

Principe et intérêt de la technologie vapeur d'eau surchauffée pour le séchage en agro-industrie

Yvan DELOCHE

Conseiller technique environnement

CRITT Agroalimentaire PACA

Animateur du RMT ACTIA ECOFLUIDES

Le partenariat du Réseau mixte technologique ACTIA ECOFLUIDES

Centres techniques

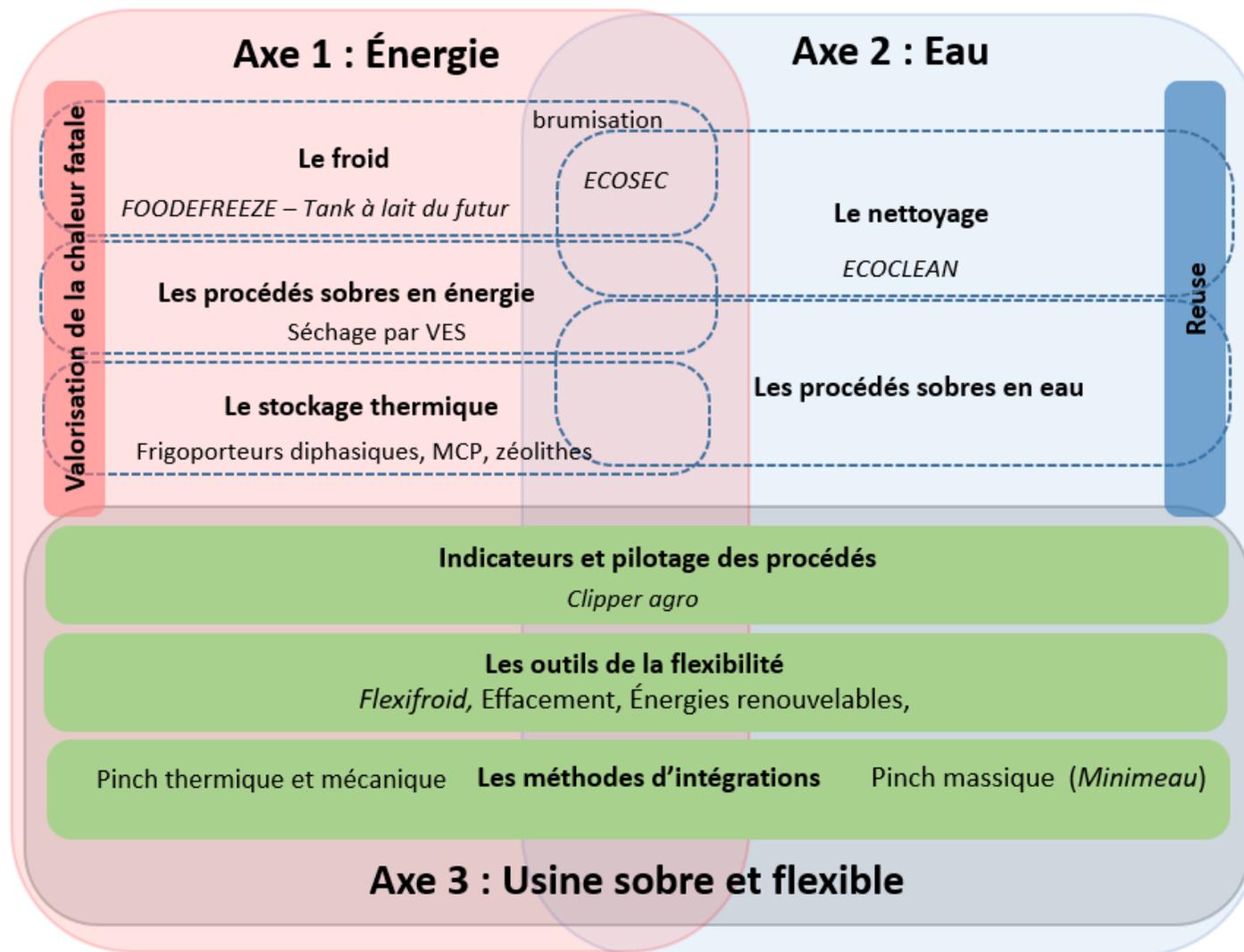


ITAI



Recherche et Enseignement





Axe 4 : Transfert et valorisation des travaux du RMT

Entreprises agroalimentaires

