



RAPPORT FINAL

PROJET DE GAZEIFICATION CAVALE



Nature du Document	: Rapport final
Titre	: Installation d'un gazéifieur de marc de raisin – Limoux (11300)
Entreprise	: Coopérative CAVALE
Date	: 05 février 2025
Auteure	: Marine DINGREVILLE, responsable technique de la distillerie CAVALE
E-Mail	: m.dingreville@coop-cavale.fr
Tel	: 04 68 31 00 63
Internet	: https://www.coop-cavale.fr/

Table des matières

1. Bilan d'exploitation	3
1.1. Production de syngas	3
1.2. Consommation de biomasse.....	5
1.3. Production de biochar.....	7
1.4. Synthèse de fonctionnement.....	8
2. Mesures d'émissions.....	9
3. Problèmes techniques rencontrés.....	11
3.1. Les goudrons	11
3.2. Le matériel	12
3.3. La conformité	12
3.4. L'exploitation	12
3.5. Le biochar.....	13
Conclusion	14

1. Bilan d'exploitation

L'outil de pilotage permettant de suivre la production de syngas à partir de la biomasse est Biogasview. L'installation de gazéification permet de substituer le gaz naturel utilisé sur le séchoir à pépins. Cet atelier fonctionne chaque année d'octobre à mai. Il n'est pas en fonctionnement entre mai et octobre, ce qui explique qu'il n'y a pas de production de syngas sur ces mois de l'année.

1.1. Production de syngas

L'installation de gazéification a été montée par les équipes d'Eiffage Energie Systèmes durant l'été 2022. La SAT (Site Acceptance Test) a été réalisée les 04 et 05 octobre 2022 et a permis de mesurer les performances de l'installation de gazéification telles que définies dans le contrat.

[7.1] Puissance (mois)

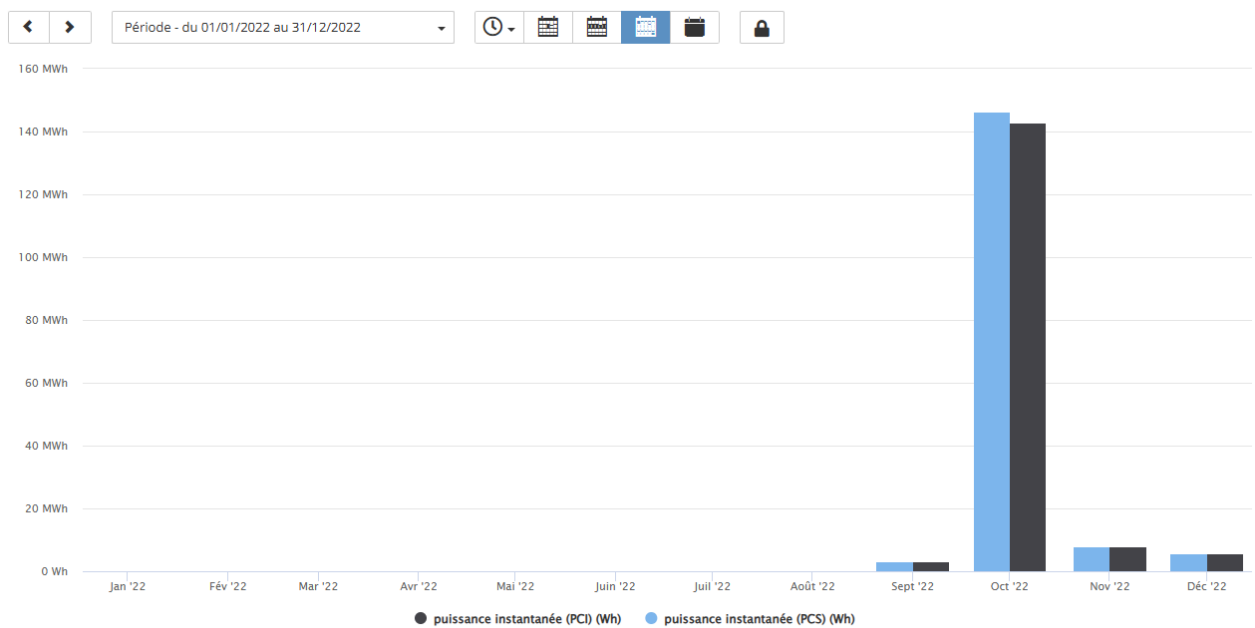


Figure 1: quantité de syngas produite en 2022

En 2022, l'installation a produit 163,58 MWh de syngas soit 181,33 heures de fonctionnement.

