

**BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES**

**SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL**

**B.P. 6009 - 45060 Orléans Cedex - Tél.: (38) 63.80.01**

# **LA GÉOTHERMIE ET LE SÉCHAGE**

**Principes généraux et application au séchage du maïs**

par

**P. SCHERR**



**Département géothermie**

**B.P. 6009 - 45060 Orléans Cedex - Tél.: (38) 63.80.01**

**80 SGN 904 GTH**

**Mars 1981**

## S O M M A I R E

I - <u>INTRODUCTION</u> -----	1
II - <u>GENERALITES</u> -----	2
2.1 - Définition du séchage -----	2
2.2 - Intérêt du séchage artificiel -----	2
2.3 - Produits agricoles soumis au séchage et géothermie -----	2
III - <u>PRINCIPE DU SECHAGE</u> -----	4
3.1 - définition du séchage -----	4
3.2 - Comportement du produit au cours du séchage -----	4
3.2.1 - définition -----	4
3.2.1.1 - teneur en eau -----	4
3.2.1.2 - point d'humidité -----	5
3.2.2 - Calcul des pertes d'eau au séchage -----	5
3.2.3 - capacité du sècheoir -----	5
3.2.4 - pouvoirs d'évaporation d'un sècheoir -----	5
3.3 - Comportement de l'air au cours du séchage -----	6
3.3.1 - définition de l'air humide -----	6
3.3.2 - diagramme de l'air humide ou diagramme de Mullier -----	6
3.3.3 - Caractéristiques de l'air humide -----	6
3.3.3.1 - teneur en eau -----	6
3.3.3.2 - enthalpie -----	7
3.3.3.3 - humidité relative -----	7
3.3.3.4 - température sèche -----	7
3.3.3.5 - température humide -----	8
3.3.3.6 - volume spécifique de l'air, ou volume massique -	8
3.3.3.7 - tension de vapeur d'eau -----	8
3.3.4 - Détermination des caractéristiques de l'air -----	8
3.3.5 - Dynamique du séchage -----	8
3.3.6 - Calculs pratiques à partir du diagramme de l'air humide --	9
IV - <u>LE SECHAGE DU MATS</u> -----	11
4.1 - Remarque préliminaire -----	11
4.2 - Les principales méthodes de séchage -----	11
4.2.1 - le séchage en cribs -----	11
4.2.2 - le séchage par convection -----	12
4.2.2.1 - principaux types de sècheoirs à grains industriels	12
4.2.2.1 - principales méthodes de séchage par convection -	12

4.3 - Consommation d'énergie et performances des séchoirs -----	13
4.3.1 - besoins énergétiques d'un séchoir à maïs -----	13
4.3.2 - bilan thermique d'un séchoir -----	14
V - <u>POSSIBILITES D'APPLICATION DE LA GEOTHERMIE AU SECHAGE DU MAIS</u> -----	18
5.1 - Production française de maïs et répartition régionale -----	18
5.2 - Couverture des besoins par la géothermie -----	19
5.3 - Aspect technico-économique -----	21
VI - <u>CONCLUSION - PERSPECTIVES</u> -----	25

## I - I.N.T.R.O.D.U.C.T.I.O.N

La présente étude a pour triple objectif :

- d'informer le lecteur des bases de la théorie du séchage, du vocabulaire qui s'y attache et de l'état actuel de la technologie du séchage ;
- de donner au département "Géothermie" un outil de travail lui permettant de porter un regard critique sur les études relatives au séchage qu'il pourrait être amené à confier à des bureaux d'études ;
- d'analyser les possibilités d'application de la géothermie au séchage du maïs en France, en mettant en évidence les contraintes qui s'y rattachent ainsi que les perspectives de développement.

## II. - G E N E R A L I T E S

---

### 2.1 - Définition du séchage

La finalité du séchage est d'assurer une séparation partielle entre un liquide (généralement de l'eau) et une matière solide. Dans le cas des produits agricoles, cette matière solide est une substance alimentaire renfermant en proportions variables les constituants biochimiques suivants : glucides, lipides, protides et sels minéraux.

