C/an	4790	4825	35
T° maxi (°C)	28,5	28,4	-0,1
Puissance froid (kW)	62	61	-1
Consommation froid (kWh/an)	69 000	68 000	-1000
Conclusion: augmenter l'épaisseur d'isolant n'a que peu d'incidence sur les résultats, quel que soit le domaine. Il est néanmoins évident que conserver un R=9 sera bénéfique lorsque le chai sera rafraichi. Les STD suivantes vont intégrer une isolation de la toiture terrasse au R=9.			
Nota: les puissances et consommations notées correspondent aux besoins nécessaires pour obtenir une température d'ambiance de 16°C et ainsi ramener à 0 heure d'inconfort.			
Variable 2:	Murs non enterrés		
	non enterré	enterré	Gain
Heures T°>16°C/an	4667	4825	158
T° maxi (°C)	29,1	28,4	-0,7
Puissance froid (kW)	80	61	-19
Consommation froid (kWh/an)	102 000	68 000	-34000
Conclusion: le but de cette simulation est de s'assurer de la pertinence de l'enfouissement partiel du chai (50% des murs). La consommation énergétique est la variable impactée la plus importante, elle est le reflet de la perte d'inertie et des apports de fraicheur naturels. Le choix architectural est justifié.			
Nota: les puissances et consommations notées correspondent aux besoins nécessaires pour obtenir une température d'ambiance de 16°C et ainsi ramener à 0 heure d'inconfort.			
Variable 3:	ventilation free-cooling nocturne et isolation toiture 200 mm (R=9)		
	sans ventilation	avec ventilation	Gain
Heures T°>16°C/an	4825	4193	-632
T° maxi (°C)	28,4	27,7	-0,7
Puissance froid (kW)	61	61	0
Consommation froid (kWh/an)	68 000	65 000	-3000
Conclusion: l'absence de ventilation est extrêmement préjudiciable à la gestion thermique du chais: les inévitables apports thermiques quotidiens ne sont pas évacués et augmentent l'inconfort. La surventilation nocturne qui n'utilise que les apports gratuits permet de gagner 1mois de traitement thermique. Il peut paraitre surprenant que la consommation énergétique ne diffère guère d'une solution à l'autre: cela s'explique par le fait que les heures d'inconfort gagnées le sont en mi-saison: le degré qui permet de passer l'ambiance de 17 à 16°C n'est pas le plus énergivore.			
Nota: les puissances et consommations notées correspondent aux besoins nécessaires pour obtenir une température d'ambiance de 16°C et ainsi ramener à 0 heure d'inconfort.			
Variable 4:	puits climatique et isolation toiture 200 mm (R=9)		
	free-cooling	free-cooling + puit climatique	Gain
Heures T°>16°C/an	4193	3717	-476
T° maxi (°C)	27,7	26,6	-1,1
Puissance froid (kW)	61	61	0
Consommation froid (kWh/an)	65 000	58 000	-7000
Conclusion: le puits climatique assorti d'une gestion des heures de fonctionnement et des températures extérieures permet d'obtenir le meilleur résultat: 20 jours d'inconfort en moins qui engendrent la baisse des consommations énergétiques. Les études économiques vont démontrer que cette solution n'est pas viable car le retour sur investissement excède 50 ans.			
Nota: les puissances et consommations notées correspondent aux besoins nécessaires pour obtenir une température d'ambiance de 16°C et ainsi ramener à 0 heure d'inconfort.			

Annexe 4 : Tableau récapitulatif des simulations thermiques dynamiques du chai cuverie