[7.1] Puissance (mois)

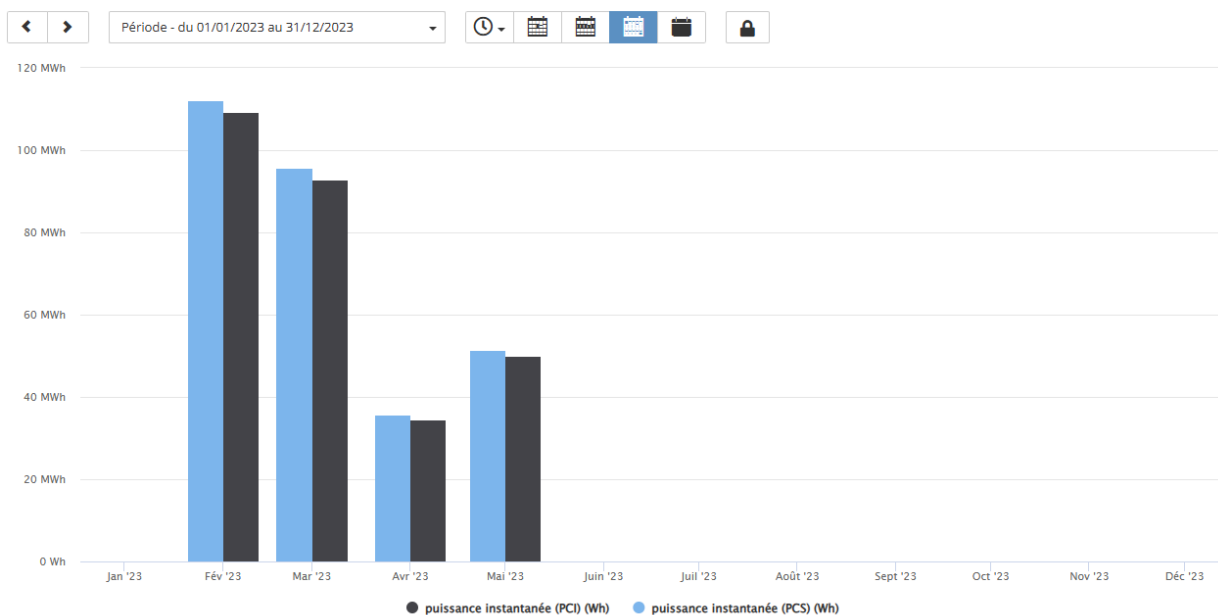


Figure 2: quantité de syngas produite en 2023

En 2023, l'installation a produit 294,76 MWh de syngas soit 322,17 heures de fonctionnement.

[7.1] Puissance (mois)