Selon que l'air utilisé pour sécher le produit est de l'air ambiant extérieur ou de l'air artificiellement mis en mouvement, réchauffé ou non, on est amené à distinguer :

Le séchage naturel, obtenu par exposition de la matière humide au soleil ou par un séjour dans une ambiance atmosphérique relativement sèche et permettant au produit de céder à l'air une partie de l'eau en excès qu'il contient (exemples : fruits, légumes, fenaison des fourrages, etc...).

Le séchage artificiel, obtenu en soumettant le produit humide, dans un sècheir, à l'action d'un courant d'air généralement chaud obtenu grâce à une source d'énergie calorifique.

### 2.2 - Interêt du séchage artificiel

Le séchage artificiel est un procédé coûteux. En effet, la vaporisation des particules d'eau est un phénomène endothermique, c'est-à-dire un phénomène absorbant de l'énergie, auquel s'ajoute parfois une dépense supplémentaire due à la désorption, c'est-à-dire à la vaporisation de l'eau fixée avec la substance par des liaisons physico-chimiques.

Malgré cela, le séchage artificiel prévaut souvent au séchage naturel, essentiellement pour des raisons de productivité agricole et de disponibilité de la main-d'oeuvre en milieu rural.

### 2.3 - Produits agricoles soumis au séchage et géothermie

Il y a lieu de faire une distinction entre :

- . les produits fortement hydratés naturellement, comme par exemple les fourrages (luzerne, les pulpes de betteraves, les fruits, les légumes verts, le lait, etc.), pour lesquels le titre en eau est supérieur à 70%.

- les produits relativement peu hydratés à la récolte, comme par exemple le maïs, pour lequel la proportion d'eau à retirer représente environ le tiers de la masse de produit sec, ou les céréales (blé, orge) et les oléagineux (colza, tournesol) pour lesquels la masse d'eau à évaporer est encore plus faible.

Le tableau suivant donne les températures de séchage adoptées en fonction des produits concernés.

Produit	Température
Maïs	45°C à 110°C
Fruits et légumes	80°C
Tabac	100°C
Pulpe de betterave	110°C à 130°C
lait	170°C à 200°C
Pomme de terre	170°C à 280°C
Malt	60°C à 80°C
Luzerne	800°C à 1000°C

Au vu de ce tableau, il apparaît que la température très élevée de séchage de la luzerne exclut toute possibilité d'application de la géothermie à la deshydratation des fourrages compte tenu des techniques utilisées actuellement.

Par contre, les températures de séchage des autres produits sont compatibles avec les ressources géothermales haute énergie (150°C à 300°C), moyenne énergie (80 à 150°C) ou basse énergie (60 à 80°C).

## 2.4 - Différentes techniques de séchage

En fonction de la nature du produit à sécher, on réalise le séchage artificiel par entraînement selon trois techniques :

### 2.4.1. Séchage à co-courants ou anti-méthodique (fig. 1)

L'air et le produit avancent parallèlement dans le même sens, à l'intérieur du séchoir.

Cette technique est utilisée notamment pour la déshydratation de la luzerne.

### 2.4.2. Séchage à contre-courant ou méthodique (fig. 2)

L'air et le produit avancent parallèlement, mais en sens opposé, à l'intérieur du séchoir.

Cette technique est utilisée pour les produits fragiles et difficiles à sécher, par exemple, les pruneaux d'Agen dans les séchoirs "tunnels" ou la poudre de lait dans les séchoirs par "atomisation". L'avancement du produit se fait mécaniquement.

Ici, on travaille avec une température d'air chaud variable (60 à 200°C) et on réserve l'air le plus actif à la finition du séchage.

### 2.4.3. Séchage à courants croisés (fig. 3)

L'air chaud circule perpendiculairement au sens d'écoulement du produit. Dans cette technique du séchage, le produit est soumis à l'action d'un air chaud à caractéristiques constantes du début à la fin du séchage.