Centres de recherche

Enseignement

Centres ACTIA

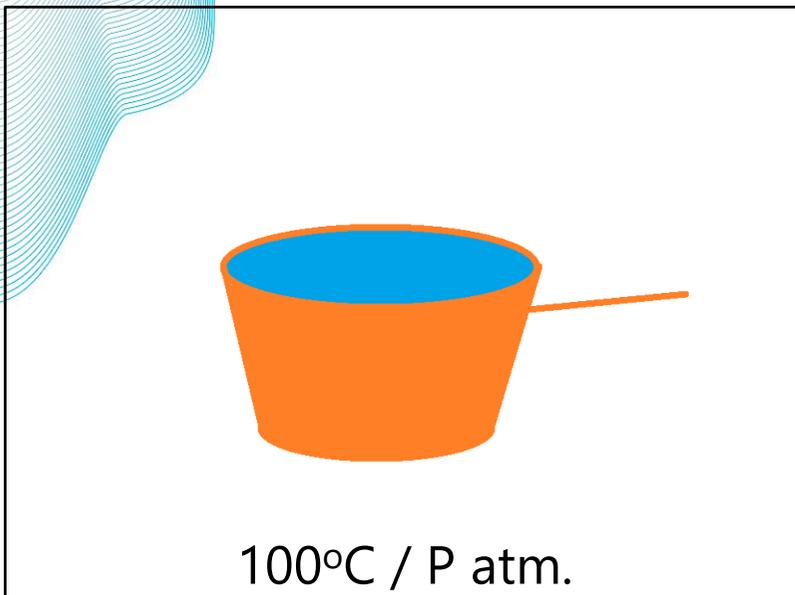
Équipementiers

Énergéticiens

Principe physique du séchage par vapeur d'eau surchauffée

2 enceintes ne contenant que de la vapeur d'eau

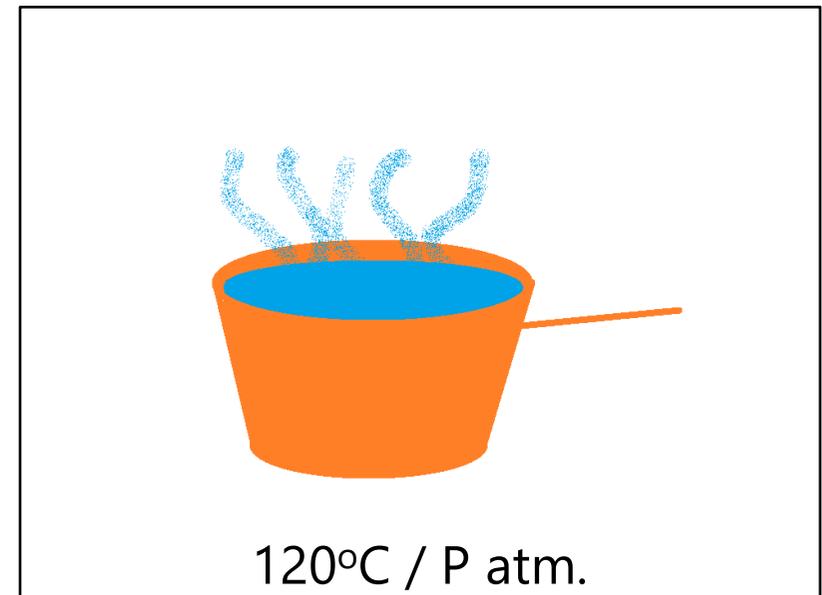
Situation A



L'ambiance est à saturation
→ la casserole ne bout pas

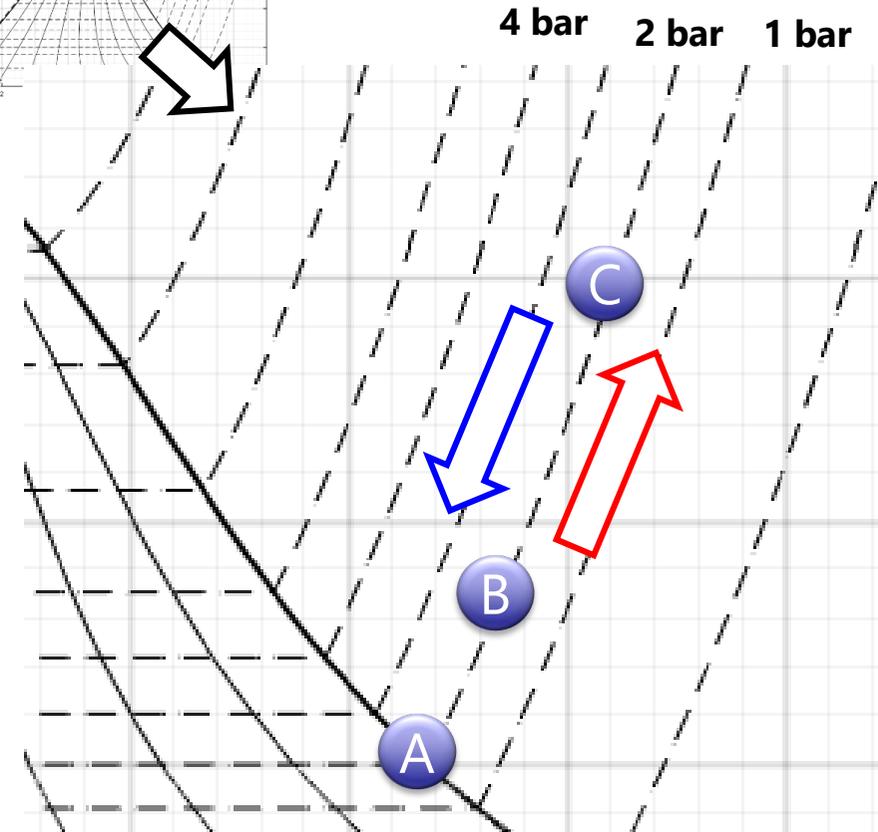
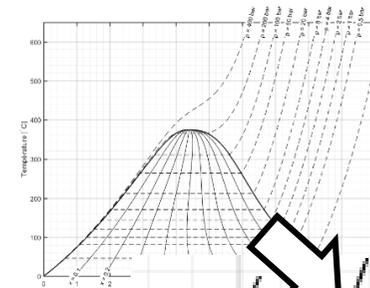
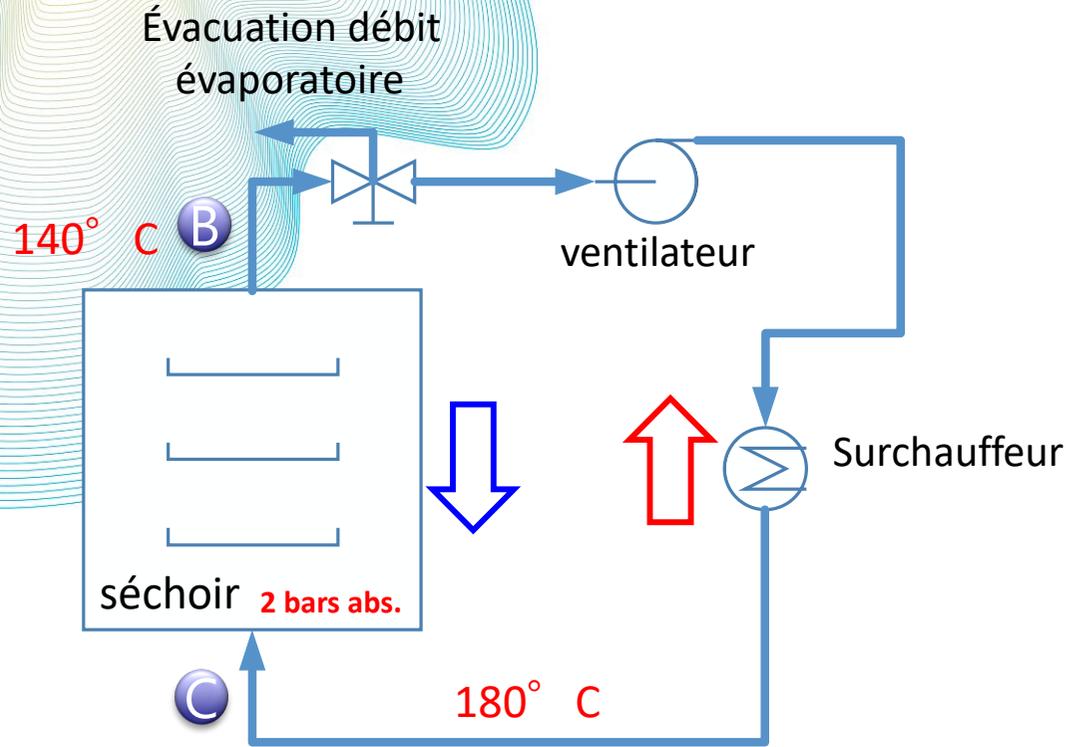


