

Journée thématique SFGP, IFP Energies nouvelles

Amélioration de l'efficacité énergétique du séchage par l'utilisation de la Vapeur d'Eau Surchauffée (VES)

12 décembre 2012



UMR GENIAL

Hedi ROMDHANA

Historique du séchage à la VES

Principe physique du séchage à la VES

Efficacité énergétique du séchage à la VES

Applications industrielles

Conclusion

Historique du séchage à la VES

- Principe du VES (Hausbrand, 1898)
Publié en anglais en 1924 « Drying by means of air and steam »

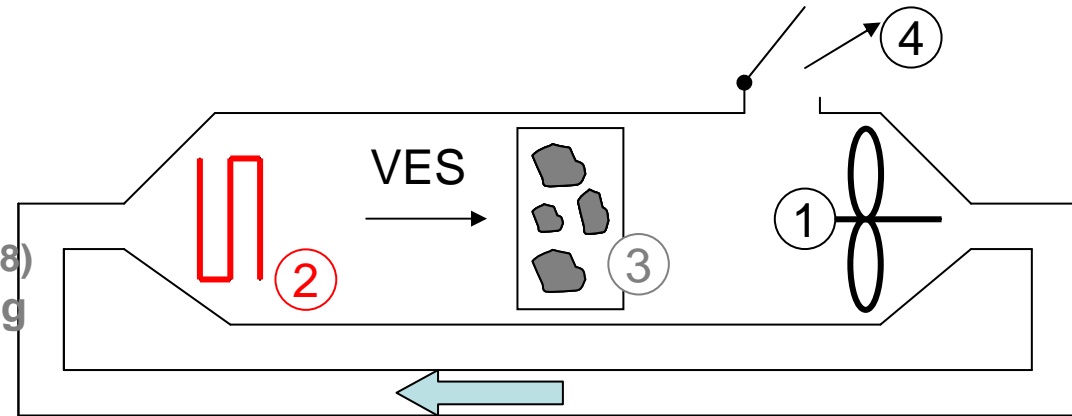


Schéma de principe du séchage à la VES 1 : ventilateur – 2 : surchauffeur – 3 : produit 4 : sortie de la vapeur en excès

- Des expériences de séchage de sable de fonderie (Karrer, 1920)
Rapporté par Beeby et Potter, 1984

Consommation énergétique (kJ/kg eau évaporée)
moitié de celle de l'air chaud

- Années 80
Développement industriel

Séchage de pulpe de cellulose (Rockhammer en suède)

Séchage de déchets combustibles (hog fuel), pâte à papier (Svensson, 1980)

Les vitesses moyennes 2 -3 fois plus grandes celle de l'air chaud



Développement industriel retardé : Risque technologique, difficulté de conception,...

- Aujourd'hui

Nécessité de développement de la VES pour des raisons économiques (**coût d'énergie**) et **environnementales**