base	Version de base: isolation toiture R=10,2		
	niveau bas	niveau haut	
Heures T°>22°C/an	2019	2323	
T° maxi (°C)	30,4	32,8	
Puissance froid (kW)	150	160	
Consommation froid (kWh/an)	67 000	80 000	
Conclusion: cette STD permet de fixer les valeurs de base permettant le calcul des gains à venir en fonction des diverses solutions constructives envisagées.			
Variable 1:	**isolation toiture R=7,4 - niveau BAS**		
	R=10,2	R=7,4	Gain
Heures T°>22°C/an	2019	2019	0
T° maxi (°C)	30,4	30,4	0
Puissance froid (kW)	150	150	0
Consommation froid (kWh/an)	67 000	67 000	0
	isolation toiture R=7,4 - niveau HAUT		
	R=10,2	R=7,4	Gain
Heures T°>22°C/an	2323	2325	2
T° maxi (°C)	32,8	32,9	0,1
Puissance froid (kW)	160	163	3
Consommation froid (kWh/an)	80 000	81 000	1000
Conclusion: sans surprise, le niveau bas n'est pas impacté par l'amincicement de l'isolation sous toiture. Le volume très important du cuvier est à l'origine de la faible évolution de la partie haute: la T° maximale n'augmente quasiment pas.			
Variable 2:	**Isolation par l'extérieur du mur sud - niveau BAS**		
	sans ITE	avec ITE R=3,15	Gain
Heures T°>22°C/an	2019	1966	-53
T° maxi (°C)	30,4	29,9	-0,5
Puissance froid (kW)	150	132	-18
Consommation froid (kWh/an)	67 000	58 000	-9000
	Isolation par l'extérieur du mur sud - niveau HAUT		
	sans ITE	avec ITE R=3,15	Gain
Heures T°>22°C/an	2323	2295	-28
T° maxi (°C)	32,8	32,3	-0,5
Puissance froid (kW)	160	142	-18
Consommation froid (kWh/an)	80 000	70 000	-10000
Conclusion: les gains sont présents mais ils ne sont que des résultantes éronées car il n'est pas possible de calculer le gain sur la masse du vin qui est moins surchauffée grace à à l'ITE. Le gain ne pourra être que supérieur à celui annoncé.			
Variable 3:	**température de confort à 25°C - niveau BAS**		
	22°C	25°C	Gain
Heures T°>22°C - 25°C/an	2019	975	-1044
	température de confort à 25°C - niveau HAUT		
	22°C	25°C	Gain
Heures T°>22°C - 25°C/an	2323	1204	-1119
Conclusion: cette simulation n'a pour but que de démontrer l'importance du choix de la température de confort dans les objectifs donnés: +3°C permettent de diviser par deux les heures de dépassement, les puissances et les consommations seront largement diminuées également.			

Variable 4:	Cuves vides - niveau BAS		
	cuves vides	cuves pleines	Gain
Heures T°>22°C/an	2706	2019	-687
T° maxi (°C)	30,5	30,4	-0,1
	Cuves vides - niveau HAUT		
	cuves vides	cuves pleines	Gain
Heures T°>22°C/an	3087	2323	-764
T° maxi (°C)	34,9	32,8	-2,1
Conclusion: cette STD met en évidence l'inertie et l'importance des apports du vin dans la gestion du chai. Conserver les cuves vides est extrêmemnt préjudiciable à l'équilibre thermique du cuvier.			
Variable 5:	Ventilation nocturne - niveau BAS		
	sans ventilation	avec ventilation	Gain
Heures T°>22°C/an	2019	1862	-157
T° maxi (°C)	30,4	30,1	-0,3
Puissance froid (kW)	150	150	0
Consommation froid (kWh/an)	67 000	67000	0
	Ventilation nocturne - niveau HAUT		
	sans ventilation	avec ventilation	Gain
Heures T°>22°C/an	2323	2164	-159
T° maxi (°C)	32,8	32,7	-0,1
Puissance froid (kW)	160	160	0
Consommation froid (kWh/an)	80 000	80000	0
Conclusion: la ventilation nocturne procure des effets mitigés et des gains assez faibles. Le manque d'inertie de la toiture ne permet pas un déphasage suffisant pour que la ventilation soit efficace.			
Variable 6:	Puits climatique - niveau BAS		
	avec ventilation nocturne	avec puits climatique	Gain
Heures T°>22°C/an	1862	1756	-106
T° maxi (°C)	30,1	30,1	0
Puissance froid (kW)	150	150	0
Consommation froid (kWh/an)	67000	61000	-6000
	Puits climatique - niveau HAUT		
	avec ventilation nocturne	avec puits climatique	Gain
Heures T°>22°C/an	2164	2101	-63
T° maxi (°C)	32,7	32,6	-0,1
Puissance froid (kW)	160	160	0
Consommation froid (kWh/an)	80000	75000	-5000
Conclusion: le puits climatique assorti d'une gestion des heures de fonctionnement et des températures extérieures permet d'obtenir des résultats en adéquation avec la surventilation nocturne: peu d'effet pour un investissement important.			
Nota: les puissances et consommations notées correspondent aux besoins nécessaires pour obtenir une température d'ambiance de 22°C et ainsi ramener à 0 heure d'inconfort.			

