



CONSTRUIRE ENSEMBLE VOTRE TRANSITION ÉNERGÉTIQUE

Journée Savéol Energie

Captation CO₂



19 Septembre
2018

PLAN DE PRÉSENTATION

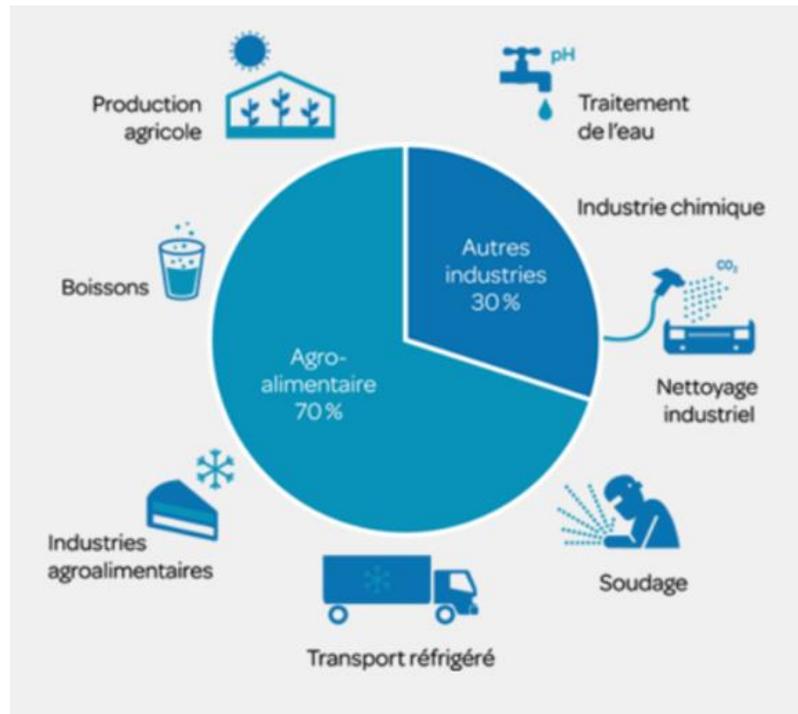


- INTRODUCTION
- LES TECHNOLOGIES
- LES ORDRES DE GRANDEUR
- LES CONTRAINTES
- LE PROJET TI AR MENEZ
- OBJECTIFS ÉCONOMIQUES
- CAPTATION CO₂ DANS L'AIR

INTRODUCTION



■ Les applications du CO₂ :



■ Les sources CO₂ :

- Unité de production d'azote (engrais azotés),
- Unité de production d'hydrogène,
- Chaufferie gaz,
- Unité de production de bioéthanol,
- Méthaniseur (biométhane),
- Autres off-gas.

LES TECHNOLOGIES DE CAPTATION DE POST-COMBUSTION

■ Les technologies industrielles :

1. Absorption par solvant
2. Distillation cryogénique
3. Séparation membranaire

■ Les technologies en voie de développement :

- Adsorption
- Chemical looping
- Séparation par enzymes
- Séparation à base d'hydrates
- Etc.

I. ABSORPTION

■ PRINCIPE :

Les solvants mettent en œuvre une réaction chimique pour capter le CO_2 . Ces composés peuvent réagir avec le CO_2 (acide) pour le capter à basse température. Cette réaction est réversible, la régénération du solvant nécessitant un apport de chaleur pour briser la liaison chimique et libérer le CO_2 .

Ce type de solvant, très largement utilisé dans l'industrie, est réactif avec l'oxygène ou certaines impuretés présentes dans les fumées de postcombustion comme les SO_x et NO_x . Ces réactions secondaires contribuent à dégrader le solvant préjudiciables aux installations de captage (corrosion).

■ EXEMPLES APPLICATIONS :

- Des centaines de références d'unité de captation de CO_2 à partir d'unité de combustion d'énergie fossile pour l'industrie agro-alimentaire (**brasserie, boissons gazeuses**, etc).
- **Unité ProSelect GC6 System**, Vancouver Canada, captation de CO_2 gazeux de fumées de chaudière biomasse pour l'alimentation de **17 ha de serres maraîchères**, démarrage en avril 2012.
- Pilote **EnergiCapt Leroux&Lotz** à Saint-Ouen (93) ; et un démonstrateur Jupiter1000 à Fos-sur-Mer (13).