Situation B



L'ambiance est surchauffée
→ la casserole bout

Principe physique du séchage VES



- A État de saturation 120° C
- B Vapeur d'eau désurchauffée à 140° C
- C Vapeur d'eau surchauffée à 180° C

Comparaison du séchage VES / air

	Air	VES
Transfert massique	Présence d'une couche limite à la surface du produit, où le transfert se fait par diffusion	Transfert par écoulement \Rightarrow vitesse de séchage plus élevée
Transfert thermique	Présence d'une couche limite thermique à la surface du produit	
Température à la surface du produit	\geq Température du bulbe humide	\geq Température d'ébullition
Vitesse de séchage	Présence d'une couche limite en surface et probablement d'une résistance diffusives interne	La vitesse de séchage dépend des transferts de chaleur convectif Présence d'une couche thermique seulement \Rightarrow vitesse de séchage plus élevée
Température en surface	$\geq 46^\circ \text{ C}$	$\geq 100^\circ \text{ C}$

Performance énergétique du séchage VES

Séchage à l'air:

- beaucoup de chaleur sensible → plus difficile à récupérer que la chaleur latente
- une forte proportion de gaz non condensables → limitent les transferts dans un échangeur

Séchage à la vapeur d'eau surchauffée (VES):

- L'énergie fournie est plus facile à récupérer par condensation de vapeur (quasi) pure
- L'efficacité énergétique séchoir VES dépende de l'environnement où il est intégré :
 - sans récupération énergétique
 - avec récupération externe au séchoir
 - avec récupération sur le séchoir lui même

Performance énergétique

Consommation énergétique massique (CEM) sans récupération :

La CEM du séchage seul, sans pertes $1 \times \Delta H_{vap} \approx 2250 \frac{kJ}{kg}$

ou **630 kWh (d'origine thermique) par tonne d'eau évaporée**

CEM du séchage à l'air chaud $1,5 \text{ à } 2,5 \times \Delta H_{vap} \approx 3375 \text{ à } 5625 \frac{kJ}{kg}$

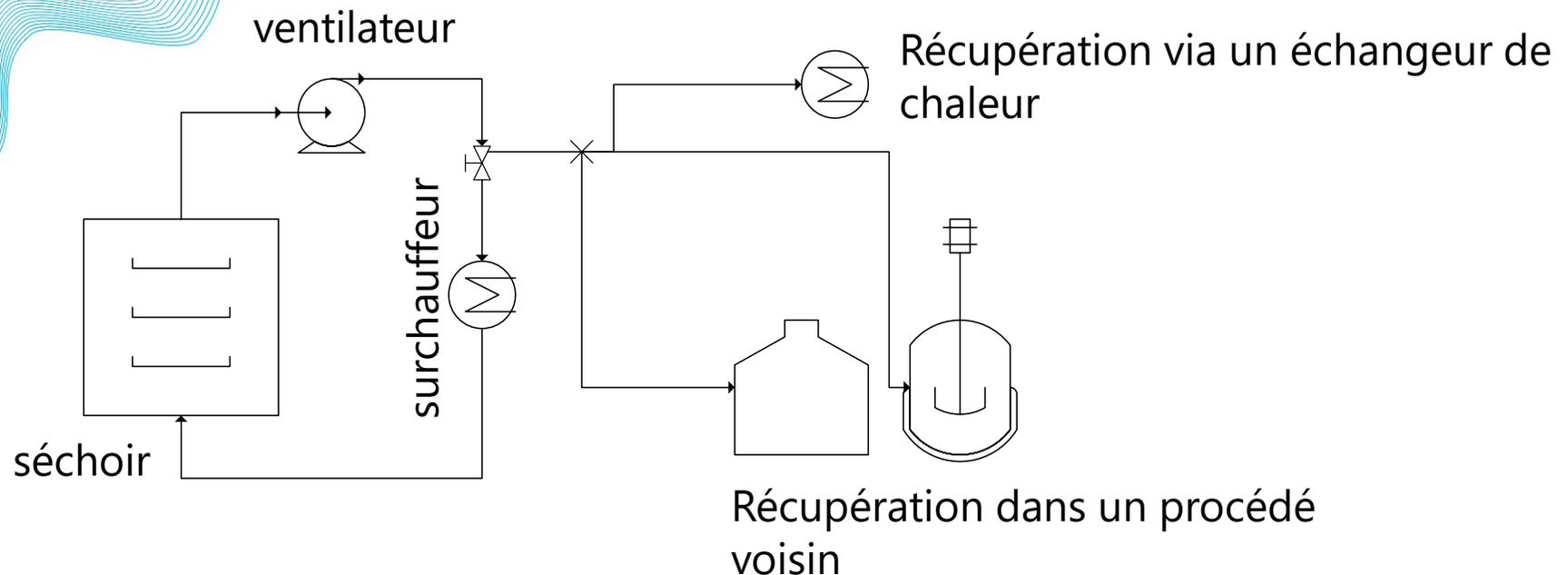
Soit 940-1560 kWh (d'origine thermique) par tonne d'eau évaporée

