



Opportunité de mutualisation : enjeux énergétiques

Patricia Arlabosse

Centre RAPSODEE UMR CNRS 5302

(Patricia.Arlabosse@mines-albi.fr)

Castres, Journée Thématique

24 Novembre 2015

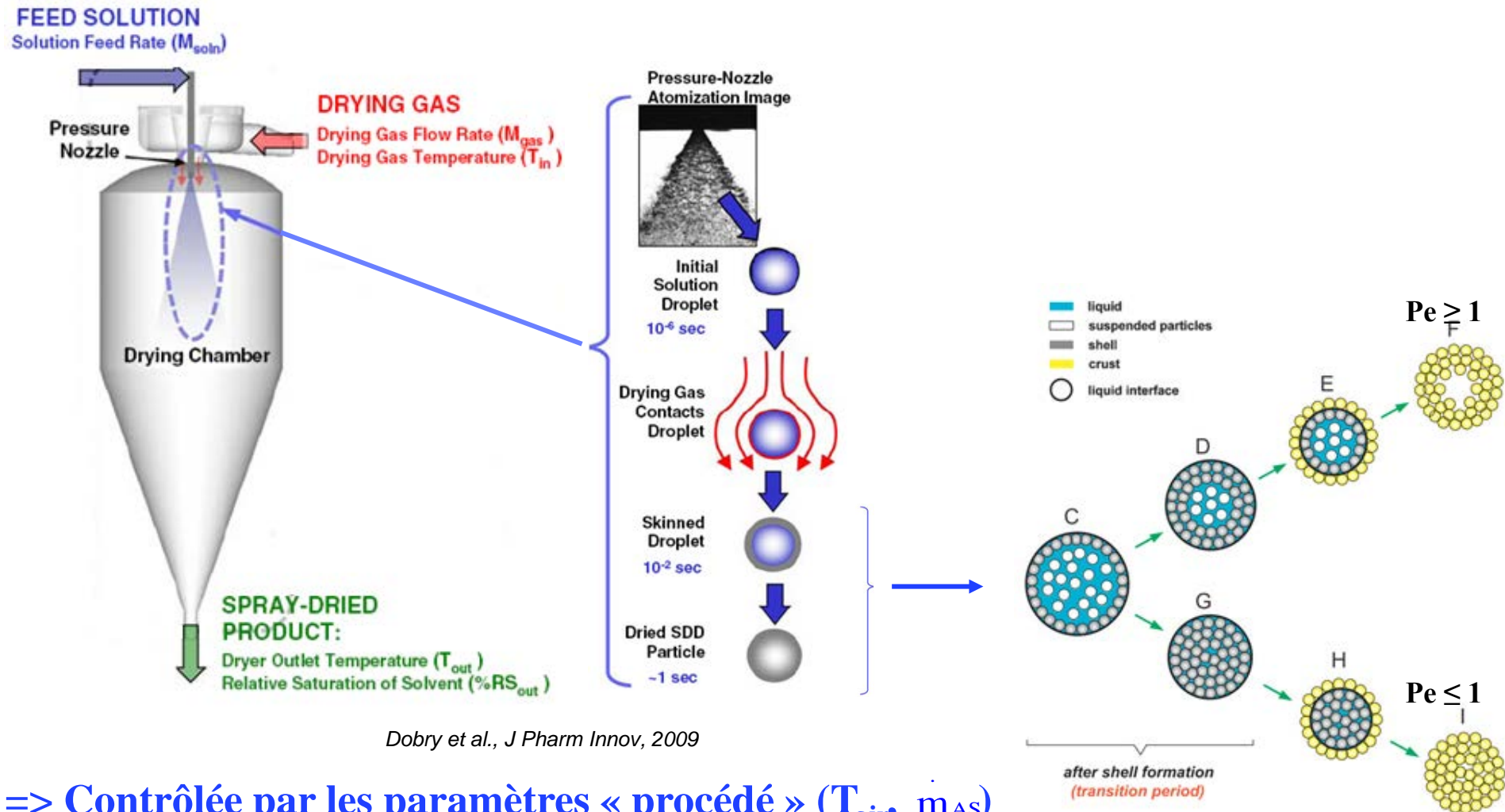




Agenda

- **Paramètres « procédés » clés pour la production de poudres fonctionnelles par atomisation**
- **Séchage et indicateurs de performance énergétique**
- **Etat des lieux de la consommation d'énergie des sècheurs par atomisation**
- **Quelles opportunités d'intégration énergétique ?**