Installation de 10 000 T/CO₂ par an,
©2016 ASCO

II. DISTILLATION CRYOGÉNIQUE

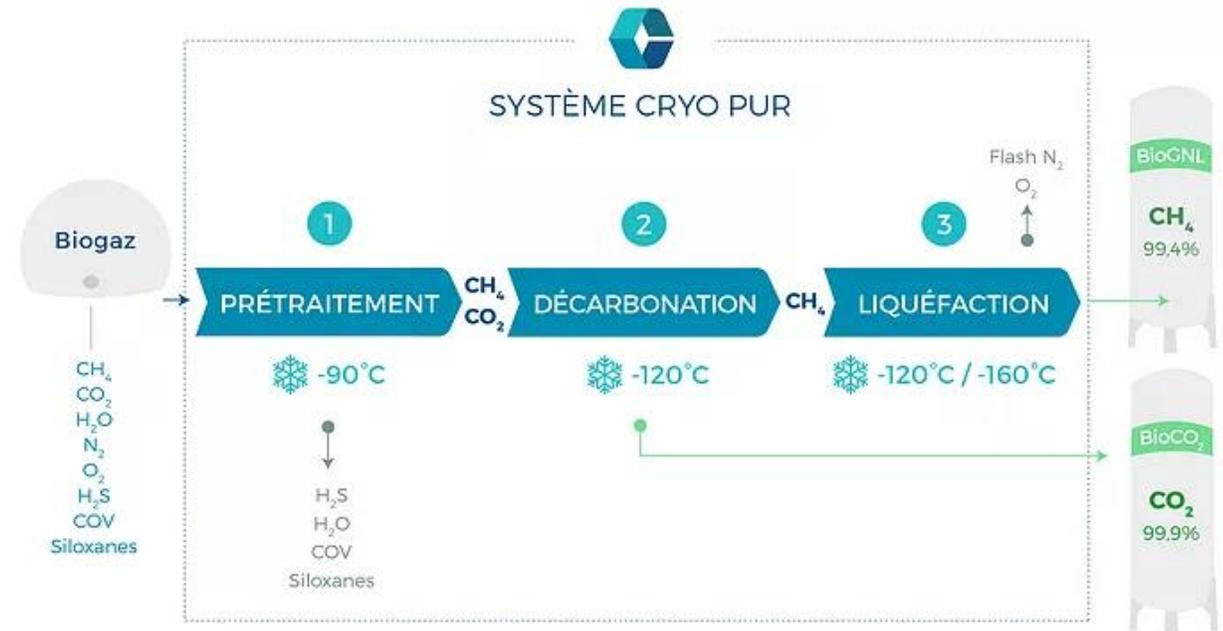


■ PRINCIPE :

Le gaz dépollué et sec est refroidi jusqu'à une température de -120°C , de telle sorte que le CO_2 soit séparé des autres gaz. Lors de cette étape le CO_2 est récupéré liquide et pur, afin d'être valorisable.

■ EXEMPLE D'APPLICATIONS :

- **Cryocap sur le site Air Liquide** de Notre-Dame de Gravenchon de **production d'hydrogène**, démarrage en novembre 2015 (100 000 tonnes/an).
- **Greenville Energy sur un site de production de BioGNL en Irlande du Nord**, démarrage en janvier 2018 par **Cryo Pur** (4,7 tonnes/jour).
- Etc.



Unité de traitement du biogaz par cryogénie, ©Site internet Cryopur,

III. SÉPARATION MEMBRANAIRE

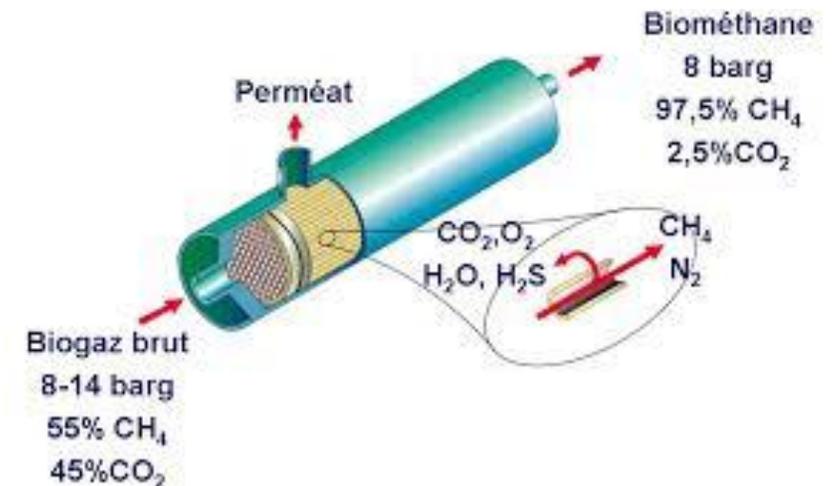


■ PRINCIPE :

Les membranes peuvent être utilisées pour permettre, dans un flux, le seul passage du CO_2 et le rejet des autres composants. **Le principe est de produire une différence de pression entre les deux bornes de la membrane** et profiter de la vitesse du CO_2 , importante par rapport aux autres composants. Le développement de membranes métalliques, céramiques et polymériques propose actuellement des solutions plus efficaces que les procédés classiques d'absorption. Ce procédé reste toutefois très fragile face aux conditions de pressions partielles et de température du flux. **Dans le cadre de la combustion la teneur en CO_2 des flux reste faible et nécessite un grand coût énergétique pour sa compression.**

■ EXEMPLE D'APPLICATIONS :

En voie de développement.



Traitement du biogaz par membrane, ©2011 ADEME

Procédé	Avantages	Inconvénients
I. Absorption	<ul style="list-style-type: none"> • Grande efficacité d'absorption (90% en moyenne) • Les solvants peuvent être régénérés par chauffage ou décompression • Plusieurs procédés matures 	<ul style="list-style-type: none"> • L'efficacité du procédé dépend de la concentration du CO₂ • Important besoin en chaleur pour la régénération • Dégradation du solvant par les polluants (NO_x, SO₂...) et l'O₂.
II. Distillation cryogénique	<ul style="list-style-type: none"> • Pas d'utilisation de composant chimique • Adoptée depuis des années dans la récupération du CO₂ 	<ul style="list-style-type: none"> • Valable uniquement pour de fortes concentrations en CO₂ • Nécessite une énergie de refroidissement • Energivore
III. Séparation membranaire	<ul style="list-style-type: none"> • Le procédé est adopté industriellement pour la séparation d'autres gaz • Grande efficacité de séparation (80% en moyenne) 	<ul style="list-style-type: none"> • Difficultés opérationnelles liées aux faibles flux CO₂ et à l'encrassement
Adsorption	<ul style="list-style-type: none"> • Procédé inversible et grand pouvoir de régénération. • Grande efficacité d'adsorption (85% en moyenne) 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite des adsorbants adaptés aux températures élevées • Important besoin en énergie pour la désorption du CO₂ • Pas encore adapté à un développement industriel
Chemical looping	<ul style="list-style-type: none"> • Le CO₂ est le constituant principal des fumées car non dilué dans N₂. • Coûts d'énergie de séparation d'air maîtrisés 	<ul style="list-style-type: none"> • Procédé en cours de développement, ne peut pas être actuellement être appliqué à grande échelle
Séparation à base d'hydrates	<ul style="list-style-type: none"> • Bas coût énergétique 	<ul style="list-style-type: none"> • Procédé en cours de développement, ne peut pas être actuellement être appliqué à grande échelle

LES ORDRES DE GRANDEUR



- **CONSOMMATION EN CO₂ D'UNE SERRE DE PRODUCTION DE TOMATÉS :**

Ratio de 30 kg/m²/an*

Soit une consommation de 300 tonnes par hectare.