CEM du séchage VES seul, avec pertes, au moins $1,1 \times \Delta H_{vap} \approx 2475 \frac{kJ}{kg}$

ou **690 kWh (d'origine thermique) par tonne d'eau évaporée**

Performance énergétique

CEM avec récupération externe au séchoir:

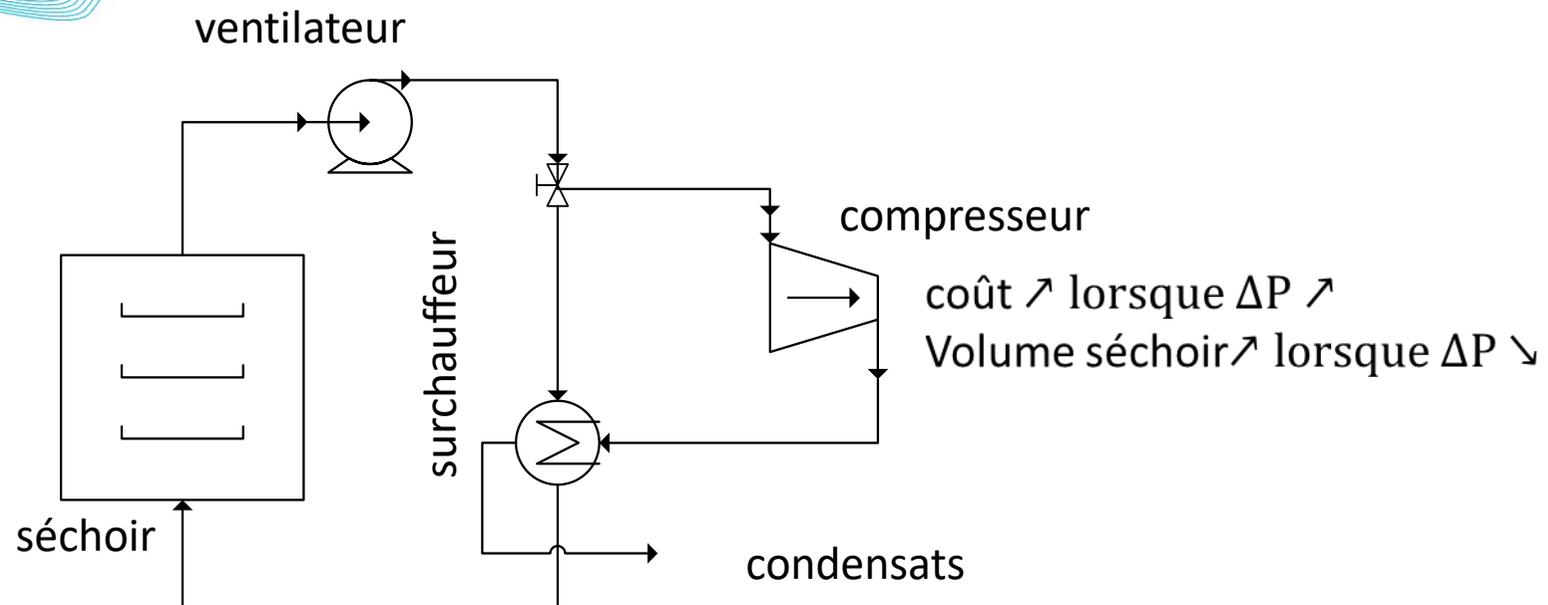


La CEM pourrait être comptée pour pratiquement **nulle**, aux pertes près, soit environ **60 à 100 kWh (d'origine thermique) par tonne d'eau évaporée**.

La réutilisation de la vapeur issue du produit est d'autant plus facile qu'elle sort sous pression (2 à 6 bars abs.)