Ce mode de séchage est réservé aux produits granuleux, pouvant être disposés en couche statique ou mobile, mais non compacte. La plupart des séchoirs de céréales et de maïs utilisent ce principe. L'avancement du produit est obtenu essentiellement par gravité.

LES DIFFERENTES TECHNIQUES DE SECHAGE

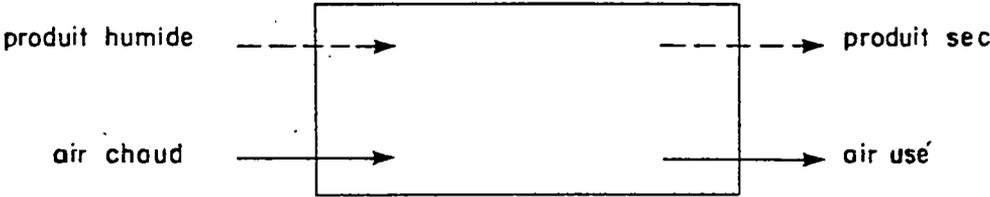


Fig.1: Séchage à co-courants

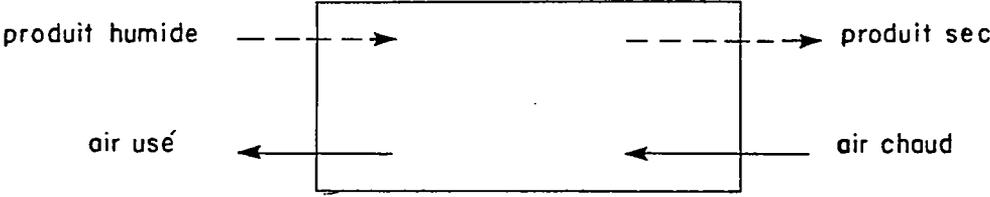


Fig.2: Séchage à contre courants

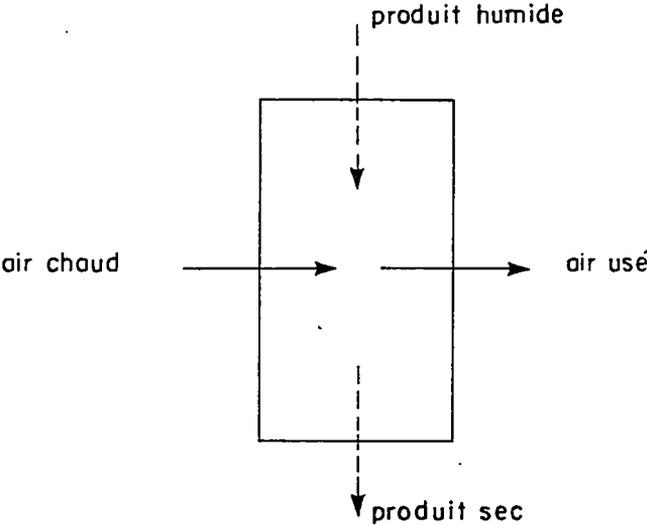


Fig.3: Séchage à courants croisés

### III - P R I N C I P E D U S E C H A G E

---

#### 3.1 - DEFINITION DU SECHAGE (Fig.4)

Le sèchage est une technique de séparation partielle entre un liquide (de l'eau en général) et une matière solide, caractérisée par le départ des particules d'eau obtenu grâce à une différence de pression partielle de vapeur d'eau entre la surface du produit à sécher et l'air environnant.

Soit :  $P_s$  = pression partielle de vapeur d'eau à la surface du produit  
 $P_a$  = pression partielle de vapeur d'eau dans l'air.