* Pour une serre alimentée en énergie 100% biomasse

- **PRODUCTION DE CO₂ D'UNE CHAUFFERIE BIOMASSE :**

Consommation de chaleur pour 1 hectare : 3 300 MWh_{th}/ha/an

Ratio de 355 kg_{CO2}/MWh_{th} (ADEME)

Soit une production de 1 172 tonnes de CO₂** par hectare.

** Sans prise en compte de rendement de récupération

Prendre en compte la contrainte des polluants atmosphériques dans la captation de CO₂.

■ COMBUSTION DE BIOMASSE

1. Faible pourcentage de CO₂,
2. Emissions de particules,
3. Emissions de NO_x,
4. Emissions de SO₂,
5. Emissions de O₂ résiduelles,

■ GAZÉIFICATION DE BIOMASSE

La technologie de gazéification avec application cogénération biomasse permet d'atteindre des taux d'émissions atmosphériques faibles après un moteur syngas.

RÉGLEMENTATION ET INJECTION DE CO₂ DANS DES SERRES MARAÎCHÈRES



■ CONSTATS :

1. Pas de réglementation existante.
2. Nécessité de respecter la réglementation des teneurs en polluant dans les espaces de travail.
3. REX de l'injection des fumées de chaudière gaz.
4. REX de l'injection des fumées des cogénérations gaz après traitement des NO_x (SCR).
5. Le CO₂ liquide du marché de distribution injecté dans les serres est de qualité industrielle.

**Point à étudier et à maîtriser pour permettre le développement
d'une filière de valorisation du CO₂ issu de la biomasse.**

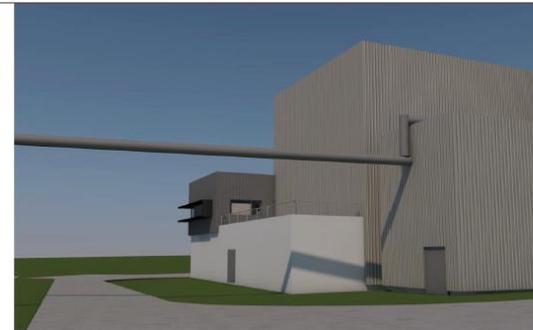
CONCLUSION DU BENCHMARK POUR LE DÉVELOPPEMENT D'UN PROJET DE CAPTATION DE CO₂



1. Prendre en compte l'adéquation saisonnière production vs consommation.
2. Développement de projet de captation sur des territoires où le prix du CO₂ ou les contraintes logistiques imposent la mise en place d'unité de captation CO₂.
3. Difficulté à trouver une rentabilité économique avec les différentes technologies de captation en post-combustion.
4. Des risques sanitaires à maîtriser pour la filière maraîchère.



PERSPECTIVE DEPUIS LE POSTE GAZ - VERSION NOIR



PERSPECTIVE DEPUIS LE HANGAR A BOIS - VERSION NOIR



PERSPECTIVE DEPUIS LE POSTE GAZ - VERSION ROUGE



PERSPECTIVE DEPUIS LE HANGAR A BOIS - VERSION ROUGE



PRÉSENTATION PROJET ECO2VAL – TI AR MENEZ

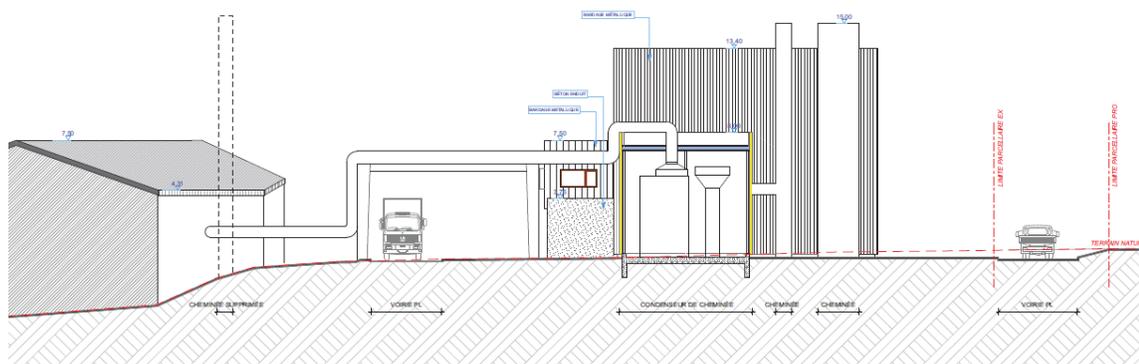
SITE DE GOUENNOU FRÈRES – PLOUGASTEL DAULAS

PROJET TI AR MENEZ – PROJET ECO2VAL



■ DONNÉES DU PROJET :

- Chaufferie biomasse de 8 MW_{pci}
- Production de CO₂ liquide
- Production de 10 000 tonnes de CO₂ par an
- Distribution du CO₂ dans un rayon de 50 km



■ PLANNING :

- Début du projet : Septembre 2013
- Construction de la collaboration : Année 2014
- Etudes technique et réglementaire :
Année 2015
- 1^{er} dépôt d'un dossier Appel à Projets industrie et agriculture éco-efficientes :
Mai 2016
- 2^{ème} dépôt d'un dossier :
Novembre 2016

LES OBJECTIFS DU PROJET



1. **Répondre à la problématique saisonnière** de la consommation de CO₂ dans les serres.
2. Adapter le taux de charge de la chaudière pour une production continue et linéaire de CO₂.
3. Maitriser et contrôler **la qualité CO₂ liquide** produit.
4. **Réduire les distances** source | consommateurs.
5. Prendre en compte **les évolutions réglementaires**.