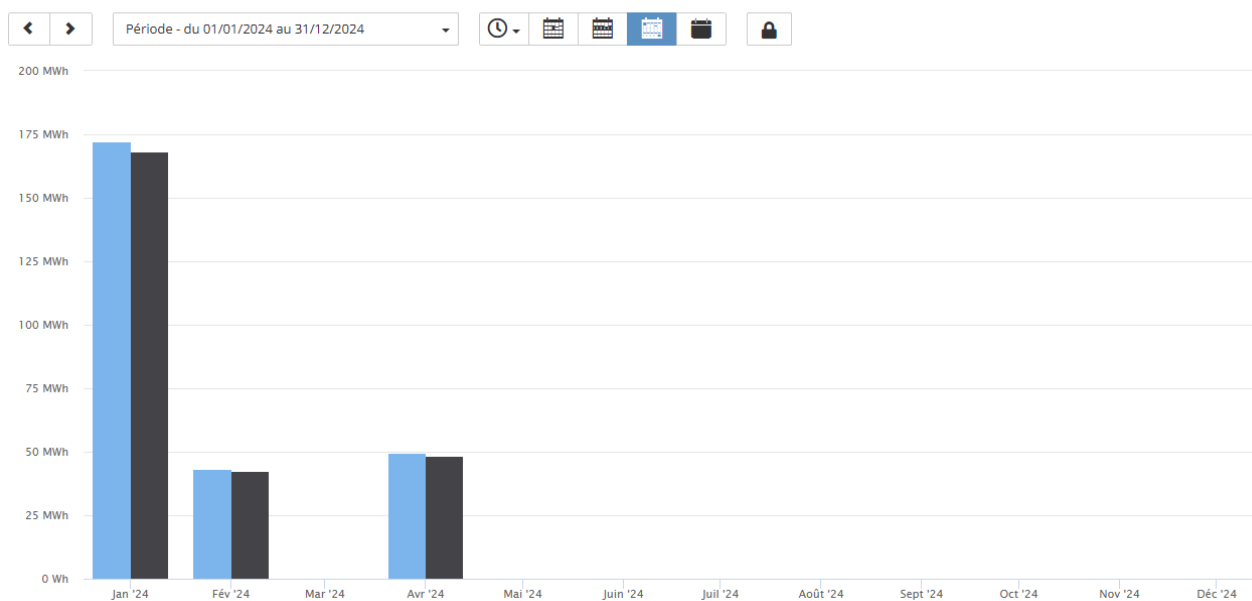


Figure 3: quantité de syngas produite en 2024

En 2024, l'installation a produit 264,92 MWh de syngas soit 274,67 heures de fonctionnement.

Des mesures sur le syngas ont été réalisées par le CIRAD en mars 2023. Le tableau ci-dessous reprend la composition du syngas sec (sachant qu'il présente une humidité environ égale à 10,5%).

Tableau 1: teneur en composés incondensables (sur syngas sec)

Teneur en composés incondensables (sur syngaz sec)		
N° prélèvement	1 (entrée brûleur)	2 (sortie gazo)
Date	14/03/2023	15/03/2023
H ₂ %vol	19,6	20,5
O ₂ %vol	1,5	0,9
N ₂ %vol	49,1	48,0
CH ₄ %vol	1,5	1,5
CO %vol	14,2	14,4
CO ₂ %vol	13,2	13,9
C ₂ H ₄ %vol	0,7	0,7
C ₂ H ₂ %vol	0,1	0,1
C ₂ H ₆ %vol	0,1	0,1

Le PCI du syngas peut alors être déterminé

Tableau 2: PCI du syngas

N° prélèvement	1 (entrée brûleur)	2 (sortie gazo)
Date	14/03/2023	15/03/2023
PCI (MJ/Nm ³)	4,9	5,1
PCI (kWh/Nm ³)	1,36	1,42

Le PCI moyen du syngas est donc de 1,39 kWh/Nm³

Au total, l'installation de gazéification a permis de produire **723,26 MWh** de syngas depuis sa mise en service, pour 778,17 heures de fonctionnement.

La puissance (PCS) moyenne est donc de 930 kW soit 93% de la puissance nominale (1 MW).

1.2. Consommation de biomasse

Pour rappel, voici les caractéristiques de la biomasse utilisée (pulpes de raisin séchées)

Tableau 3: caractéristiques de la biomasse utilisée

	Combustible utilisé Marc de raisin
Humidité (brute) (%m)	17,1
Taux de matières minérales (% masse anhydre)	7,4
Taux de matières volatiles (% m anhydre)	65,7
Carbone Fixe (% m anhydre)	26,9
PCS sur brut (kJ/g)	18,2
PCS sur anhydre (kJ/g)	22,01
PCS sur brut (kJ/g)	16,8
PCI sur anhydre (kJ/g)	20,8
N %m sur sec	2,0
C %m sur sec	44,1
H %m sur sec	5,7
O %m sur sec	40,8

La consommation de pulpes est estimée à 230 kg/heure alors que la consommation théorique et réelle lors de la mise en service était de 340 kg/heure. Cette consommation plus faible est due à des réglages réalisés lors de l'exploitation.

Il n'y a pas de mesure instantanée de la consommation de biomasse. Cela est suivi par les opérateurs qui comptent le nombre de godets de biomasse mis dans l'installation. Un godet pèse en moyenne 560 kg, cependant en fonction de la personne qui alimente l'installation, le godet peut être plus ou moins rempli.