Historique du séchage à la VES

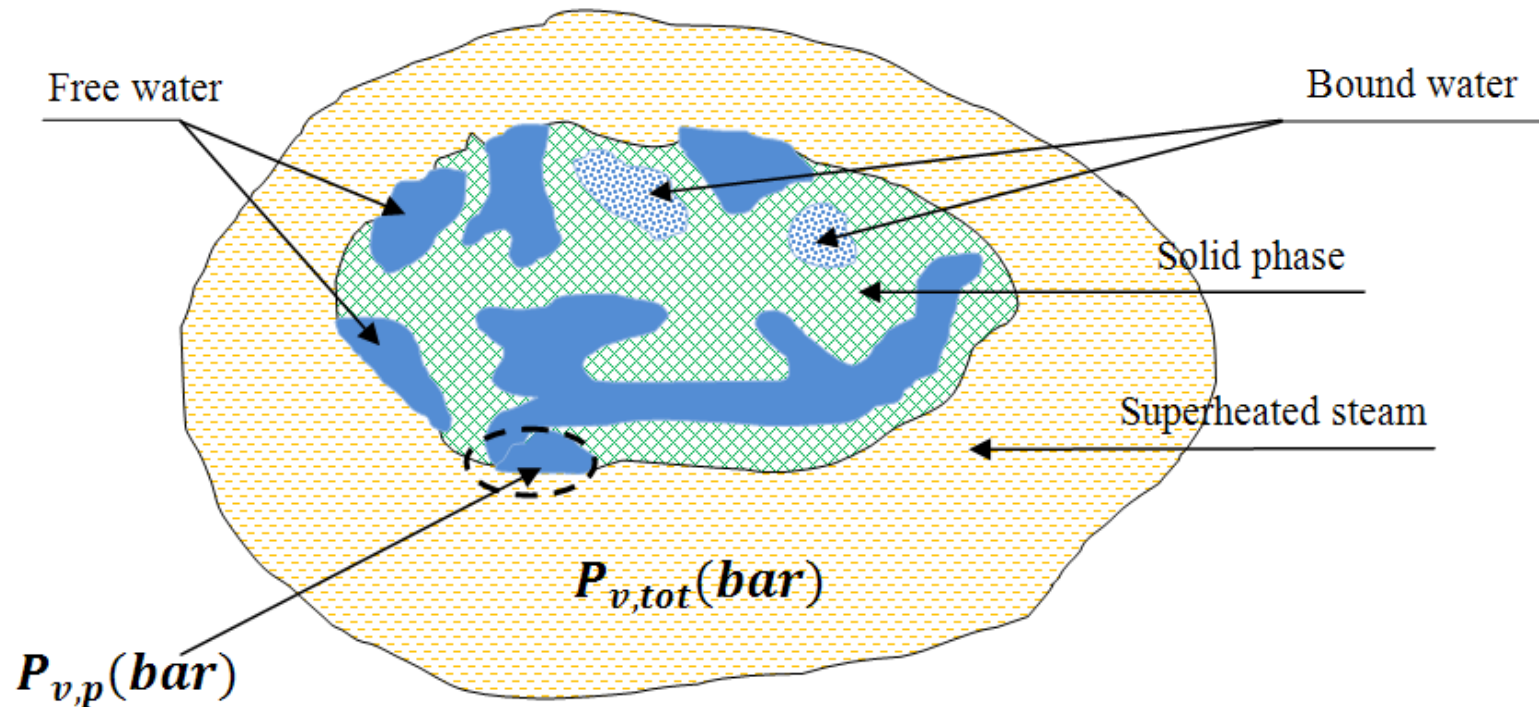
Principe physique du séchage à la VES

Efficacité énergétique du séchage à la VES

Applications industrielles

Conclusion

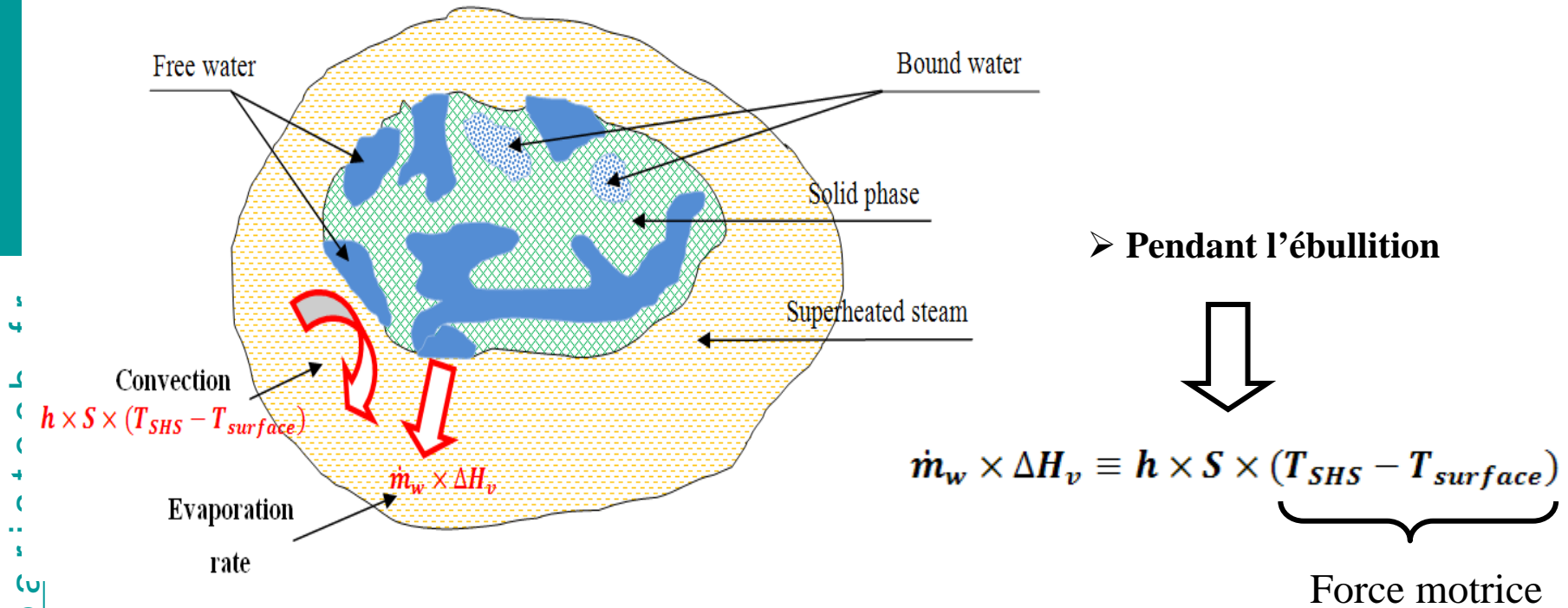
Principe physique du séchage à la VES



- Contact direct entre la VES et le produit à sécher : séchage par ébullition
- L'ébullition commence lorsque :

$$P_{v,p} \geq P_{tot}$$

Principe physique du séchage à la VES



$T_{surface} = T_{v,sat}(P_{tot})$ Si l'eau de surface est pure

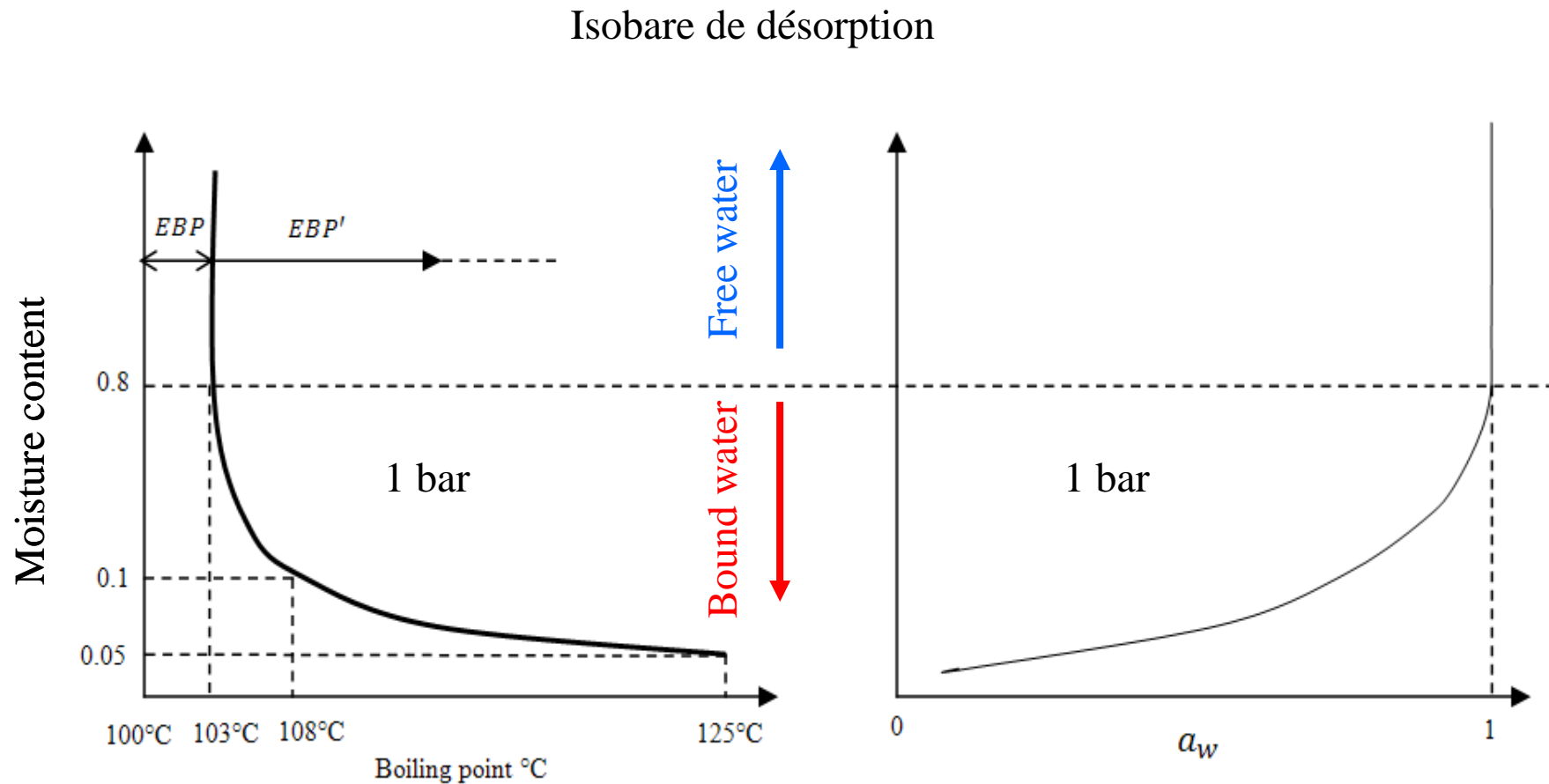
$T_{surface} = T_{v,sat}(P_{tot}) + BPE$ If surface water is not pure (includes solutes, impurities, salts ...)