Atomisation et mise en forme des particules



Dobry et al., J Pharm Innov, 2009

Vehring et al., Aerosol Sci., 2007

=> Contrôlée par les paramètres « procédé » (T_{air} , m_{AS}) & les propriétés physico-chimiques du produit (D)

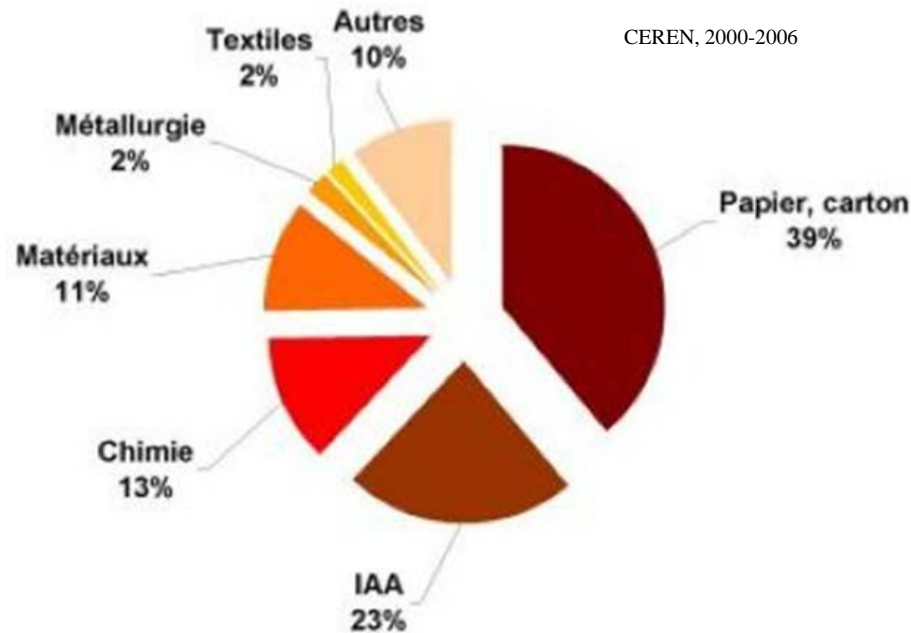


Agenda

- Paramètres « procédés » clés pour la production de poudres fonctionnelles par atomisation
- Séchage et indicateurs de performance énergétique
- Etat des lieux de la consommation d'énergie des sècheurs par atomisation
- Quelles opportunités d'intégration énergétique ?

Consommation d'énergie liée au séchage

~ 42 TWh/an, soit 9 % de la consommation industrielle



Répartition par secteur industriel
(en % de la consommation, hors sylviculture)

Séchage & indicateur de performances

✓ Rendement énergétique

$$\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{consommée}}}$$

{ Evaporer le liquide }
à T_{evap}

{ chauffer le liquide }
de T_{IN} jusqu' à T_{evap}

{ chauffer le liquide résiduel }
de T_{evap} jusqu' à T_{sortie}

{ chauffer la matière sèche }
de T_{IN} jusqu' à T_{OUT}

{ Chauffer l'air }
jusqu' à T_{IN}

{ chauffer }
l'équipement

{ compenser toutes }
les pertes



P_{utile}

$P_{\text{consommée}}$

✓ Capacité évaporatoire massique

$$CEM = \frac{P_{\text{consommée}}}{\dot{m}_{\text{eau évaporée}}}$$

Comparer les sécheurs sur une **base indépendante** de la quantité d'eau évaporée

✓ Ratio de consommation énergétique

$$RCE = \frac{CEM}{L_v(0)}$$

Comparer la consommation effective à une **référence**, la chaleur latente de vaporisation de l'eau pure