LES FREINS AU PROJET ECO2VAL



1. CAPEX et OPEX élevés ne permettant pas de produire un CO₂ liquide au prix du marché.
2. **Pas de lignes de subvention ADEME** existantes (ou autre guichet) pour des projets de captation et/ou valorisation CO₂.



OBJECTIF ÉCONOMIQUE

THIBAUT LE CORRE - CARBOGREEN

OBJECTIF ÉCONOMIQUE



• Rappel des besoins de CO2

	CO2		
	Temps d'apport	Consigne Horaire	Résultat Surface
	heures/Jour	kg/h/ha	kg/m ²
Janvier	1,5	200	0,9
Février	3	200	1,7
Mars	8	200	5,0
Avril	8	200	4,8
Mai	6,5	200	4,0
Juin	7	150	3,2
Juillet	7	150	3,3
Août	7	150	3,3
Septembre	7	150	3,2
Octobre	3	150	1,4
Novembre	0	0	0,0
Décembre	1,5	200	0,9
TOTAL			32

- Objectif de 32 kg/m² pour une situation 100% CO2 liquide
- Moyenne SAVEOL 100% CO2 liquide : **26 kg/m²**
- Objectif difficilement tenable pour raison économique
- Si non respecté → Impact sur les rendements
- Avance de trésorerie avec retombée incertaine
- 100% Gaz Naturel → 50 à 60 kg/m²

OBJECTIF ÉCONOMIQUE



• Scénario I : Approvisionnement 100% CO2 liquide

	CO2		
	Temps d'apport	Consigne Horaire	Résultat Surface
	heures/Jour	kg/h/ha	kg/m ²
Janvier	1,5	200	0,9
Février	3	200	1,7
Mars	8	200	5,0
Avril	8	200	4,8
Mai	6,5	200	4,0
Juin	7	150	3,2
Juillet	7	150	3,3
Août	7	150	3,3
Septembre	7	150	3,2
Octobre	3	150	1,4
Novembre	0	0	0,0
Décembre	1,5	200	0,9
TOTAL			32

Objectif : Coût énergies < 10€/m²
Coût CO2 liquide = 3.5 €/m²



Coût Chaleur < 21 €/MWh



Objectif quasiment inatteignable à la vue du marché du bois

Deux pistes :

- Valoriser un intrant peu couteux (Travaux sur filière déchets verts)
- Valorisation complémentaire de l'intrant initial (CO2 et/ou électricité)

OBJECTIF ÉCONOMIQUE



• Scénario 2 : Récupération de CO2 en sortie de combustion

	CO2		
	Temps d'apport	Consigne Horaire	Résultat Surface
	heures/Jour	kg/h/ha	kg/m ²
Janvier	1,5	200	0,9
Février	3	200	1,7
Mars	8	200	5,0
Avril	8	200	4,8
Mai	6,5	200	4,0
Juin	7	150	3,2
Juillet	7	150	3,3
Août	7	150	3,3
Septembre	7	150	3,2
Octobre	3	150	1,4
Novembre	0	0	0,0
Décembre	1,5	200	0,9
TOTAL			32

Objectif : Coût énergies < 10€/m²



Coût Chaleur < 35 €/MWh



Objectif atteignable à la vue du marché du bois

En attente de proposition technico économique de la part des fournisseurs

OBJECTIF ÉCONOMIQUE



• Scénario 3 : Cogénération Biomasse et récupération de CO2

	CO2		
	Temps d'apport	Consigne Horaire	Résultat Surface
	heures/Jour	kg/h/ha	kg/m ²
Janvier	1,5	200	0,9
Février	3	200	1,7
Mars	8	200	5,0
Avril	8	200	4,8
Mai	6,5	200	4,0
Juin	7	150	3,2
Juillet	7	150	3,3
Août	7	150	3,3
Septembre	7	150	3,2
Octobre	3	150	1,4
Novembre	0	0	0,0
Décembre	1,5	200	0,9
TOTAL			32