BPE: Boiling-Point Elevation

tropé

ww

Principe physique du séchage à la VES

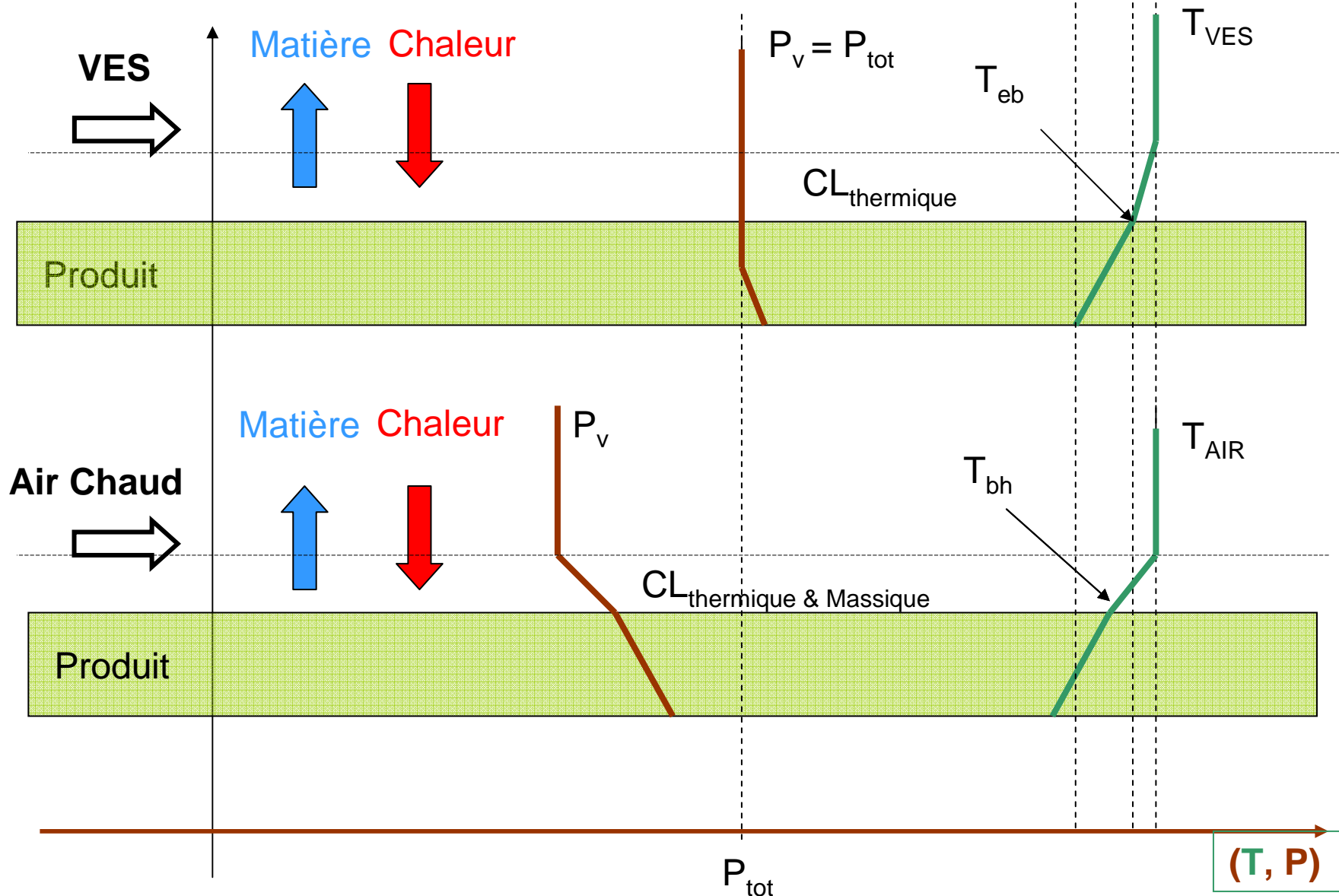


www.agroparistech.fr

➔ "Pour sécher jusqu'à 0.05 (bs), la Vapeur d'eau doit être surchauffée à 125°C ou plus

Comparaison du séchage à la VES et à l'air

www.agroparistech.fr



Historique du séchage à la VES

Principe physique du séchage à la VES

Efficacité énergétique du séchage à la VES

Applications industrielles

Conclusion

Consommation énergétique massique :

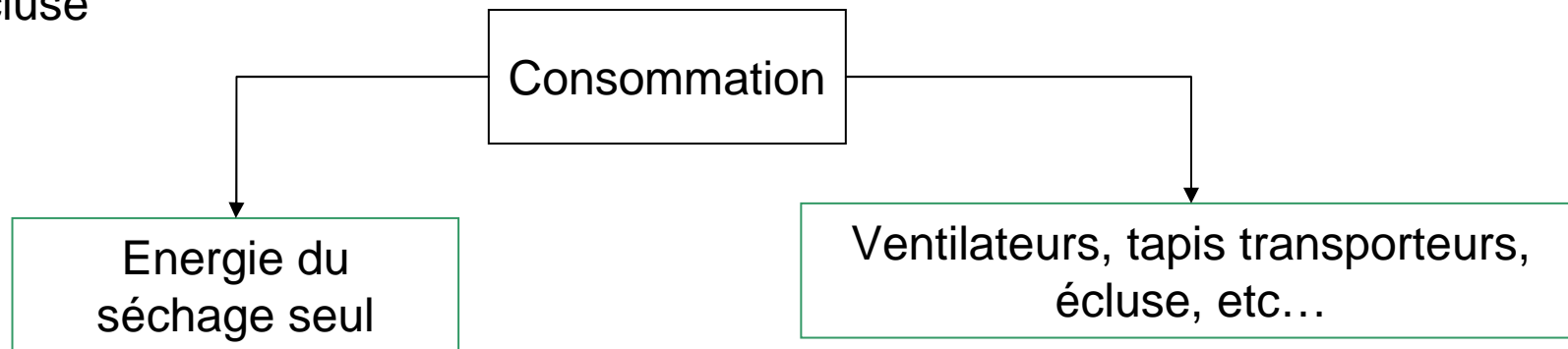
Soit en kJ/kg d'eau évaporée

Soit en kWh/t d'eau évaporée

Soit $n \times \Delta H_v$

Validité du critère énergétique :

- ❑ Il est rare qu'on précise dans les articles si la consommation énergétique correspond à l'énergie du séchage seul, ou si l'énergie des accessoires est incluse



- ❑ Le coût de l'énergie consommée n'est pas le même (rarement précisé) :
 - Energie thermique de haut niveau (fumée 800°C, vapeur HP)
 - Energie de bas niveau (vapeur détendue dans turbo-alternateur 120°C)
 - Energie électrique consommée par un compresseur
- ❑ La vapeur issue de produit et sortant du séchoir n'a pas la même valeur si elle est à pression atm. ou à 2 ou 3 bars...