Agenda

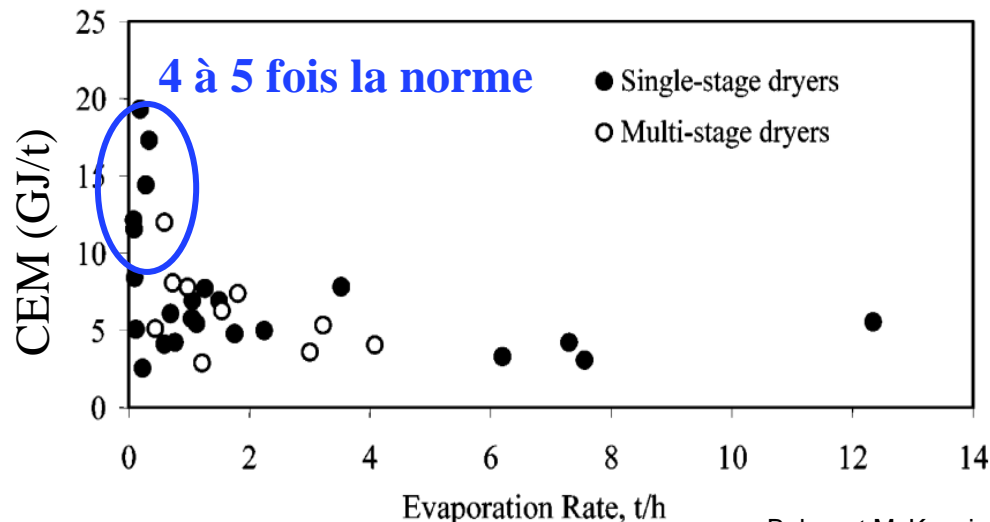
- Paramètres « procédés » clés pour la production de poudres fonctionnelles par atomisation
- Séchage et indicateurs de performance énergétique
- Etat des lieux de la consommation d'énergie des sècheurs par atomisation
- Quelles opportunités d'intégration énergétique ?

Etat des lieux

- ✓ Valeurs typiques pour des sècheurs par entraînement fonctionnant sous air chaud

CEM (kJ/kg d'eau)	RCE (kg vapeur/kg d'eau)
3300 à 6500	1,5 à 3

- ✓ Audit de 32 installations de séchage par atomisation au Royaume Uni
Secteurs : chimie, agroalimentaire, céramique

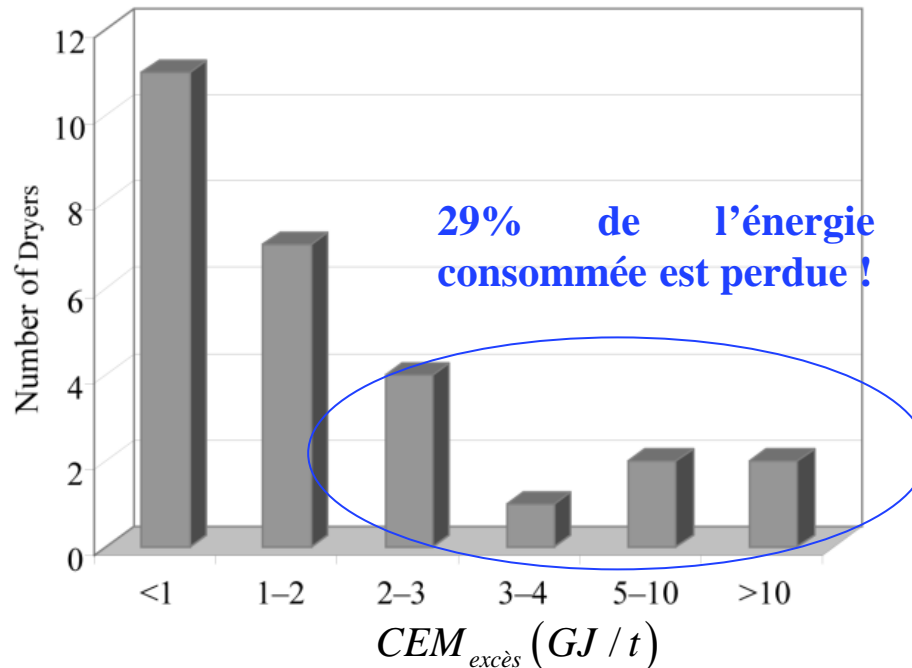


Baker et McKenzie, Drying Technology, 2005

Diagnostic & indicateur de performance

$$CEM_{excès} = CEM - CEM_{idéal, adiabatique}$$

Même température et humidité de l'air à la sortie
Température du matériau en entrée de 0°C
Pas de chaleur dépensée pour chauffer le produit
Pas de pertes pariétales