Ainsi, la consommation de biomasse par année et au total est regroupée dans le tableau ci-après :

Tableau 4: quantité de biomasse consommée

	Heures de fonctionnement	Quantité de biomasse consommée
2022	181,33	61 652 kg (= 181,33 x 340)
2023	322,17	74 099 kg (= 322,17 x 230)
2024	274,67	63 174 kg (= 274,67 x 230)
TOTAL	778,17	198 925 kg

La consommation initiale avait été estimée à 340 kg/heure. Avec une consommation de 230 kg/heure, la consommation de biomasse a été optimisée.

1.3. Production de biochar

Tableau 5: Caractéristiques de l'échantillon de biochar (cendres)

	Echantillon de Résidus solides
Humidité (brute) (%m)	0.0
Taux de matières minérales (% masse anhydre)	25.5
Taux de matières volatiles (% m anhydre)	6.0
Carbone Fixe (% m anhydre)	68.5
PCS sur brut (kJ/g)	24,8
PCS sur anhydre (kJ/g)	24,8
PCI sur brut (kJ/g)	24,6
PCI sur anhydre (kJ/g)	24,6
N %m sur sec	2.1
C %m sur sec	70.2
H %m sur sec	0.9
O %m sur sec	1,3

L'analyse de l'échantillon de biochar (résidus solides) montre une teneur en matières minérales de 25,5%, une teneur en matières volatiles de 6% et une teneur en carbone fixe de 68,5% de la masse anhydre. Enfin le PCI est mesuré à 24,6 kJ/g.

Ces résultats traduisent la présence de carbone résiduel dans les résidus solides.

Les contraintes de conduite de l'installation de gazéification peuvent amener à évacuer régulièrement ces résidus en bas du réacteur afin d'éviter l'augmentation de la perte de charge qui peut être provoquée par la diminution de la taille des particules en cours de réaction de gazéification.

Ces analyses ont été effectuées sur un échantillon de biochar à un moment donné. Nous avons constaté que la diversité du biochar est influencée par plusieurs facteurs, notamment la nature de la biomasse et les paramètres de gazéification. Étant donné que la biomasse peut varier en fonction des cépages, des cultures, de l'origine ou encore de son taux d'humidité, la réaction de gazéification fluctue, impactant ainsi la composition du biochar.

La production de biochar est estimée à 20% de la biomasse entrante soit ± 46 kg par heure. La production totale de biochar a donc été de 35 795 kg

La certification du biochar étant complexe à obtenir, la CAVALE a décidé d'incorporer le biochar à son compost (Onze300) et ainsi créer une nouvelle gamme, le Onzechar. Le Onzechar est un amendement organique normé NFU 44-051. L'enrichissement en biochar de ce compost va l'activer et accélérer le

processus de minéralisation et améliorer la rétention en eau du sol. La fiche technique de ce produit est présentée en *annexe 1*.

1.4. Synthèse de fonctionnement

Le tableau 6 regroupe toutes les données de fonctionnement présentées ci-dessus :

	Heures de fonctionnement	Quantité de biomasse consommée	Quantité de syngas produite (MWh PCS)	Quantité de biochar produite (kg)	T eq CO2 évitées	€ gaz économisés (molécule + TICGN)
2022	181,33	61 652 kg	163,58	8 341	6,5	4 060 €
2023	322,17	74 099 kg	294,76	14 820	11,8	7 996 € €
2024	274,67	63 174 kg	264,92	12 634	11	22 685 € €
TOTAL	<u>778,17</u>	<u>198 925</u>	<u>723,26</u>	<u>35 795</u>	<u>29,3</u>	<u>34 741 €</u>

2. Mesures d'émissions

L'inspecteur de la DREAL a classé l'installation sous la rubrique ICPE 2260 (déclaration), installations de séchage par contact direct, mais nous a demandé de respecter les valeurs d'émissions de la rubrique ICPE 2910 B (enregistrement). Les mesures sur les fumées se font donc sur la cheminée en sortie de séchoir. Pour rappel, les valeurs limites des concentrations dans les rejets atmosphériques sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 6: valeurs limites des concentrations dans les rejets atmosphériques

Générateur de chaleur directe – <u>combustible solide</u>	2260	2910 B-1	2910 B-2
NOx (mg/Nm3)		400	400
Poussières (mg/Nm3)	100	30	30
COV (mg/Nm3)		150	150
HAP (mg/Nm3)			0,1
Dioxines et furanes (ng I-TEQ/Nm3)			0,1
Cd, Hg, Tl (mg/Nm3)			0,05
As, Se, Te (mg/Nm3)			1
Pb (mg/Nm3)			1
Sb, Cr, Co, Cu, Sn, Mn, Ni, V, Zn (mg/Nm3)			20

Afin de vérifier la conformité de l'installation avant changement du brûleur, des mesures ont été faites en amont de la mise en service. Les résultats sont présentés en *annexe 2*. Nous pouvons voir que les paramètres mesurés respectent les VLE sauf pour la concentration et le flux en COVNM, qui sont supérieures à la valeur réglementaire.