Intégration énergétique du séchoir VES

Un même type de séchoir aura une efficacité énergétique très différente selon l'environnement où il est intégré :

- A) Sans récupération énergétique**
- B) Avec récupération externe au séchoir**
- C) Avec récupération sur le séchoir lui même**

Intégration énergétique du séchoir VES

A) Sans récupération énergétique

CEM du séchage seul, sans pertes $1 \times \Delta H_v = 2250 \text{ kJ} / \text{kg}_{\text{eau}}$

ou **630 kWh (d'origine thermique)/t d'eau évaporée**

Contre $\approx 1,5 \rightarrow 2,5 \times \Delta H_v = 3375 \rightarrow 5625 \text{ kJ} / \text{kg}_{\text{eau}}$

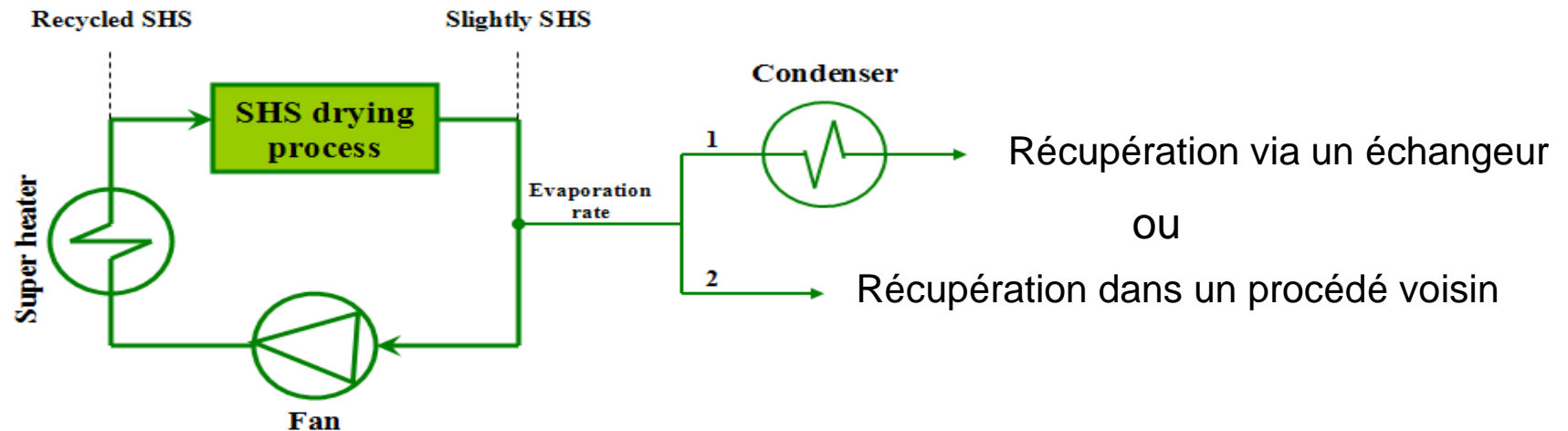
pour un séchage à l'air chaud, soit **940-1560 kWh (d'origine thermique)/t d'eau évaporée**

CEM du séchage VES seul, avec pertes, au moins $1,1 \times \Delta H_v = 2475 \text{ kJ} / \text{kg}_{\text{eau}}$

ou **690 kWh (d'origine thermique)/t d'eau évaporée**

Intégration énergétique du séchoir VES

B) Avec récupération externe au séchoir

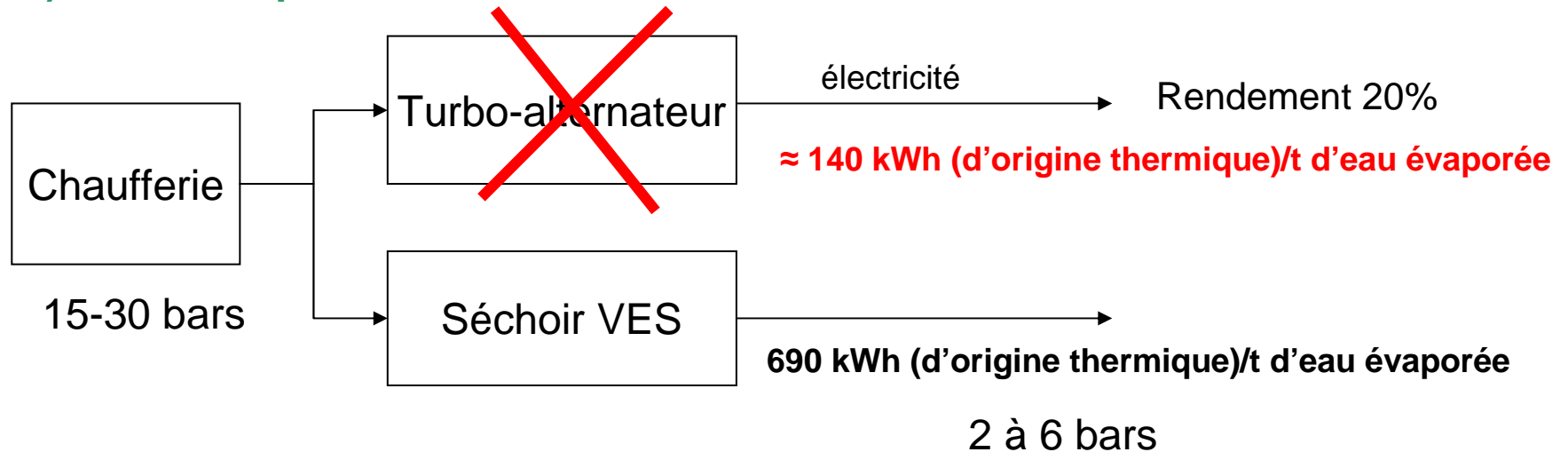


La consommation pourrait être comptée pour pratiquement **nulle**, aux pertes près, soit environ **60 à 100 kWh (d'origine thermique)/t d'eau**