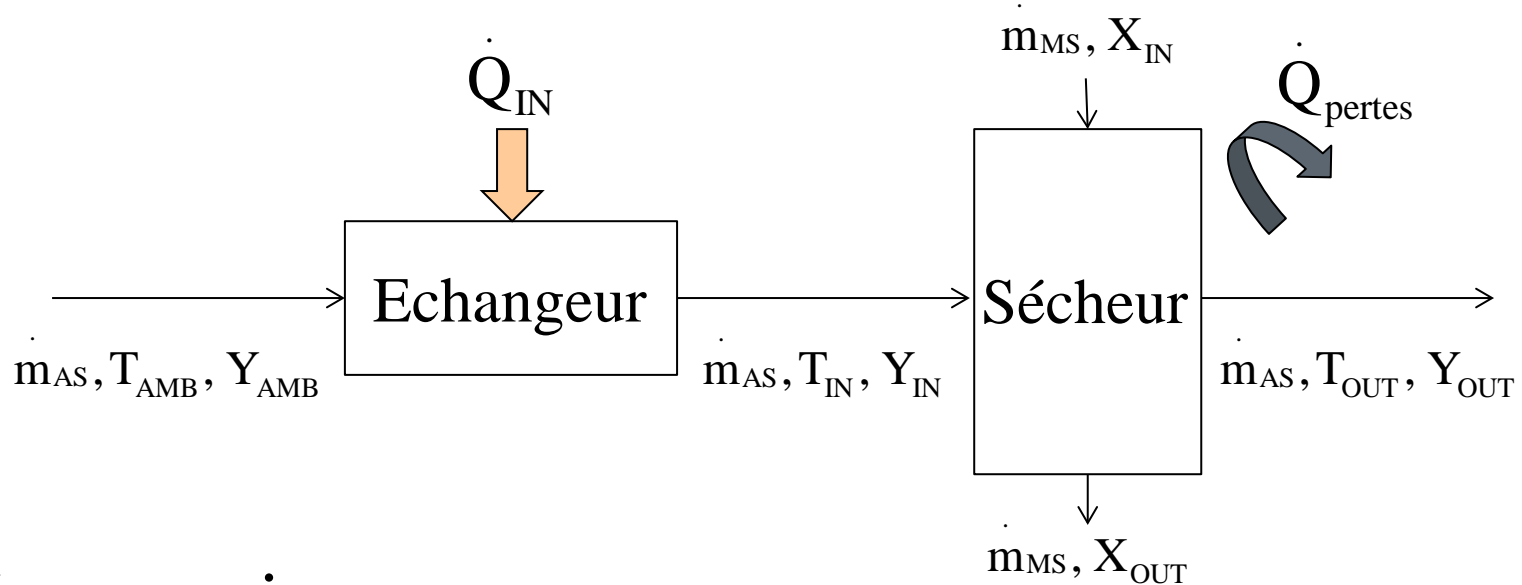


Constatations :

Pas d'information de la puissance thermique consommée (25% des installations)

Peu de mesures d'efficacité énergétique (50% des cas)

Quelle métrologie pour accéder à $CEM_{excès}$?



=> **Mesures requises :**

Débit & températures entrée/sortie du fluide caloporteur, pour calculer \dot{Q}_{IN}

Air {
Température à l'entrée et à la sortie, T_{IN} et T_{OUT}
Débit d'air sec, \dot{m}_{AS}
Humidité à l'entrée, Y_{AMB}

Produit {
Teneur en eau à l'entrée et à la sortie, X_{IN} et X_{OUT}
Débit de matière sèche, \dot{m}_{MS}
Température à l'entrée et à la sortie, $T_{p,IN}$ et $T_{p,OUT}$



Agenda

- Paramètres « procédés » clés pour la production de poudres fonctionnelles par atomisation
- Séchage et indicateurs de performance énergétique
- Etat des lieux de la consommation d'énergie des sècheurs par atomisation
- Quelles opportunités d'intégration énergétique ?