Objectif : Coût énergies < 10€/m²

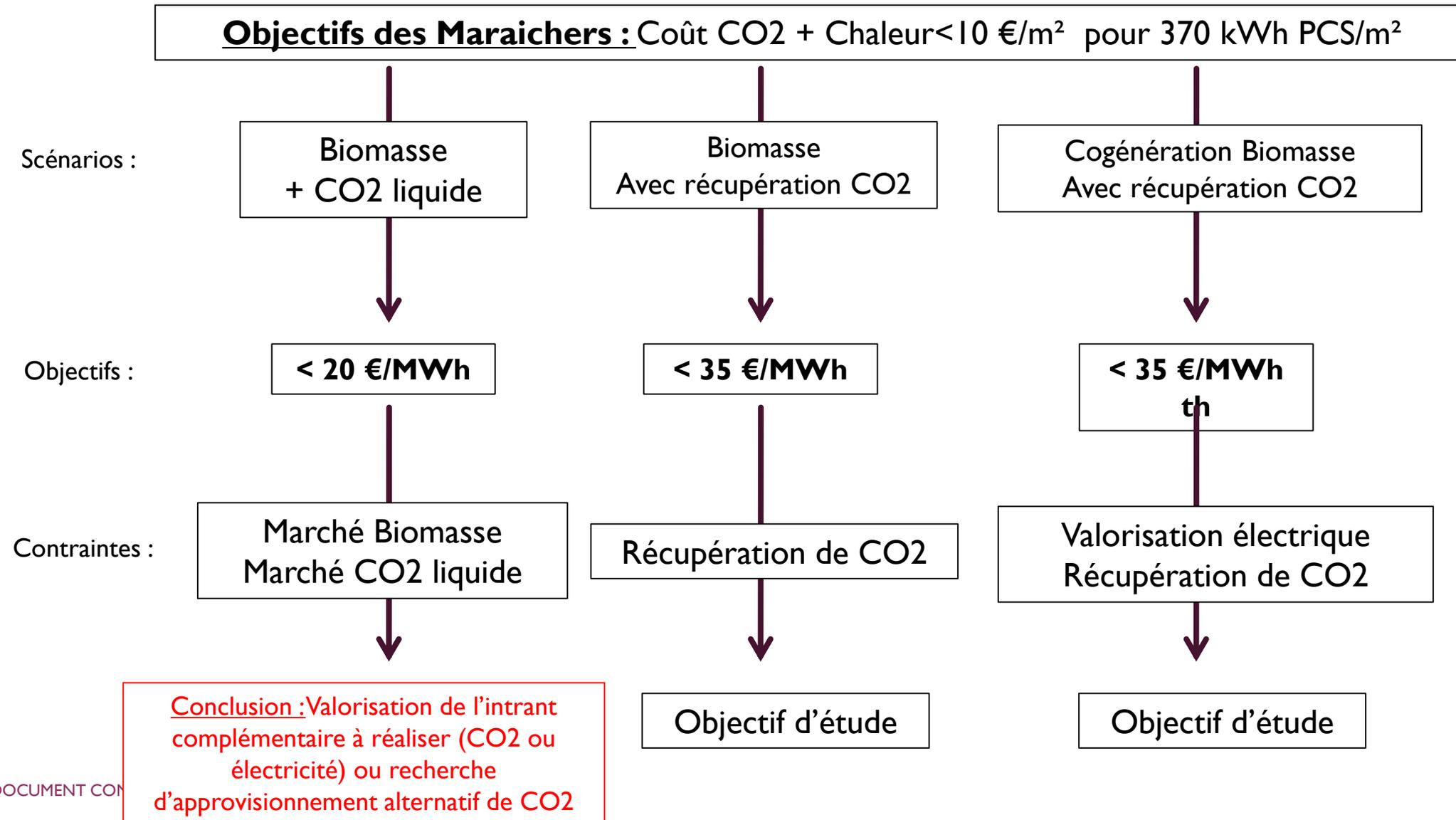


Coût Chaleur < **35 €/MWh**



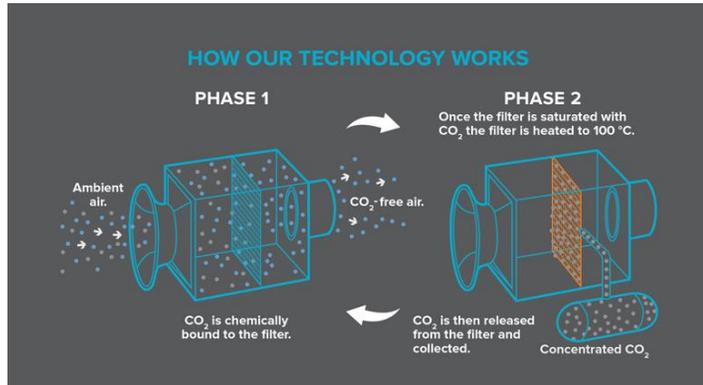
Valorisation élec.	Temps de fonctionnement				
	3 600 h	5 000 h	6 000 h	7 000 h	8 000 h
30 €/MWh	97 €/MWh th.	88 €/MWh th.	84 €/MWh th.	81 €/MWh th.	79 €/MWh th.
60 €/MWh	77 €/MWh th.	68 €/MWh th.	64 €/MWh th.	61 €/MWh th.	59 €/MWh th.
90 €/MWh	56 €/MWh th.	47 €/MWh th.	43 €/MWh th.	40 €/MWh th.	38 €/MWh th. <i>Autoconsommation</i>
120 €/MWh	36 €/MWh th.	27 €/MWh th.	23 €/MWh th.	20 €/MWh th.	18 €/MWh th.

■ Synthèse des hypothèses



■ Captation de CO₂ dans l'air

Adsorption :



Scénario	Installation	Coût de CO ₂
Tomates 2ha	24 filtres Investissement 3 M€ 600 Tonnes/an	Annuité : 550 €/t Electricité : 54 €/t Chaleur : 70 €/t Total : 674 €/t
Tomates 8.2ha	120 filtres Investissement 8 M€ 2 480 Tonnes/an	Annuité : 270 €/t Electricité : 54 €/t Chaleur : 70 €/t Total : 394 €/t

Je vous remercie,



Lionel BÉQUET

07 76 95 33 20

lionel.bequet@maitrea.fr

160 route de Ti Ar Menez | 29470 Plougastel Daoulas | 02 98 36 60 72

PARCOURS VERS LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE



TRI & RECYCLAGE

Valorisation matière priorisée dans le centre tri.