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

Intégration énergétique du séchoir VES

B) Avec récupération externe au séchoir

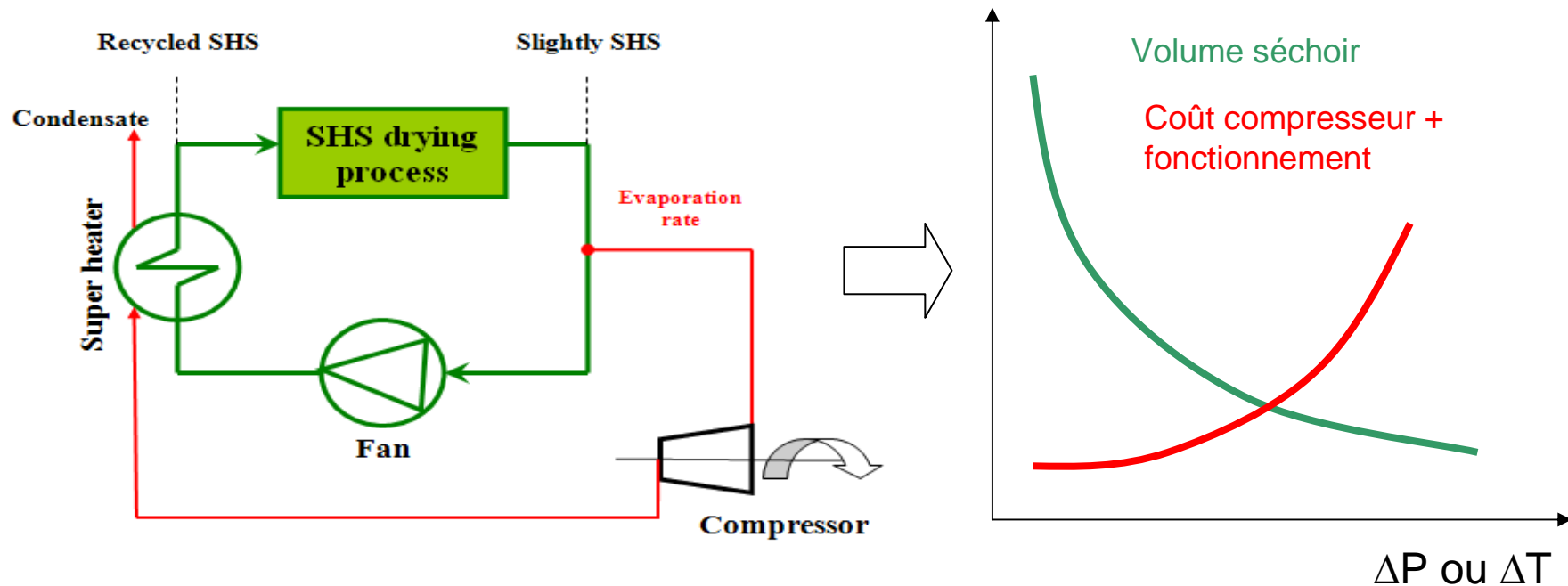


La consommation du séchage pourrait compter le manque à produire de l'électricité sur le site soit environ 20% de l'énergie utilisée en séchage soit **140 kWh (d'origine thermique)/t d'eau évaporée**

+ 60 à 100 kWh de pertes = **Total de 200 à 240 kWh(d'origine thermique)/kg d'eau évaporée**

Intégration énergétique du séchoir VES

B) Avec récupération de l'énergie sur le séchoir lui même



La consommation énergétique est couramment divisée par 4 à 10, soit une consommation de **70 à 170 kWh (d'origine électrique) /kg d'eau évaporée**

Soit une consommation thermique équivalente valant $\approx 2,4$ fois la consommation électrique

170 à 400 kWh thermique

ADEME

Intégration énergétique du séchoir VES

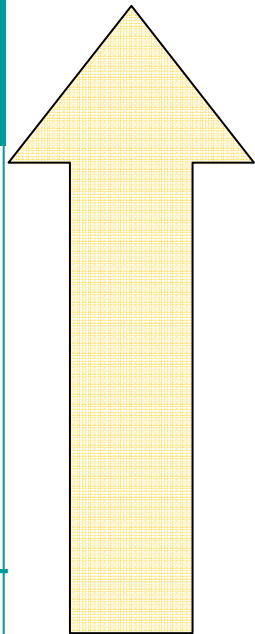
B) Avec récupération de l'énergie sur le séchoir lui même

Une autre solution est le fonctionnement **multiple effet**, où la vapeur d'un effet chauffe le suivant à pression plus faible...

La consommation énergétique massique est divisée par le nombre d'effets, soit pour **3 effets**, une CEM de **230 kWh thermique / kg d'eau évaporée**

Intégration énergétique du séchoir VES

www.agroparistech.fr



	kWh thermique par kg eau évaporée
Sans récupération énergétique	690
Avec récupération énergétique sur le séchoir	170 à 400
Avec récupération énergétique en dehors du séchoir	200 à 240