Performance énergétique

CEM avec récupération sur le séchoir :



La CEM pourrait être divisée par 4 à 10, soit **70 à 170 kWh (d'origine électrique) par tonne d'eau évaporée**

Soit une consommation thermique équivalente valant $\approx 2,4$ fois la consommation électrique : 170 à 400 kWh thermique

Performance énergétique

Synthèse:

- Sans récupération : 690 kWh thermiques par tonne d'eau évaporée
- Avec récupération sur le séchoir : 170 à 400 kWh thermiques par tonne d'eau évaporée
- Avec récupération externe au séchoir : 200 à 240 kWh thermiques par tonne d'eau évaporée

Comparaison de la CEM de différents séchoirs industriels

Type de séchoir	kWh/tonne		Produit	Récupération énergétique
Séchoir pneumatique (Stork)	130-230	980-1144	Pulpe cellulosique	Utilisation de la vapeur (~ 3 bar) dans un procédé voisin
Lit fluidisé (EnerDry)	130-190	800	Pulpe de betterave, Luzerne	Intégration dans une sucrerie
Lit Fluidisé (Karthikeyan et al. 2009)	125	861-1111	Charbon	CMV
Flot tombant (Swasdiesvi et al. 2013)	1028-1861	1889-2472	Riz	Recyclage de la vapeur (60-90%)

Avantages du séchage VES

Impact de la pression

- Si la pression dans le séchoir est augmentée :
 - équipement plus compact
 - vapeur plus facilement valorisable
- La pression peut être diminuée pour les produits thermosensibles (vide partiel)

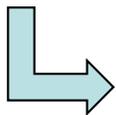
Oxygène

- Absence d'air élimine le risques d'oxydation du produit (oxydation de la vitamine C dans des produits alimentaire)
- Suppression des risques d'inflammation et d'explosion des produits à PCI positif (bois, pâte à papier, pulpes de betterave, luzerne...)

Avantages du séchage VES

Qualité du produit

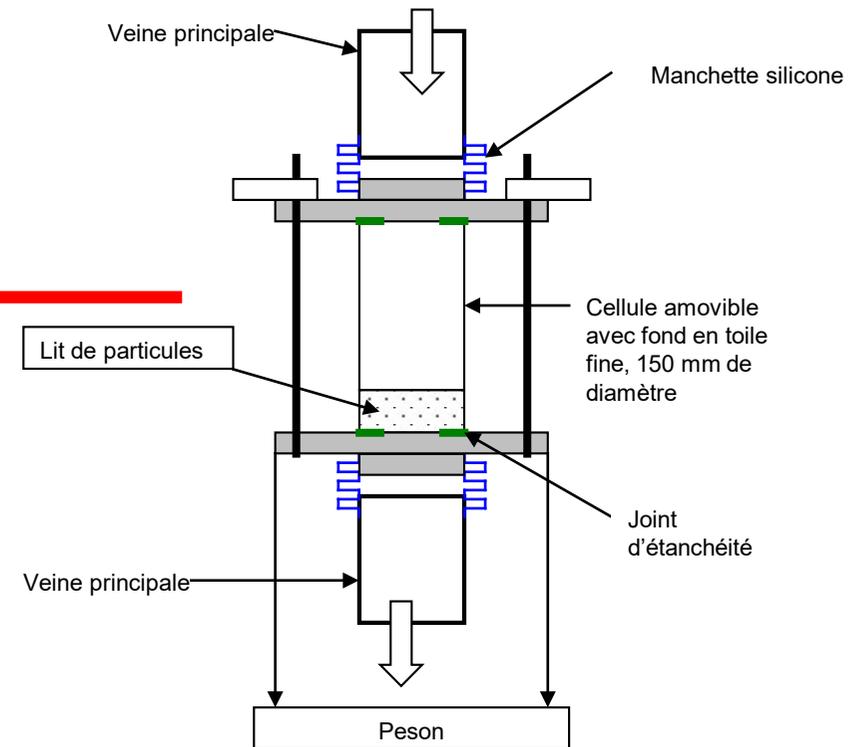
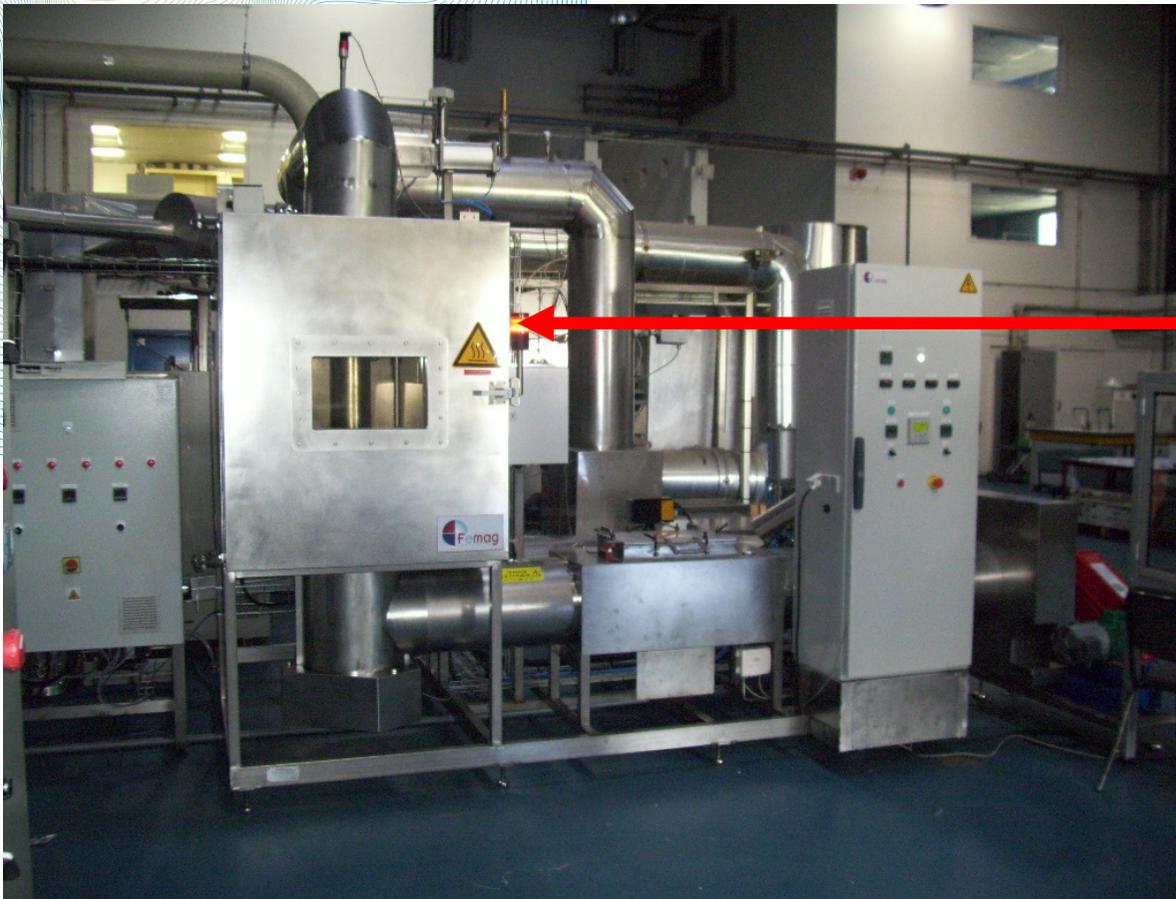
- Absence de durcissement superficiel du produit (/séchage à l'air)
- Meilleure couleur (fruits, légumes)
- Création de porosité et/ou réhydratation
- Meilleure digestibilité (pulpes de betterave)
- Rétention d'arôme (pommes)
- Résistance mécanique (papier)
- Diminution des tensions et fissurations dans le bois
- Stérilité microbiologique (fruits de mer)