1

PRODUCTION COMBUSTIBLE

Valorisation énergétique de la matière non recyclable.

2



3

CONSOMMATION

Maîtrise de la combustion pour un recyclage efficace.



5

VALORISATION

Solution énergétique favorisant le développement d'activités nouvelles.



4

IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Valorisation des gaz issus des fumées.



SUR VOTRE TERRITOIRE

Conception © www.laconfiserie.fr | Crédit photo © Fotolia

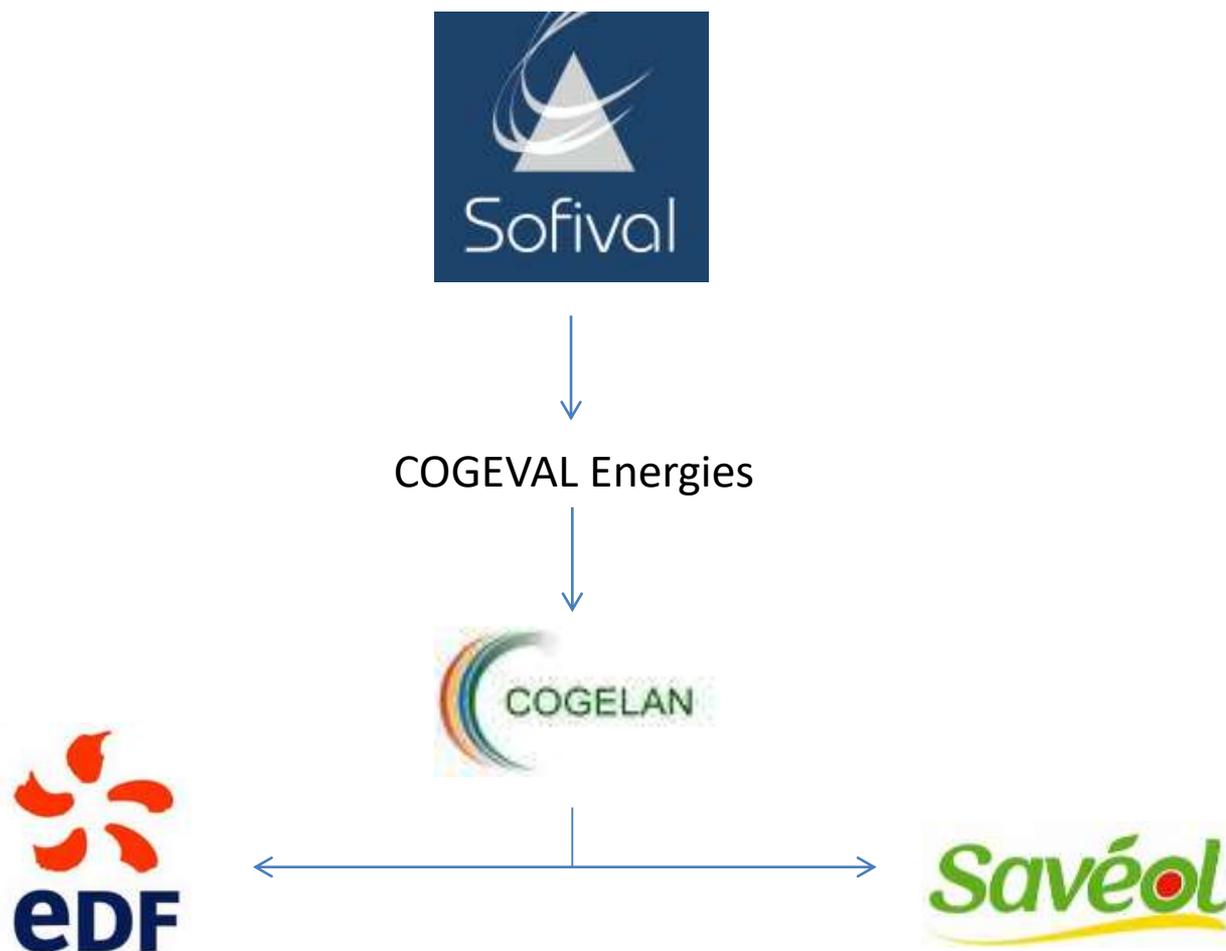
TRANSITION ÉNERGÉTIQUE –
UNE OPPORTUNITÉ POUR LES TERRITOIRES

Maitréa – Septembre 2018

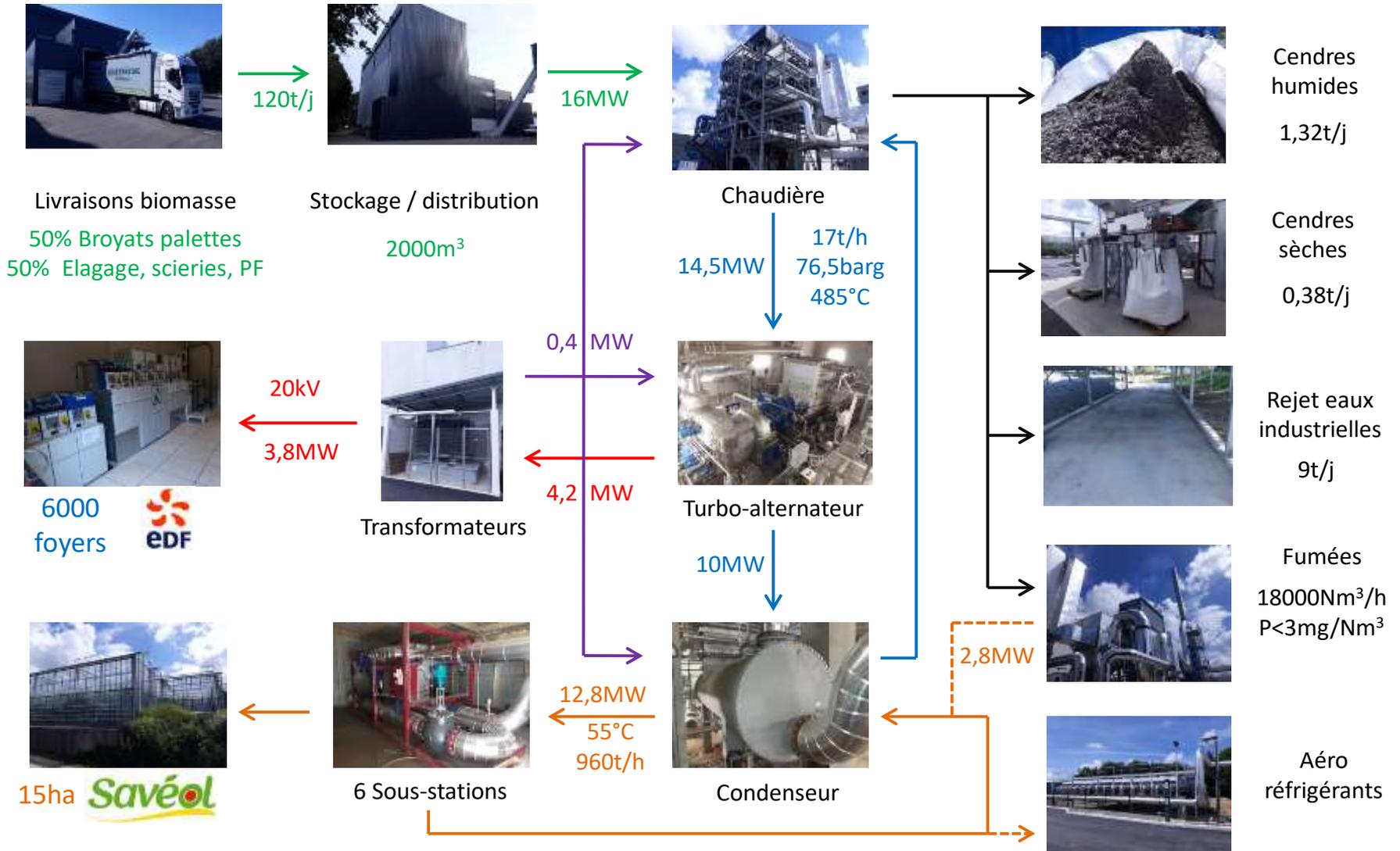


**Présentation du site cogénération
biomasse COGELAN**

Actionnaires/financement



Activité



Analyse fumées