Historique du séchage à la VES

Principe physique du séchage à la VES

Efficacité énergétique du séchage à la VES

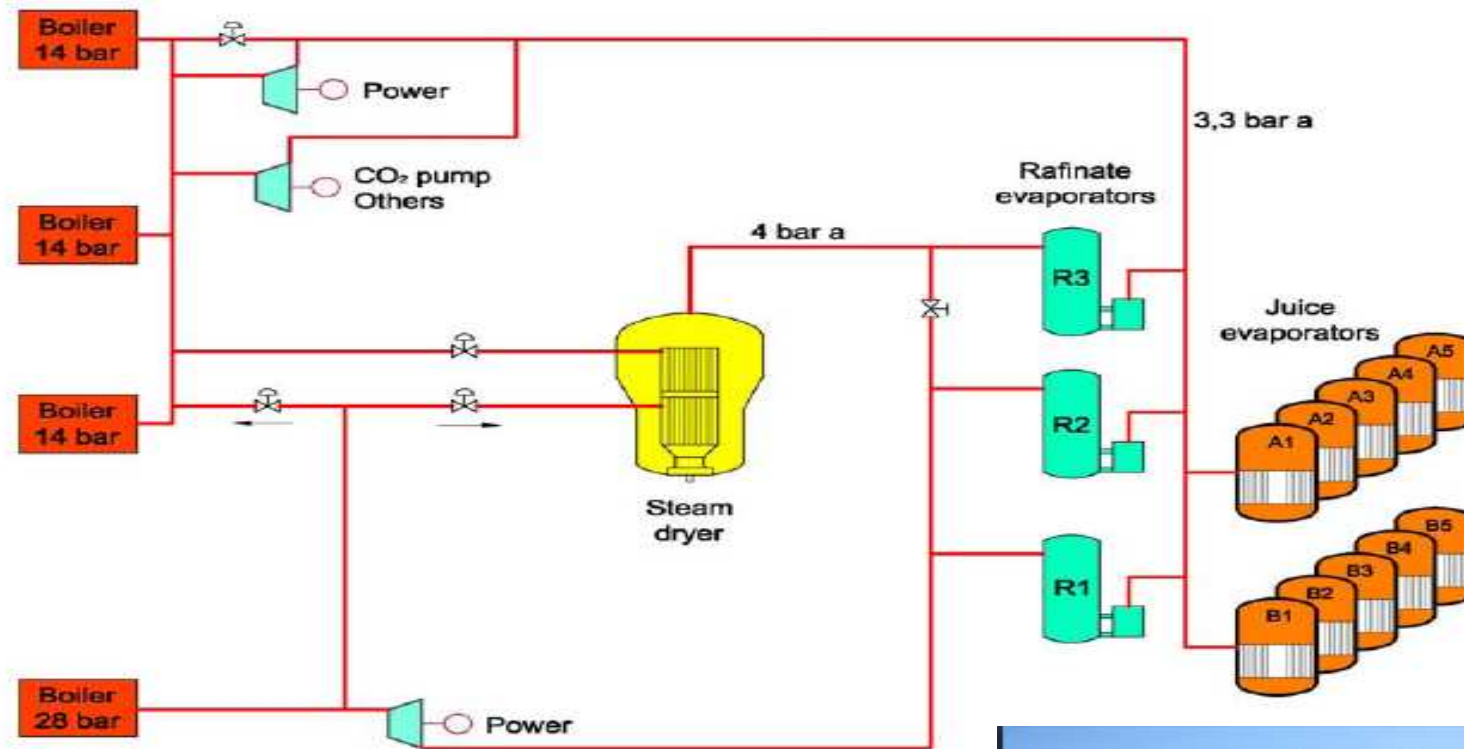
Applications industrielles

Conclusion

Applications industrielles

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

Jensen et al. 1990



Product: sugar beet pulp



Capacity: up to 90t/h

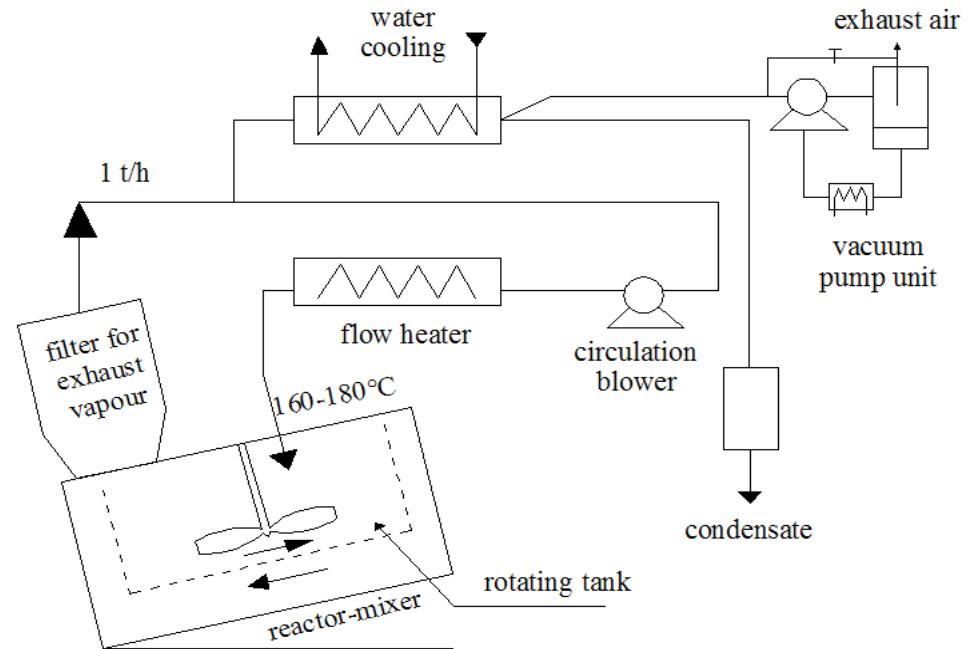
Heat integration: implementation in sugar factories

Residence time: ≈ 3 min



Applications industrielles

Rotating reactor vessel (Eirich)



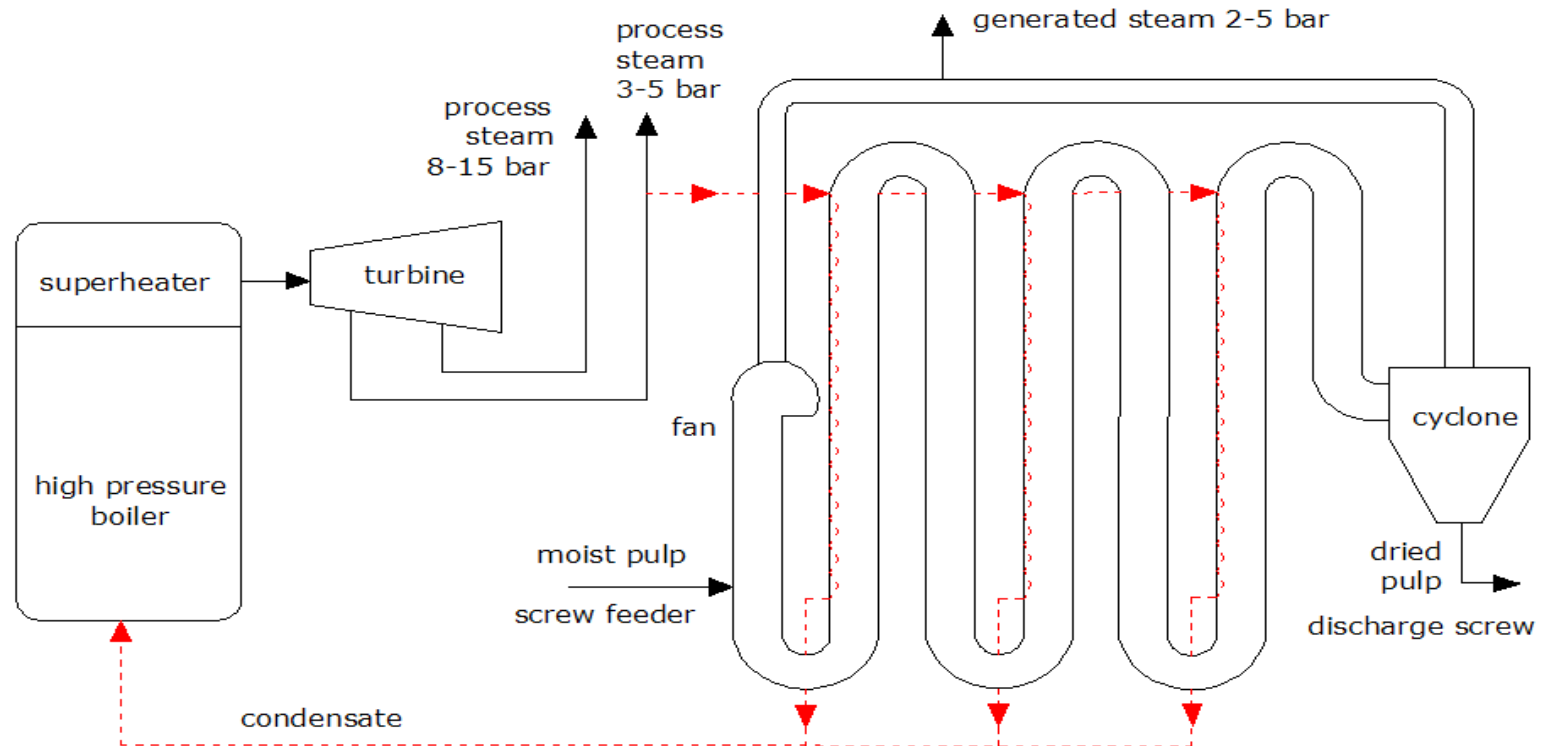
Product: paint sludge

Evaporation Capacity: 1 t/h

Energy recovery: Steam recycling

Applications industrielles

Flash dryer (GEA Exergy)