L'Arrêté du 22/10/18 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations relevant du régime de l'enregistrement au titre de la rubrique n° 2260 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement précise que « *la teneur en COVNM mesurée pourra être dépassée si l'exploitant justifie par une étude sectorielle ou tout autre moyen que le dépassement n'est pas lié au combustible mais au séchage du produit* ».

Dans notre cas, une note concernant les émissions de COV au niveau des sécheurs de marc dans les distilleries vinicoles avait été rédigée par l'Union Nationale des Groupements de Distillateurs d'Alcool. Elle avait mis en évidence que les émissions de COVNM étaient liées à la qualité de la matrice à sécher : richesse en COV du pépin en entrée, le taux d'humidité en entrée, la granulométrie et donc la présence plus ou moins importante de particules fines...

Une évaluation des risques sanitaires a tout de même été menée sur demande de la DREAL, afin de quantifier les risques sanitaires associés aux rejets atmosphériques en COVNM. L'APAVE a réalisé cette

étude dont la conclusion est que les rejets en COVNM en sortie du séchoir ne sont pas de nature à avoir un impact sur la santé et l'environnement.

L'APAVE a réalisé sur site une série de mesures sur les émissions atmosphériques lors du fonctionnement avec le syngas. Les résultats des mesures sont présentés en *annexe 3*.

Pour rappel, un cyclone et un filtre à manches sont installés en aval du réacteur de gazéification et en amont du brûleur afin « d'épurer » le syngas.

Comme expliqué précédemment, une non-conformité peut être observée sur les émissions en COVNM, cela est lié au séchage du produit.

Une autre non-conformité a été mesurée lors des essais, il s'agit des rejets en NOx. En effet, la valeur moyenne mesurée était de 460 mg/Nm³ alors que la VLE est fixée à 300 mg/Nm³. Après échanges avec le CIRAD, il a été décidé de refaire une campagne de mesures et de régler la combustion à l'aide d'un analyseur de fumées. Cette intervention a été réalisée les 14 et 15 mars 2023, les résultats sont présentés en *annexe 4*.

Les résultats montrent qu'un réglage adéquat du brûleur à syngas permet de limiter fortement la formation des « NOx thermiques » sans pour autant remonter la teneur en CO. Des valeurs basses en NOx et CO ont été mesurées grâce à un réglage approprié de l'air de combustion.

L'installation de gazéification respecte donc les VLE de l'arrêté ministériel 2910 B -Enregistrement.

3. Problèmes techniques rencontrés

3.1. Les goudrons

Lors de la mise en service de l'installation, nous avons été confrontés à des problèmes liés à la présence de goudrons. En effet, le syngas, lorsqu'il n'est pas encore chaud, présente une partie de composés condensables que nous appelons « goudrons ». Ces goudrons sont générés principalement pendant la phase de démarrage et la phase d'arrêt, lors de la montée en température ou refroidissement du syngas. Le CIRAD a réalisé des prélèvements sur le syngas afin de connaître la quantité et la composition de ces goudrons.

Le tableau ci-dessous montre que la teneur moyenne totale en composés organiques condensables a été stable d'un jour à l'autre. Également, la composition de ces goudrons, présentée en *annexe 5*, est très régulière.

Tableau 7: teneur en goudrons

Concentration Totale en composés organique sur gaz sec		
N° prélèvement	1 (entrée brûleur)	2 (sortie gazo)
Date	14/03/2023	15/03/2023
[Total composés organiques condensables] mg/Nm3	8 262	8 186

Afin de gérer au mieux ces goudrons, et pour qu'ils ne perturbent pas le fonctionnement de l'installation, des améliorations ont été faites. Les principaux problèmes liés à la présence de ces goudrons étaient :

- l'accumulation de goudrons dans les boîtes de jonction, augmentation la pression dans ces dernières. La pression augmentant, les soupapes de sécurité se rompaient entraînant l'arrêt complet de l'installation.
- Le colmatage autour des vannes empêchant leur bon fonctionnement lors du refroidissement des goudrons (par exemple après un arrêt le weekend).