Comment réduire $CEM_{excès}$?

$$CEM_{excès} = \frac{f}{1-f} \left(\frac{C_{p,g} T_{OUT} + Y_{OUT} \Delta h^{L \rightarrow V} (0^\circ C)}{Y_{OUT} - Y_{AMB}} \right)$$

$$\text{avec } f = \frac{\dot{Q}_{perdes} + \dot{m}_{ms} (H_{pdt,OUT} - H_{pdt,IN})}{\dot{m}_{AS} h_{air,IN}}$$

1^{ère} option : Optimiser le système

- ✓ Diminuer X_{IN} (si possible)
- ✓ Vérifier l'étanchéité du système
- ✓ Mieux isoler l'installation (sécheur & échangeur)
- ✓ Ajuster \dot{m}_{AS} , T_{IN} , X_{OUT}

2nd option : Intégrer énergétiquement le système

- ✓ Intégration énergétique sur le sécheur
- ✓ Intégration énergétique sur tout ou partie de l'usine
- ✓ Couplage à une machine thermique (cogénération ou cycle combiné)
- ✓ Couplage à un autre sécheur (séchage 2 temps)

L'analyse Pinch : un outil incontournable

La plupart des procédés industriels ont besoin d'énergie thermique :

- ❑ Certains flux thermiques nécessitent un chauffage => **Flux Froids**
- ❑ D'autres nécessitent un refroidissement => **Flux Chauds**

Pour maintenir le fonctionnement d'un procédé, il faut des :

- ❑ « Utilités de chauffage »
- ❑ « Utilités de refroidissement »

👉 **Objectif : Réduire le coût des utilités, en favorisant les échanges de chaleur entre les flux chauds et les flux froids**

Basée sur les principes de la thermodynamique (Linnhoff, 1977), l'analyse Pinch permet :

- ❑ de déterminer **la consommation minimale** d'énergie si la récupération d'énergie était optimale
- ❑ de concevoir **le réseau d'échangeurs optimal**

Une méthodologie simple à mettre en oeuvre !

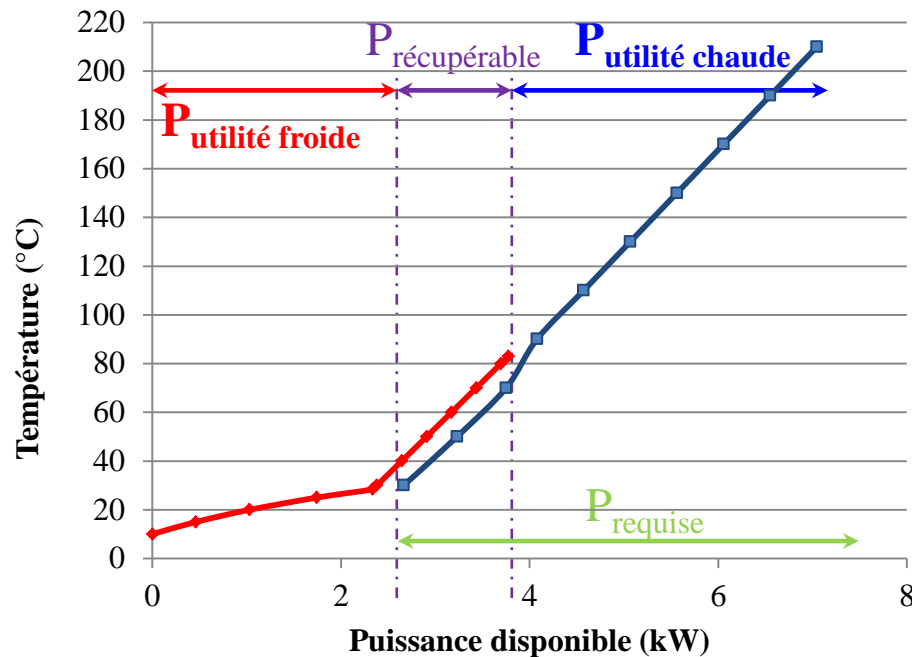
Quatre étapes :

Identification des **flux chauds** et des **flux froids**

Extraction des données (débit, température entrée/sortie)

Calcul de la **consommation d'énergie minimale**

Conception du réseau d'échangeurs optimal



Comment intégrer un sécheur par atomisation ?