Un produit final différent de celui obtenu par séchage à l'air.
Nécessité de réaliser des essais pour évaluer ces impacts et définir les conditions opératoires.

Dispositif de séchage à la VES

Cellule de séchage par flux traversant



Capacité produit maxi : 4 litres

- Vitesse : 1 à 5 m/s

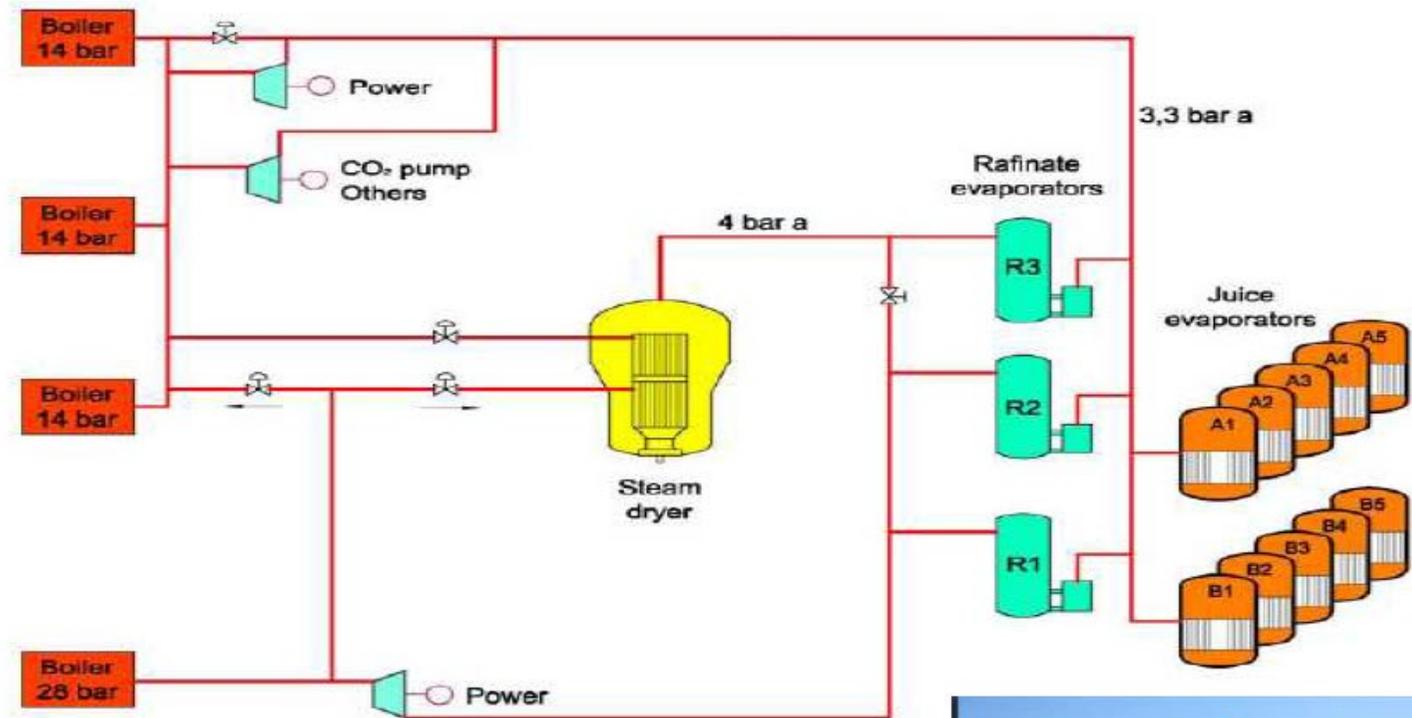
- Débit : 600 Nm³/h maxi

- Température maxi : 180° C

Quelques applications industrielles

Séchoir à lit fluidisé (Danisco / Niro / BMA / EnerDry)