Annexe 5 : Calcul surface d'une cuve cylindrique

Calcul surface de cuve cylindrique :

- Avec V = 20 m^3 ; R = 1,25 m
- Surface cuve = 2 x pi x R x H
- Volume = pi x R^2 x H
- On a donc H = V/ (pi x R^2) = S/ (2 x pi x R)
- Soit S = 2V/R = 2 x 20 / 1,25 = 32 m^2

Annexe 6 : Tableau du calcul de retour sur investissement pour un coût de centrale de 1,2€/Wc

Année	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Hypothèse efficience des modules		100%	99,50%	99,00%	98,50%	98,00%	97,50%	97,00%	96,50%	96,00%	95,50%	95,00%
Production annuelle éléc kWh		205132	204106	203081	202055	201029	200004	198978	197952	196927	195901	194875
Tarif de consommation avec inflation (€/kWh)		0,100	0,104	0,108	0,112	0,117	0,122	0,127	0,132	0,137	0,142	0,148

Compte de résultat

Economies d'éléctricité (€/an)		**20513**	**21227**	**21965**	**22728**	**23518**	**24334**	**25177**	**26049**	**26951**	**27883**	**28846**
Entretien		1300	1313	1326	1339	1353	1366	1380	1394	1408	1422	1436
Assurance		1000	1010	1020	1030	1041	1051	1062	1072	1083	1094	1105
Provision remplacement onduleurs							1320	1320	1320	1320	1320	
Total charges d'exploitation (€/an)		**2300**	**2323**	**2346**	**2370**	**2393**	**3737**	**3761**	**3786**	**3811**	**3835**	**2541**
Résultat d'exploitation		**18213**	**18904**	**19619**	**20359**	**21124**	**20596**	**21416**	**22263**	**23140**	**24047**	**26306**
Intêret emprunts		115,2	115,2	115,2	115,2	115,2	115,2	115,2	115,2	115,2	115,2	115,2
Amortissement comptable		14400	14400	14400	14400	14400	14400	14400	14400	14400	14400	14400
Résultat		**3698**	**4389**	**5104**	**5844**	**6609**	**6081**	**6900**	**7748**	**8625**	**9532**	**11790**

Tresorerie

Solde de trésorerie en début de période		- 43 200	- 36 622	- 29 353	- 21 369	- 12 646	- 3 157	5 804	15 585	26 213	37 718	50 130
Flux de trésorerie Brut		18098	18789	19504	20244	21009	20481	21300	22148	23025	23932	26190
Remboursement emprunt		11520	11520	11520	11520	11520	11520	11520	11520	11520	11520	11520
Flux de trésorerie net	- 43 200	6 578	7 269	7 984	8 724	9 489	8 961	9 780	10 628	11 505	12 412	14 670
Solde de trésorerie en fin de période	**- 43 200**	**- 36 622**	**- 29 353**	**- 21 369**	**- 12 646**	**- 3 157**	**5 804**	**15 585**	**26 213**	**37 718**	**50 130**	**64 800**

2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
94,50%	94,00%	93,50%	93,00%	92,50%	92,00%	91,50%	91,00%	90,50%	90,00%	89,50%	89,00%	88,50%	88,00%	87,50%
193850	192824	191798	190773	189747	188722	187696	186670	185645	184619	183593	182568	181542	180516	179491
0,154	0,160	0,167	0,173	0,180	0,187	0,195	0,203	0,211	0,219	0,228	0,237	0,246	0,256	0,267

29842	**30872**	**31936**	**33036**	**34172**	**35347**	**36561**	**37816**	**39113**	**40452**	**41837**	**43267**	**44745**	**46272**	**47849**
1450	1465	1480	1494	1509	1524	1540	1555	1571	1586	1602	1618	1634	1651	1667
1116	1127	1138	1149	1161	1173	1184	1196	1208	1220	1232	1245	1257	1270	1282
				1320	1320	1320	1320	1320						
2566	**2592**	**2618**	**2644**	**3990**	**4017**	**4044**	**4071**	**4099**	**2806**	**2835**	**2863**	**2891**	**2920**	**2950**
27276	**28280**	**29318**	**30392**	**30182**	**31330**	**32517**	**33745**	**35014**	**37646**	**39002**	**40404**	**41853**	**43351**	**44900**
115,2	115,2	115,2	115,2											
14400	14400	14400	14400											
12761	**13765**	**14803**	**15877**	**30182**	**31330**	**32517**	**33745**	**35014**	**37646**	**39002**	**40404**	**41853**	**43351**	**44900**