- ❑ Gain potentiel résultant de l'intégration énergétique sur le sécheur de l'ordre de 18% sous air (Johnson et al., Drying Technology, 2011)
- ❑ Gain potentiel légèrement supérieur par intégration sur le site industriel (Atkins et al., Applied Thermal Engineering, 2011)

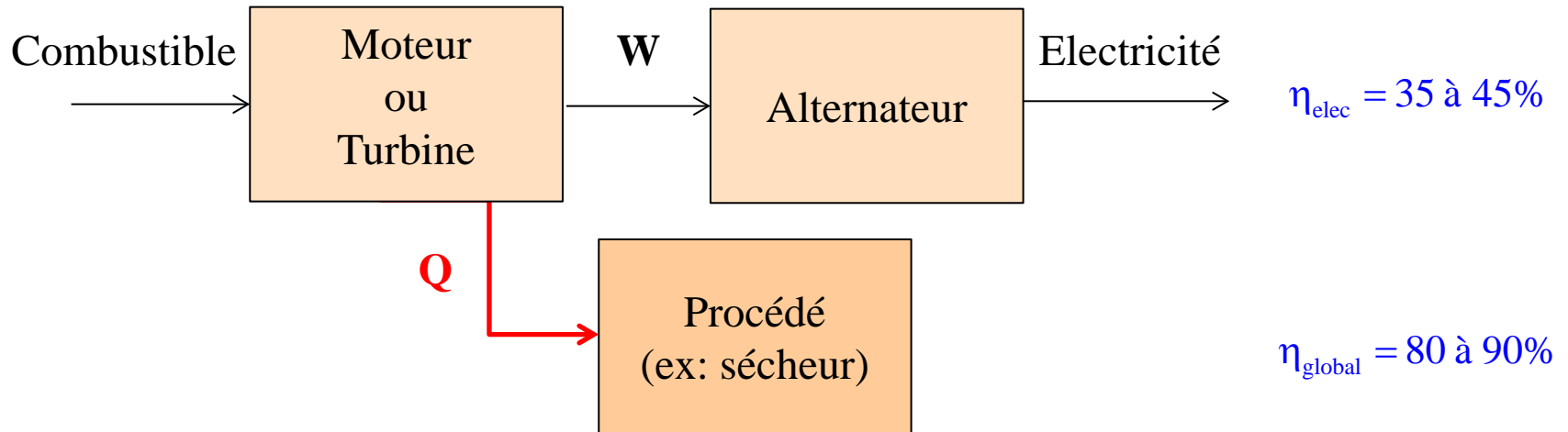
Scheme	Q_{hot} (kW)	Savings Q_{hot} (kW)	Savings Q_{hot} (%)	Q_{cold} (kW) ^a	Savings Q_{cold} (kW)	Savings Q_{cold} (%)
Base Case	32,693	—	—	788	—	—
Inlet Air	28,524	4169	12.8	788	0	0
SHW	27,677	5016	15.3	788	0	0
Raw Milk A	28,167	4526	13.8	1329	-541	-69
Raw Milk B	29,521	3172	9.7	2388	-1600	-203
Raw Milk C	25,733	6960	21.3	0	788	100
Split Exhaust	25,893	6800	20.8	788	0	0

- ❖ Chauffage du lait et utilisation du courant de sortie des évaporateurs pour préchauffer l'air puis le lait et utilisation comme utilité froide au condenseur
- ❖ Chauffage de l'eau pour le nettoyage en place et de l'air

Avec des procédés semi-continus : intégration énergétique sur le procédé et stockage de l'excédent d'énergie avec une bache tampon (Atkins et al., Journal of Cleaner Production, 2010)

Comment intégrer un sécheur par atomisation ?