Des pots à condensats ont été placés à des endroits stratégiques de l'installation : entre le filtre à manches et la torchère et entre le venturi et le brûleur. Enfin, afin que les goudrons restent sous forme liquide, un traçage électrique a été rajouté. Le tout a été calorifugé. Ce traçage électrique et calorifugeage a été rajouté en janvier 2025.

Ces pots à condensats permettent de récupérer les goudrons sous forme liquide. En fin de semaine, ils sont récupérés dans un IBC et traités par l'entreprise Chimirec. Cela représente un coût d'exploitation additionnel, de 230 € HT/tonne pour les goudrons liquides mélangés à de l'eau (récupérés dans les pots à condensats), et 540 € HT/tonne pour les déchets de goudrons pâteux (ou objets ayant été au contact des goudrons). Ce surcoût d'exploitation est estimé à + 1000 €/an (2 IBC goudrons liquides + 1 fut métallique 200 L résidus pâteux).

3.2. Le matériel

Des réparations ou adaptations ont dû être faites précocement sur le matériel installé.

Lors de la commande, il avait été spécifié que le nouveau brûleur installé sur le séchoir à pépins, devait être intégré au séchoir. C'est-à-dire que la régulation de séchage se pilotant sur l'automate du séchoir, il fallait connecter la régulation du brûleur à celle du séchoir. Ce problème a mis plusieurs mois à être résolu mais fonctionne aujourd'hui normalement.

En effet, comme décrit dans le chapitre précédent, l'accumulation de goudrons dans des boites de dérivation faisait augmenter la pression dans ces boites et les soupapes de sécurité se rompaient. Plusieurs semaines/mois se sont écoulés avant que les chaudronniers n'interviennent sur l'installation.

Également, des soudures sur la vis d'extraction biochar ont cassé, ce qui empêchait le bon fonctionnement de cette dernière -notamment le refroidissement du biochar car il s'agit d'une vis composée d'une double enveloppe permettant le passage d'un flux d'eau afin de refroidir le biochar. Une nouvelle vis a été commandée, l'attente a été de plusieurs mois.

Des fuites sur le réseau d'air comprimé ont été identifiées. Les équipes d'Eiffage Energie Systèmes sont intervenues en décembre 2022.

Le réfractaire du brûleur est également tombé précocement, probablement dû à des arrêts le weekend puis redémarrages le lundi, bien que cela soit un fonctionnement normal pour la distillerie. Ces variations de températures peuvent avoir un impact sur la durée de vie du réfractaire.

Également concernant le brûleur, nous n'avons toujours pas pu régler un mode de fonctionnement bicombustible (syngas/gaz naturel) automatique. Cela était prévu dans la commande or il a été compliqué de le mettre en place. Des essais ont été réalisés, en mode manuel, mais l'automatisation reste toujours à faire.

3.3. La conformité

Le compresseur d'air ne possédait pas les documents nécessaires à son utilisation en France. Cet équipement ne pouvait donc pas être utilisé, ce qui a entraîné l'arrêt de l'installation de gazéification précocement dans l'année. Il a finalement été décidé de ne plus utiliser cet équipement et de se raccorder directement sur le compresseur d'air de l'usine.

La torchère présente également des non-conformités vis-à-vis de la norme ISO 22580-2021. Le groupement Gazotech/Eiffage Energie Systèmes a décidé de changer intégralement cet équipement, la modification devrait avoir lieu durant l'été 2025.

3.4. L'exploitation

Lors de la mise en service, des réglages ont été réalisés par les équipes d'Ankur, le fournisseur de l'équipement.

Quand les équipes de la bioraffinerie ont pris en main l'exploitation de l'installation, après une formation réalisée par Gazotech, des difficultés d'exploitation ont été rencontrées.