64 800	80 441	97 086	114 769	133 526	163 708	195 038	227 556	261 301	296 314	333 960	372 962	413 367	455 220	498 571
27161	28165	29203	30277	30182	31330	32517	33745	35014	37646	39002	40404	41853	43351	44900
11520	11520	11520	11520											
15 641	16 645	17 683	18 757	30 182	31 330	32 517	33 745	35 014	37 646	39 002	40 404	41 853	43 351	44 900
80 441	**97 086**	**114 769**	**133 526**	**163 708**	**195 038**	**227 556**	**261 301**	**296 314**	**333 960**	**372 962**	**413 367**	**455 220**	**498 571**	**543 471**

Eco-conception de bâtiment vinicole appliqué au chai de Celeyran

Résumé :

L'éco-conception de bâtiment est un concept apparu au début des années 2000 en réponse aux enjeux actuels liés au réchauffement climatique et à la perte de biodiversité due aux pratiques humaines. L'éco-conception vise à créer ou réhabiliter des bâtiments de la manière la plus écologique possible, elle peut être appliquée à l'ensemble des constructions, c'est pourquoi nous avons entrepris de l'appliquer à la spécificité des bâtiments vinicoles. Au sein d'une construction, de nombreux points peuvent être améliorés telles que la consommation en eau et en électricité du bâtiment, les matériaux utilisés et l'efficacité thermique des bâtiments.

Dans un premier temps, nous avons décidé de traiter comme sujet la gestion des effluents de caves en présentant des nouvelles techniques de traitement des effluents. Ces nouvelles techniques utilisent la phytoépuration à l'aide de bambous ou de roseaux, cela permet un traitement des déchets peu énergivore, émettant peu d'odeur et fonctionnant tout au long de l'année. La bambouseraie permet une gestion des effluents vinicoles sans export de matière et les roseaux plantés sur lits de zeolithe permettraient d'obtenir une eau traitée possiblement réutilisable pour l'irrigation.

Ensuite nous avons utilisé un logiciel permettant de modéliser l'évolution des températures dans le bâtiment au cours de l'année en fonction des techniques de construction (simulation thermique dynamique), ce qui nous a permis de réaliser des choix constructifs pour le futur bâtiment.

Enfin nous nous sommes penchés sur la mise en place de panneaux photovoltaïques en autoconsommation qui alimenteraient en électricité un bâtiment de négoce en vin. Une modélisation de la future consommation en électricité du bâtiment a été faite ainsi qu'un pré-dimensionnement de la future centrale électrique pour répondre à une partie des besoins du bâtiments. On a observé que ce domaine consommerait aux alentours de 360 MWh par an et qu'une installation de 180 kWc de panneau serait optimale pour la consommation électrique de ce bâtiment.

Mots clés :

Vin, Cave Vinicole, Eco-conception, Photovoltaïque, Gestion des déchets, Consommation en eau et électricité, Process

Eco-design of wine cellar based on Celeyran cellar

Abstract

At the beginning of the 20th century, buildings eco-design concept appeared in reponse of the global warming and the biodiversity loss due to human activity. The aim of eco-design is to create and restore building without impact on the earth. This concept can be applied on all constructions, that's why we tried to apply this to the specificity of the wine cellar. In the construction environment, many points can be improved such as water and electricity consumption, used materials and buildings thermal efficiency.

First, we decided to reflect about the winery effluent management. We find new technics to manage winery effluents. These new technics used phytopurification with bamboo or reeds. These technics use less electricity, smell better, and work all over the year. Bamboo plantations allow effluent management without export of water/sludge and planted bed of reeds on zeolithe permit to obtain a clean water who can be reused for irrigation in the future.

Then, we used a software to model the impact of the construction technics on the evolution of temperatures in the cellar during the year (dynamic thermal simulation). That allow us to make important construction choices.

Last but not least, we worked on the installation of solar panels next to a wine cellar. The aim of this installation is to produce half of the total electricity consumption of the building. We simulated the future electricity consumption of the cellar, the production of solar panels in the area of Narbonne and the size of the central needed. We observed that this cellar will need around 360 MWh by year and the optimal central for this site would be a central of 180 kWc.

Key words

Wine, Wine Cellar, Eco-design, Photovoltaic, Waste Management, Water and Electricity consumption, process

Montpellier SupAgro

2 place Pierre Viala F 34060 MONTPELLIER cedex 2
Tel ; 33(0)4 99 61 22 00