Product: pulp paper

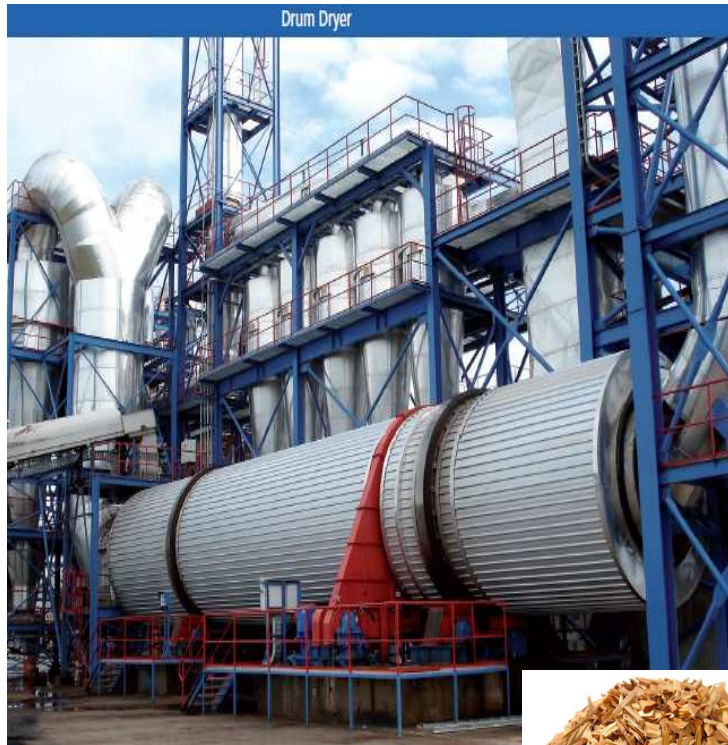
Evaporation Capacity: 150 t/day

Energy consumption: 0.4-0.7 GJ per ton of pulp

Energy recovery: the evaporation rate is used in a process steam at 2-5 bar

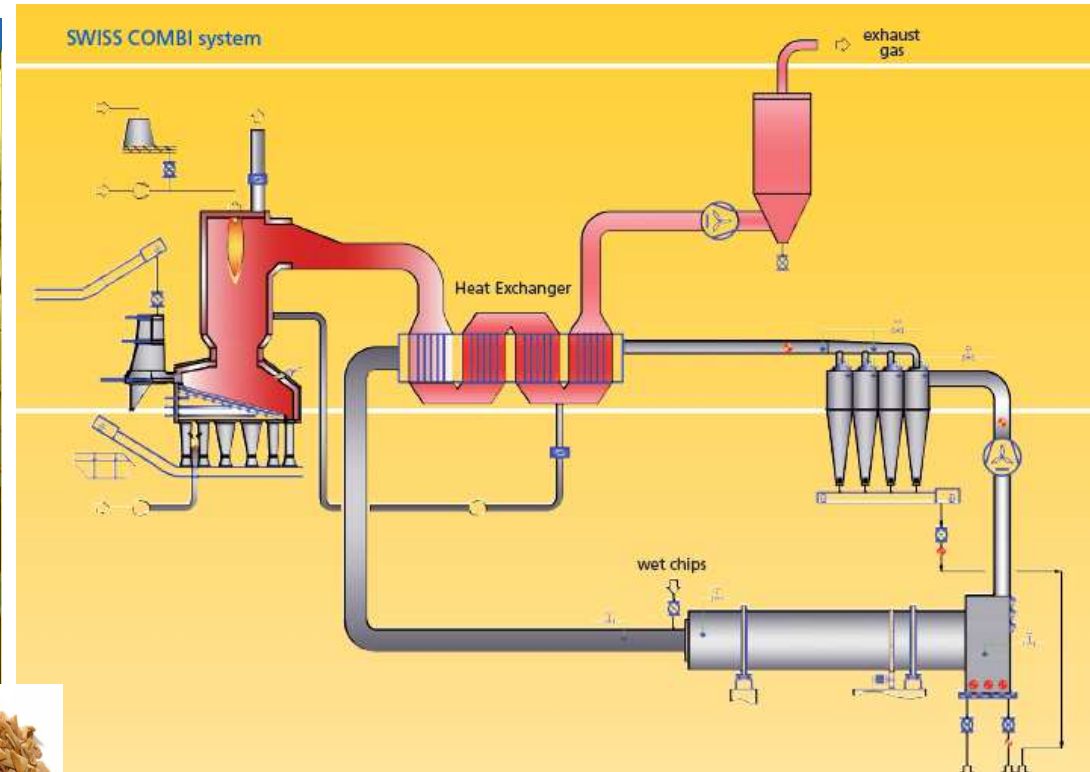
Applications industrielles

Swiss Combi Ecodry



Product: wood chips

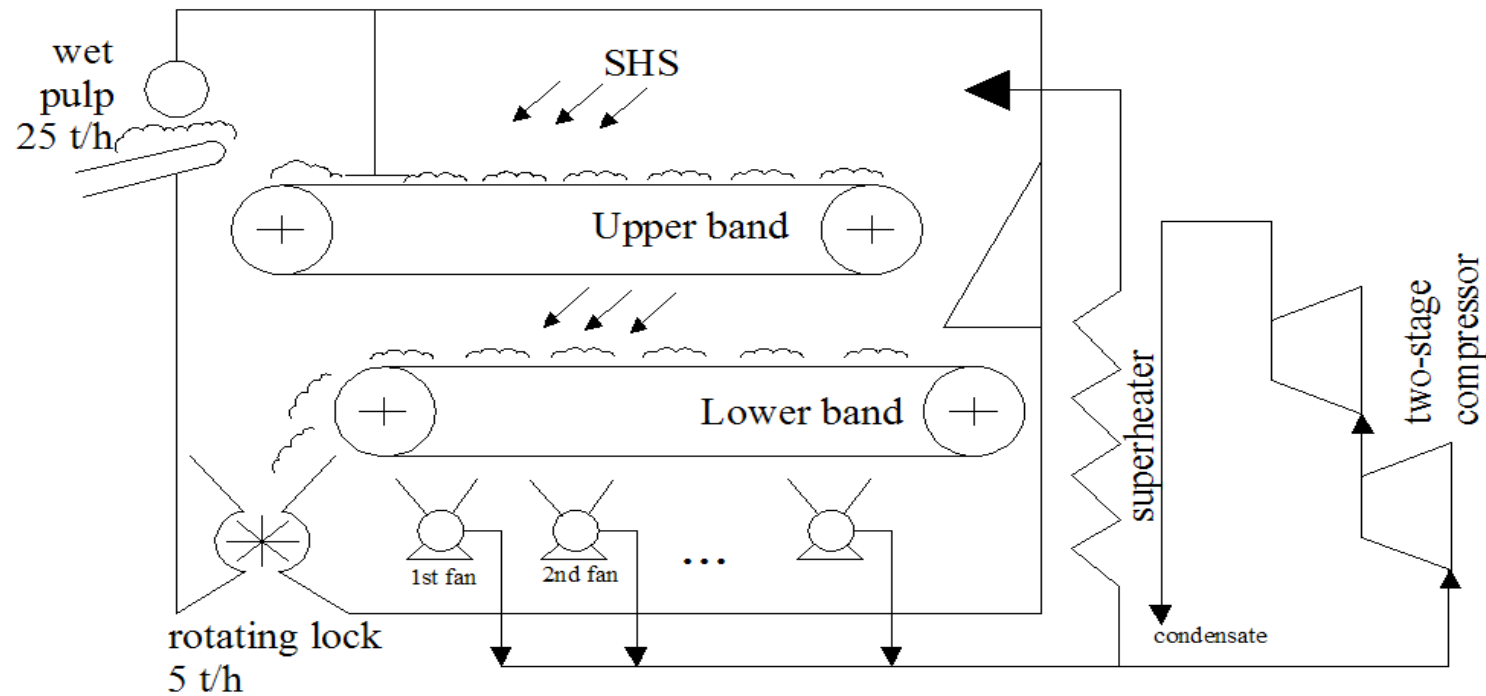
Evaporation Capacity: 5-40 t/h



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

Applications industrielles

Band dryer (Bertin / Promill)



Product: beet pulp, alfalfa

Evaporation Capacity: 20 t/h

Energy consumption: 195 kWh per 1 ton of evaporated water

Energy recovery: Mechanical compression of vapor

Comparaison de la CEM de différents séchoirs industriels

Type de séchoir	CEM (kJ/kg eau)		Produit	Récupération énergétique	Références
	SHS system	Air system			
Séchoir pneumatique	130-230	980-1144	Pulpe cellulosique	Utilisation de la vapeur dans un procédé voisin	Svensson, 1980
Séchoir à bandes (Bertin/Promill)	195	815	Pulpe de betterave, luzerne	CMV	Garin, 1988
Niro	130-190	800	Pulpe de betterave	Intégration dans une sucrerie	Kudra, 2009
Lit fluidisé	125	860-1111	Charbon	CMV	Karthikeyan, 2009

Historique du séchage à la VES

Principe physique du séchage à la VES

Efficacité énergétique du séchage à la VES

Applications industrielles