Désignation	Mesures 25/04/2018		Mesures 19/09/2018		VLE (ICPE)
T°	169 °C		155,57 °C		
O ₂ (sec)	8,3 %		5,6 %		
CO ₂ (sec)	12,3 %				
H ₂ O	17,5 %		14,41 %		
CO	24 mg/Nm ³	19 ppm	2,8 mg/Nm ³	2 ppm	250 mg/Nm ³
NOx	396 mg/Nm ³	296 ppm	257 mg/Nm ³	192 ppm	525 mg/Nm ³
COV	1,7 mg/Nm ³	2 ppm			50 mg/Nm ³
Méthane	0 mg/Nm ³				
Poussières	0,65 mg/Nm ³		0,68 mg		50 mg/Nm ³
SO ₂	23 mg/Nm ³	8 ppm			225 mg/Nm ³
Dioxines/Furanes	0,002 ng/ Nm ³				0,1 ng/ Nm ³

Qualité de l'air pour enrichissement

Désignation	Unité	Homme	Plants	Homme et plants
CO ₂	ppm	3500	0,1	0,1
CO	ppm	10 (8h)	30	10
NO	ppm	3 (8h)	0,8	0,8
NO ₂	ppm	0,05 (8h)		0,05 (8h)
SO ₂	mg/Nm ³	0,019 (8h)	0,5 (4h)	0,019 (8h)
Poussières	µg/m ₃	40 (8h)		40 (8h)
Ethylène	ng/Nm ³		10	10

(Roy et al., 2014)