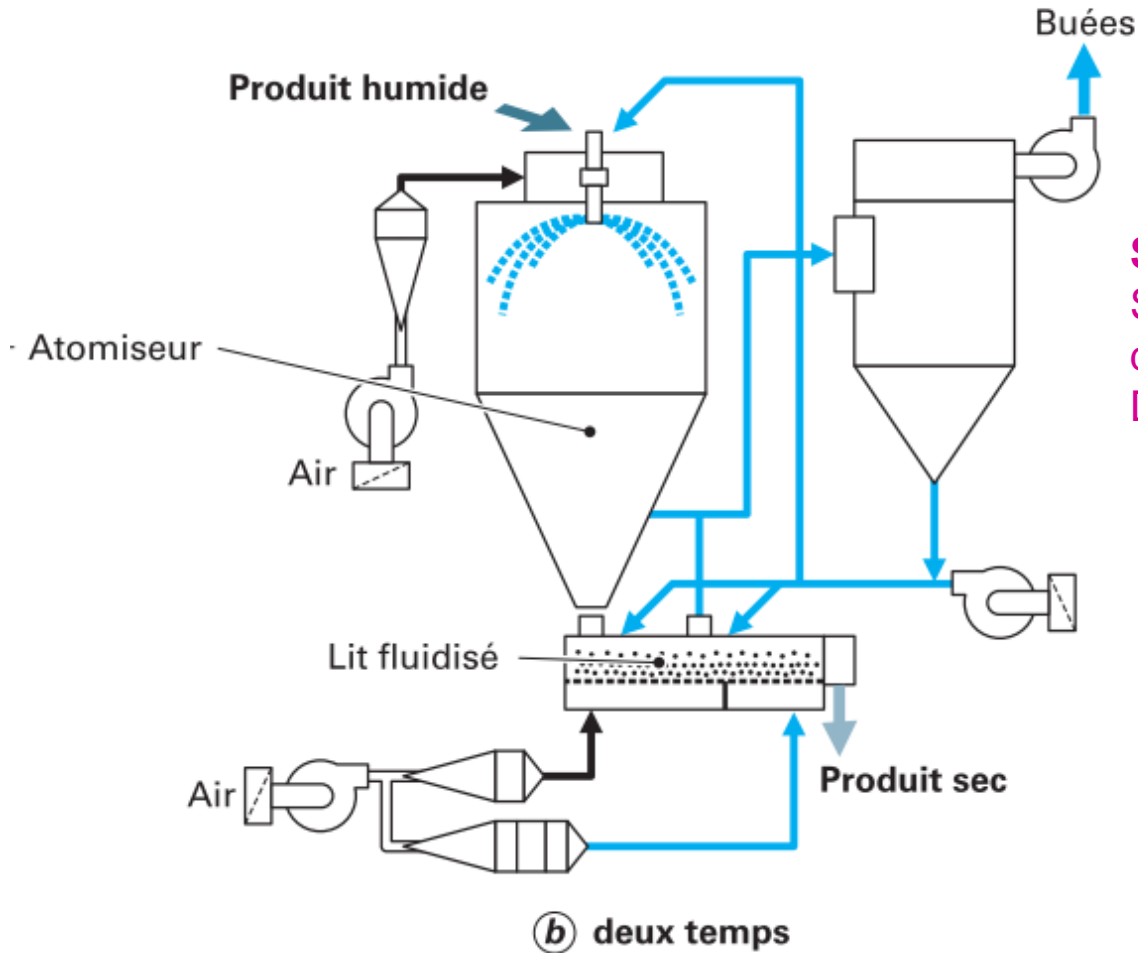
- Par couplage à une machine thermique



	Taille	Ratio Q/W	Vecteurs énergétiques
Moteur	qq kW à qq MW	0.8 à 2	Gaz d'exhaure ~ 450°C Eau chaude T < 80°C
Turbine à gaz	qq kW à qq dizaine MW	1.5 à 5	Gaz d'exhaure ~ 450°C + vapeur HP si cycle combiné
Turbine à vapeur	qq dizaine MW	> 5	Eau chaude T ~ 100 °C

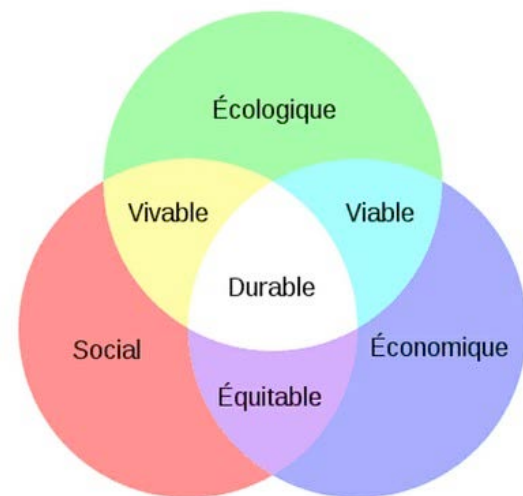
Comment intégrer un sécheur par atomisation ?

- Par couplage à un lit fluidisé



Séchage 2 temps :
Sortie atomiseur proche
de la saturation
Donc $CEM_{globale}$ réduite

En résumé



La mutualisation industrielle présente un certain nombre de barrières organisationnelles, logistiques et informationnelles qu'il convient de lever avant toute mise en œuvre. La question de la gestion des flux énergétiques doit être posée dès l'étude d'opportunité.