Conclusion

Conclusion

- ❑ Le séchage à la VES présente des économies d'énergie considérables du fait que la chaleur latente de vaporisation peut être récupérée/réutilisée
- ❑ Cette économie d'énergie n'est possible que si le séchoir :
 - Couplé à une CMV
 - Intégré dans un process valorisant la vapeur issue du produit
- ❑ L'efficacité énergétique définie par la CEM reste un critère très global, pourrait être contrebalancée par :
 - Coût d'investissement
 - Intégration ou non dans le procédé
 - de même les considérations **environnementales** ou de **qualité de produit** ont un poids croissant

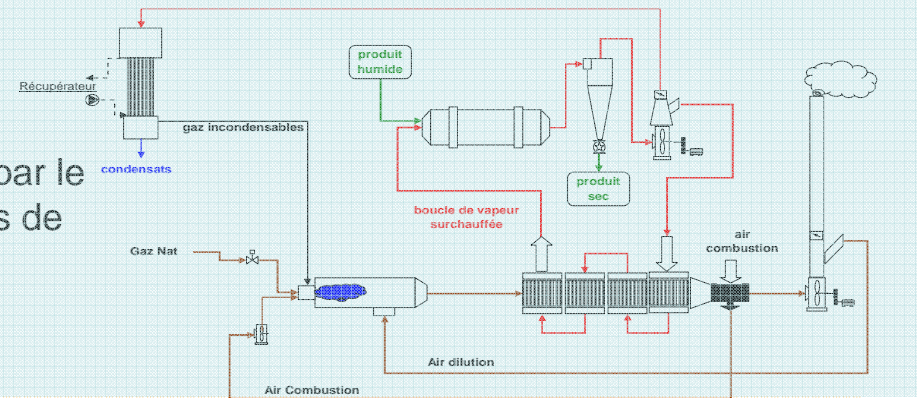
Conclusion

Projet en cours au sein d'AgroParisTech (UMR GENIAL)

Conception d'équipement

Projet AMI (Total-Ademe) : VES+

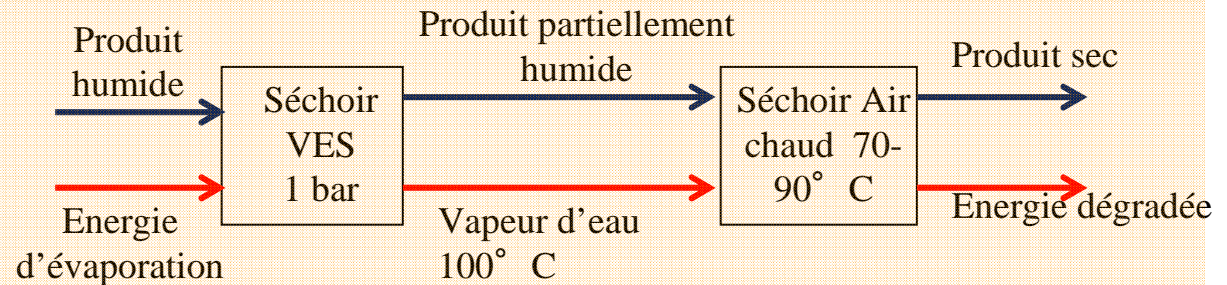
Améliorer l'efficacité des procédés industriels par le développement et la recherche de techniques de pointe



Projet AIC : EcoTrans

Séchage combiné en VES et en air-chaud

Produits thermosensibles



Projet ANR : COOPER2

Analyse énergétique à l'échelle de l'usine tout intégrant le poste de séchage

Intégration de modèles d'opérations unitaires de produits alimentaires dans un logiciel générique de simulation dans le but de faire de l'optimisation énergétique

Développement de méthode d'éco-conception

www.agroparistech.fr