COGELAN



CLEAN ENERGY TECHNOLOGY

VYNCKE

SAVÉOL ÉNERGIES

JOURNÉE TECHNIQUE DU 19-09-2018

**COMBUSTION DE BIOMASSES SOLIDES
& CAPTAGE DU CO2**

JÉRÔME BÉARELLE

JBE@VYNCKE.COM

+33 6 19 88 33 53

Nous transformons tout ce qui pousse et que l'on ne mange pas



En énergie(s), adaptée(s) à votre process industriel



1 – 100 MWth



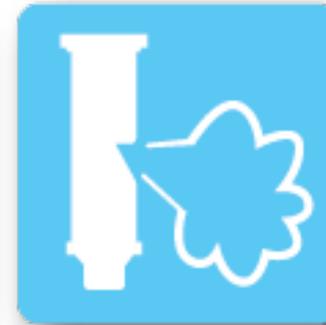
1 – 60 MWth



1 – 30 MWth



1 – 100 MWth



1 – 60 MWth



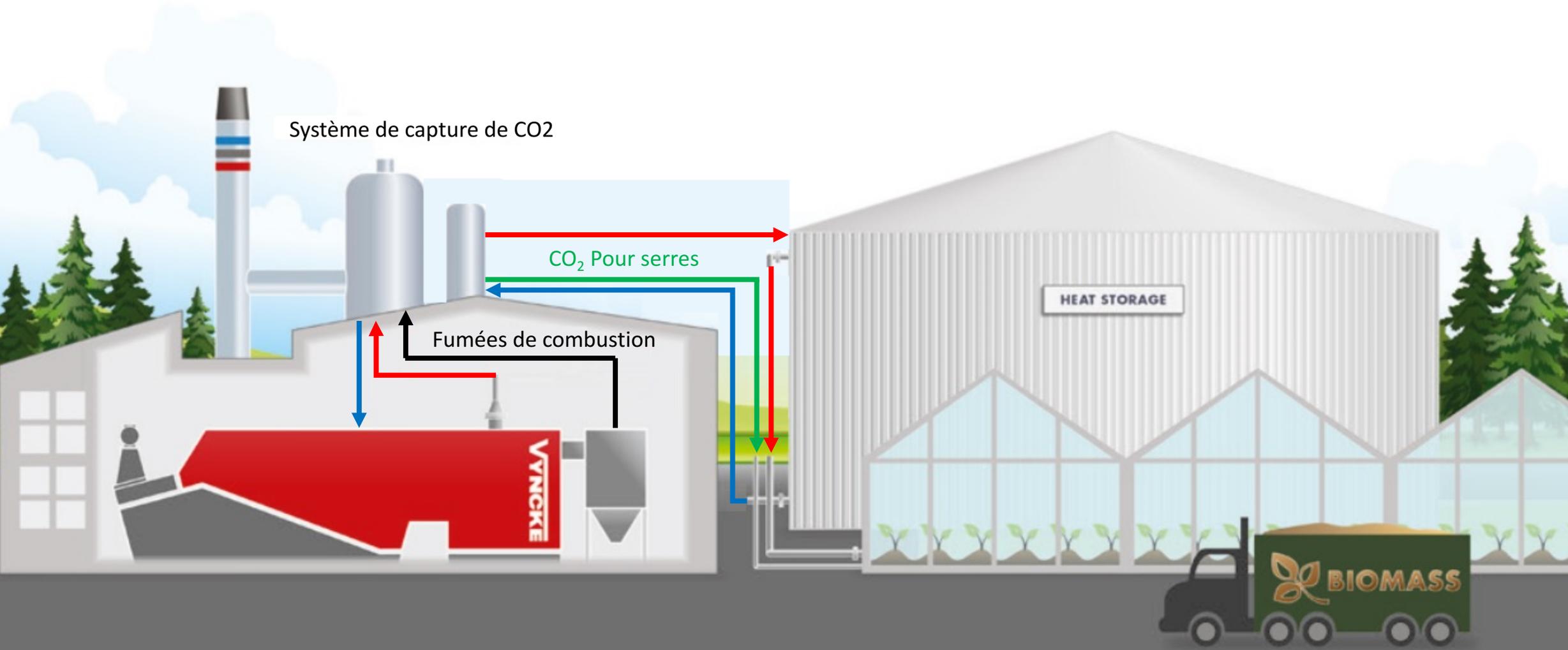
0,1 – 20 MWé



VYNCKE – Applications aux serres : chauffage classique

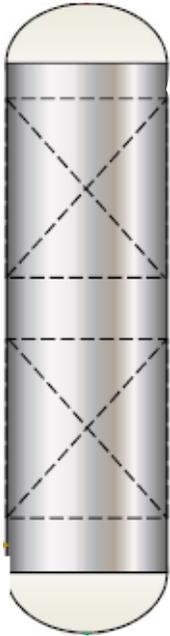


VYNCKE – Applications aux serres : avec système intermédiaire de captage de CO₂



VYNCKE – Système de captage de CO₂ : Synoptique

Colonne d'absorption



Colonne "stripper"



- **Combustion**

- 1 Tonne de bois ~ 1 Tonne de CO₂
- 1 tonne de bois :
 - 30% humidité → 3,2 MWh
 - 40% humidité → 2,8 MWh
 - 45% humidité → 2,5 MWh

- **Système de captage de CO₂**

- Consommation approximative : 0,5 MWh thermique par tonne de CO₂
- Si pas de captage de CO₂ : système fonctionne en condenseur de fumées



- **Combustion**

- Gaz de fumées en adéquation avec le système de captage
 - Régulation de combustion
 - Filtration en adéquation avec le combustible

- **Réseaux de chaleurs**

- Gestion des interfaces entres les différents utilisateurs :
 - Système de captage : 3 échangeurs
 - By-pass pour réseau des serres
 - Equilibrage des réseaux



SUN SELECT PRODUCE Inc. III

- **Colombie britannique** (Canada – Vancouver)
- **17 ha** de serres
- Chaudière
 - **4 x 6 MWth**
 - Plaquettes forestières humides
 - Démarrées en 2009
- Système de captage de CO₂
 - Captage du flux des 4 chaudières
 - Démarré en 2012
 - Pas de stockage tampon



D.E.S. (en cours de réalisation)

- **Hollande** (Sirjansland)
- Groupement de 3 serristes : **22 ha** de serres
- 1 chaudière de **7 MWth**
 - Plaquettes forestières humides (40%)
 - Démarrage décembre 2018
- Système de captage de CO₂
 - Démarrage mars 2019
 - Avec stockage tampon (sans liquéfaction)
 - Mode condenseur



D.E.S. (en cours de réalisation)

- Chaudière 7MWth – Plaquette 40% humidité
- Env. 2,9 T/h plaquettes
 - Soit
 - 6 MWth chaleur
 - 2,8 T/h CO₂
 - Soit
 - 8 MWth chaleur





CLEAN ENERGY TECHNOLOGY

VYNCKE

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

JÉRÔME BÉARELLE

JBE@VYNCKE.COM

+33 6 19 88 33 53