Jensen et al. 1990



Product: sugar beet pulp



Capacity: up to 90t/h

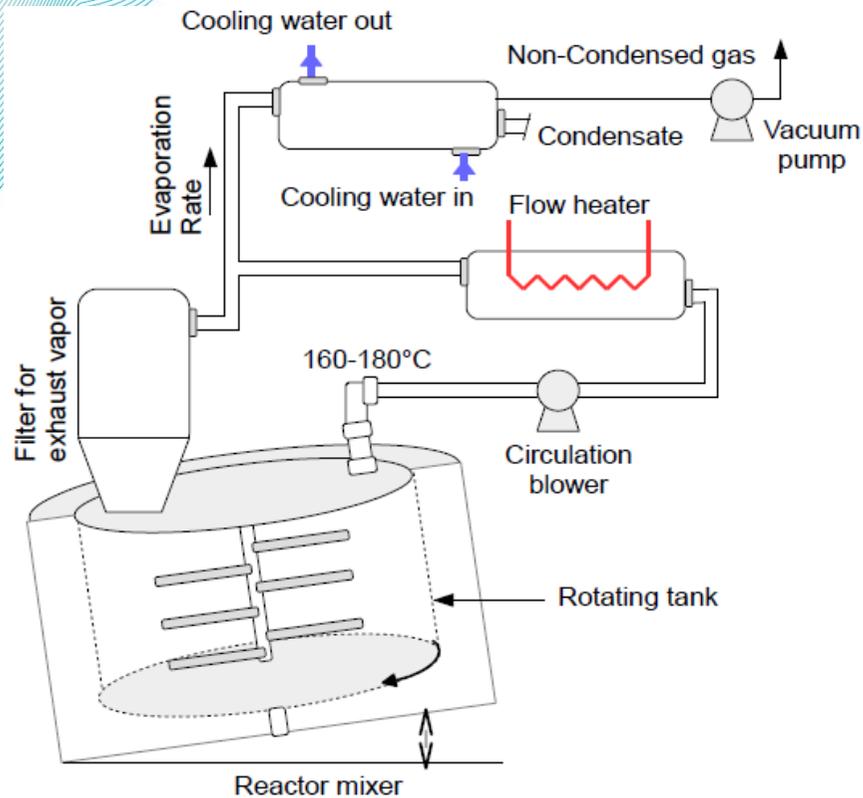
Heat integration: implementation in sugar factories

Residence time: ≈ 3 min



Quelques applications industrielles

Rotating reactor Vessel (Eirich)