En effet, le foyer de combustion avait tendance à se déplacer dans le réacteur de gazéification, vers le bas du réacteur. Cela entraînait plusieurs problèmes :

- Une chute de la température de gazéification, voir l'extinction complète du foyer, entraînant l'arrêt de la gazéification. Des pulpes sortaient donc de la vis d'extraction biochar et bouchaient cette dernière, car la granulométrie des pulpes est plus grande que celle du biochar.
- Cet arrêt de la gazéification entraînait également l'aspiration de poussières au lieu de l'aspiration du syngas. Ces poussières se retrouvant à l'intérieur du filtre à manches, encrassaient ce dernier. La pression à l'intérieur du filtre à manches augmentait, ce qui entraînait l'arrêt automatique de l'installation.

Grâce à l'accompagnement du CIRAD, ces problèmes ont pu être réglés. En effet, lors de la mise en service, les réglages ont été réalisés sur une qualité de biomasse telle qu'elle était à ce moment donné. La biomasse utilisée est la pulpe de raisin, elle est stockée dans un hangar et soumise à des variations d'humidité et de température. Naturellement, la qualité de cette pulpe peut varier et se dégrader.

De la même manière, l'installation de gazéification doit être pilotée, comme n'importe quelle installation industrielle, en surveillant les paramètres de fonctionnement.

Des procédures d'exploitation internes ont ainsi été définies grâce à l'aide du CIRAD.

La gazéification se faisant en fonction des températures et de la différence de pression au sein du réacteur, ces deux paramètres sont surveillés afin de s'assurer du bon fonctionnement du gazéifieur. Lorsqu'un de ces paramètres dérive, par exemple lorsque la température baisse, la fréquence d'extraction du biochar est adaptée. En réduisant la fréquence d'extraction du biochar, le foyer se déplace logiquement moins vers le bas, la biomasse se convertit mieux et il n'y a plus de problèmes d'augmentation de pression dans le filtre à manches.

Contrairement à ce qui était annoncé dans l'offre du constructeur, il est nécessaire d'avoir une surveillance permanente de l'installation car celle-ci nécessite de la manutention :

- Alimentation en biomasse de l'installation
- Arrosage et évacuation du biochar
- Surveillance des paramètres de gazéification

3.5. Le biochar

Des reprises de feu ont été observées sur le biochar produit.

A la sortie du réacteur de gazéification, le biochar est refroidi dans la vis puis dans un pot de stockage, par de l'eau passant dans une double enveloppe. Ce biochar est froid, et ne présente à priori pas de braises résiduelles.

L'idée première de la coopérative était d'incorporer ce biochar au compost afin d'enrichir ce dernier. Cependant, le compost étant une matière qui travaille toujours un peu et dont les températures sont élevées au cœur du tas, l'incorporation du biochar a généré des départs de feu au sein de l'andain.

La coopérative a cherché plusieurs manières de gérer ce biochar, avec l'aide du CIRAD, et il a été décidé de placer une benne en sortie de gazéifieur, et d'arroser en permanence ce biochar.

Ainsi, la petite benne se remplit d'eau et le biochar est complètement immergé.

De plus, lorsque les bennes sont vidées, le biochar est stocké à part sur une plateforme bétonnée. Il n'est mélangé au compost déjà mûri (dont les températures sont moins élevées) et stocké en petits tas pendant maximum 1 mois avant épandage.

Malgré ces précautions, le biochar, stocké à part sur une dalle bétonnée, présente des reprises de combustion l'été. Il est nécessaire de l'arroser régulièrement.

Conclusion

L'installation du gazéifieur de marc de raisin à la coopérative CAVALE a permis de substituer une partie du gaz naturel utilisé sur le séchoir à pépins par du syngas, contribuant ainsi à une réduction des émissions de CO₂ et à une meilleure valorisation des sous-produits viticoles. En trois ans de fonctionnement, le système a produit 723,26 MWh de syngas, avec une consommation optimisée de biomasse et une production de biochar intégrée au compost Onze300.

L'exploitation a néanmoins rencontré plusieurs difficultés techniques, notamment liées à la qualité du matériel, la gestion des goudrons, aux ajustements du brûleur et aux reprises de feu du biochar. Des solutions ont été mises en place, telles que l'ajout de pots à condensats, des modifications sur le matériel et des ajustements des paramètres de gazéification, par exemple. Ces actions ont permis d'améliorer le fonctionnement et la conformité de l'installation.

Ce projet a démontré l'intérêt de la gazéification tout en mettant en évidence les contraintes opérationnelles et techniques associées. Les ajustements réalisés et les connaissances acquises permettront d'optimiser les futures installations et d'améliorer leur performance énergétique et environnementale.