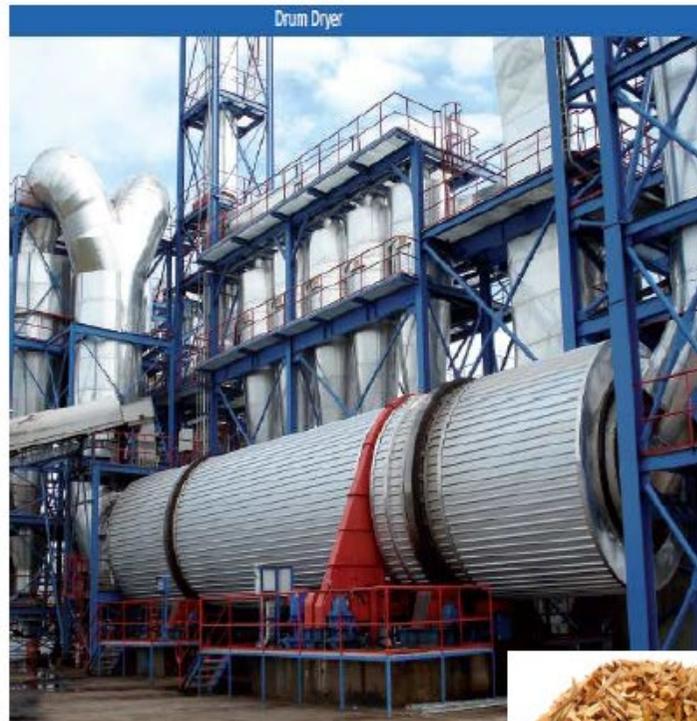


Produit	Boue	Capacité évap.	1 t/h
Récupération Energétique		Recyclage	



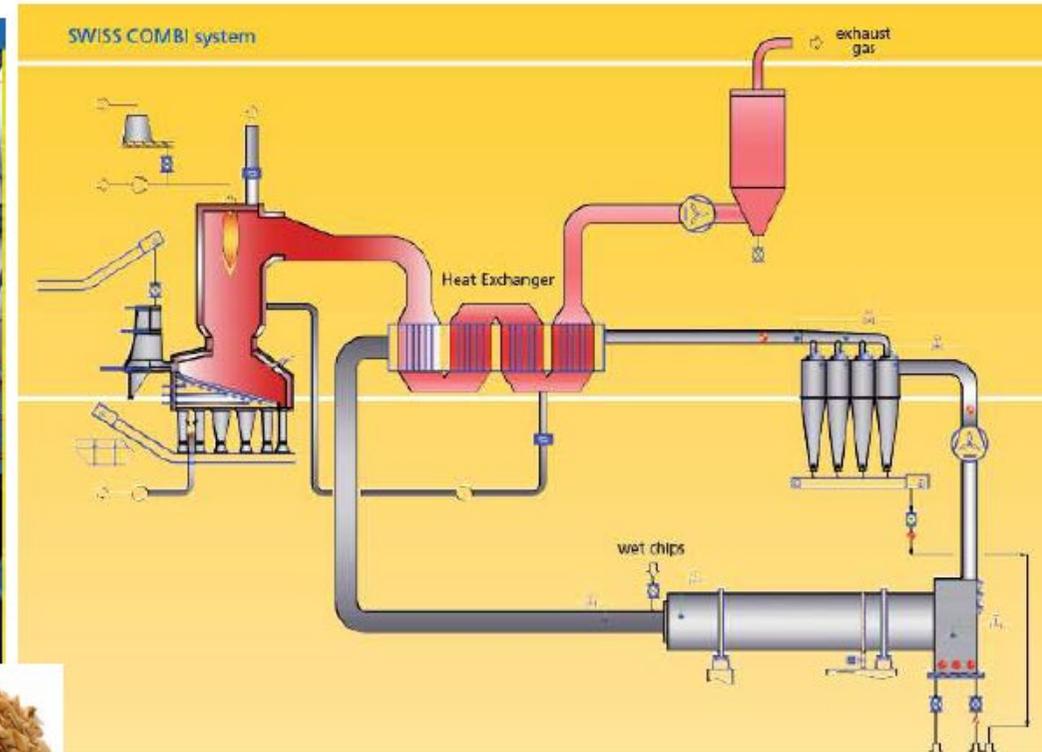
Quelques applications industrielles

Swiss Combi Ecodry



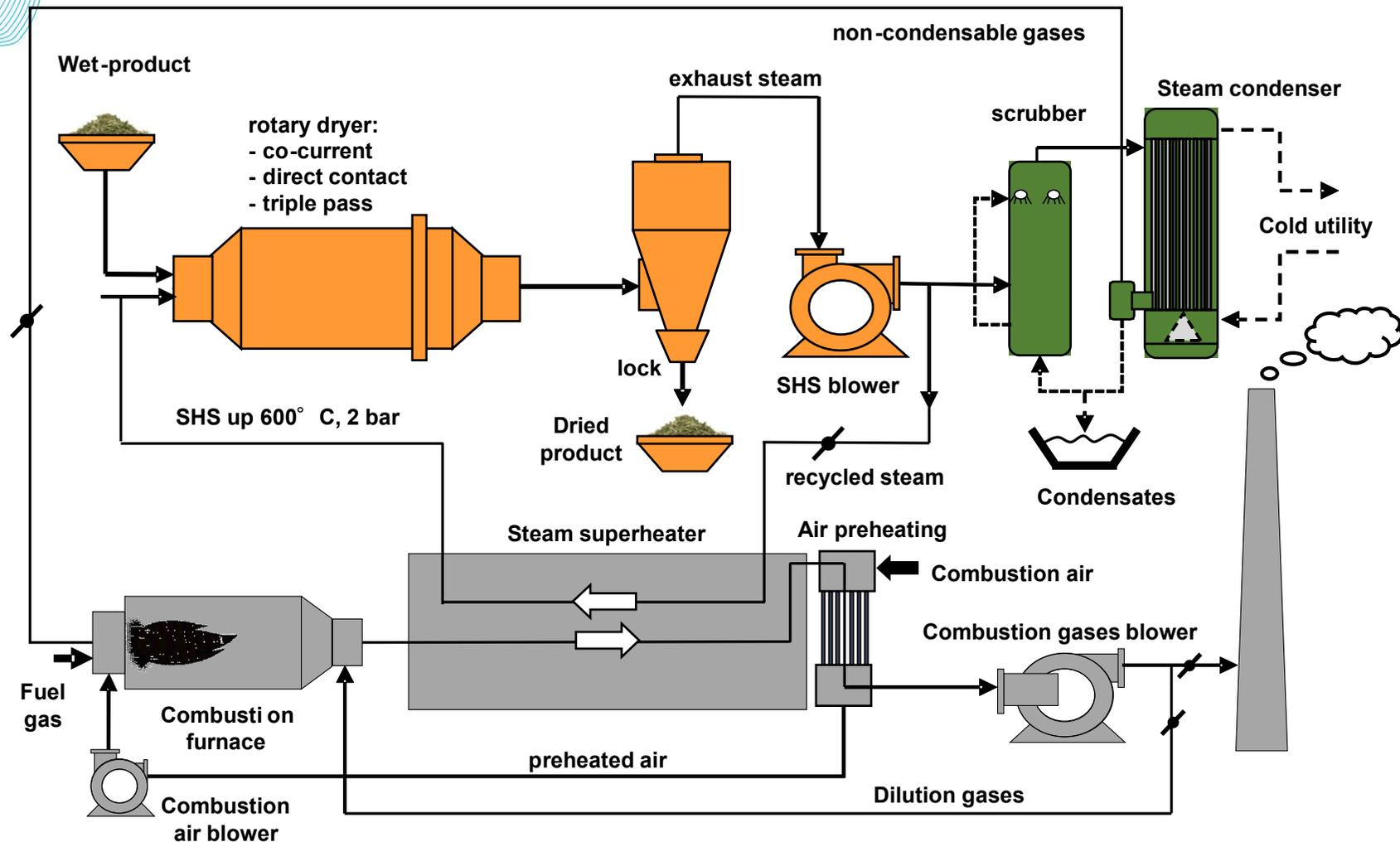
Product: wood chips

Evaporation Capacity: 5-40 t/h



- 1- burner (gas, oil, dust), 2- Heat exchanger,
- 3-drum dryer, 4- cyclone
- 5- exhaust stack, vapor loop

Applications semi-industrielle (Programme ADEME-TOTAL, 2012)



Applications semi-industrielle (Programme ADEME-TOTAL, 2012)



RMT
ACTIA

ÉCOFLUIDES

EFFICIENCE ÉNERGIE & EAU



ACTIA

Merci pour votre attention

Yvan DELOCHE

CRITT Agroalimentaire PACA

yvan.deloche@critt-iaa-paca.com

06 15 01 22 54