La condition nécessaire et suffisante pour qu'un produit soit soumis à un phénomène de sèchage est :

$$P_s > P_a$$

#### 3.2 - COMPORTEMENT DU PRODUIT AU COURS DU SECHAGE

##### 3.2.1 - Définitions

##### 3.2.1.1 - Teneur en eau

La teneur en eau exprime le rapport de la masse d'eau contenue dans un échantillon de produit, soit à la masse totale ou masse de matière humide, soit à la masse de matière sèche. C'est ainsi que l'on définit :

Le titre en eau ou humidité : teneur en eau rapportée à la masse de matière humide

$$H = \frac{m_E}{m_{MH}} \times 100 = \frac{m_E}{m_E + m_{MS}} \times 100 \quad (1)$$

Le taux d'humidité : teneur en eau rapportée à la masse de matière sèche :

$$x = \frac{m_E}{m_{MS}} \quad (2)$$

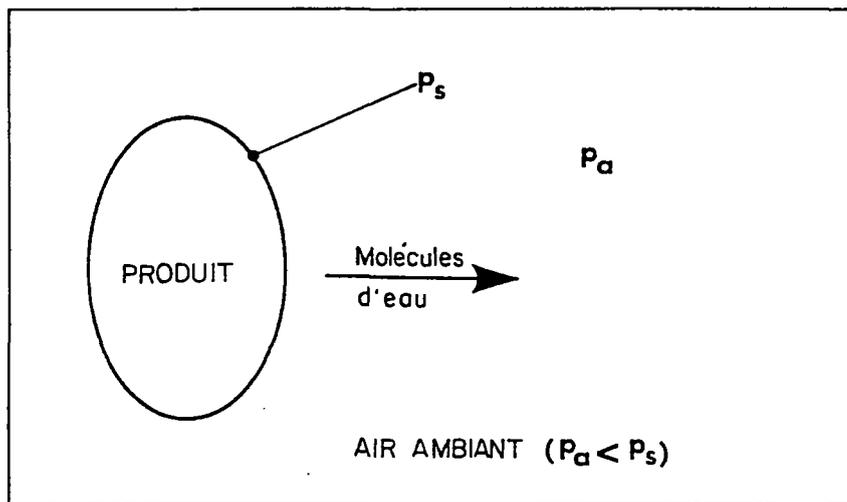


Fig-4 PRINCIPE DU SECHAGE

### 3.2.1.2 - Point d'humidité

Par convention, le point d'humidité est une unité de teneur en eau correspondant à une variation d'une unité du titre en eau.

### 3.2.2 - Calcul des pertes d'eau au séchage

Soit 1 kg de produit humide à un titre en eau H1.

La relation (1) s'écrit :

$$H1 = 100 (1 - m_{MS})$$

soit 
$$m_{MS} = \frac{100 - H1}{100}$$

La masse de matière sèche étant supposée conservée au cours du séchage, et E étant la perte d'eau, on peut écrire :

$$1 \times \frac{100 - H1}{100} = (1 - E) \frac{100 - H2}{100}$$

soit 
$$E = \frac{H1 - H2}{100 - H2} \text{ kg d'eau/kg de produit humide}$$

### 3.2.3 - Capacité d'un séchoir

L'unité de capacité utilisée en pratique est le point/heure, qui devrait en fait s'appeler le "quintal humide X point/heure" : c'est le débit de produit humide en quintaux/h multiplié par la différence de titre en eau entre l'entrée et la sortie du séchoir (points retirés par le séchage).

Cette expression n'a de sens que pour des conditions de séchage correspondant à un produit dont le titre final est constant

### 3.2.4 - Pouvoir d'évaporation d'un séchoir

Soit par exemple un séchoir d'une capacité de 3000 points/heure. Le pouvoir d'évaporation correspondant pour un titre final de 15% est :

$$3000 \times \frac{100}{100 - 15} = 3528 \text{ kg d'eau/heure}$$

### 3.3 - COMPORTEMENT DE L'AIR AU COURS DU SECHAGE

#### 3.3.1 - Définition de l'air humide

L'air sec, mélange d'azote, d'oxygène, de gaz carbonique et de gaz rares, a le pouvoir d'absorber de l'eau jusqu'à une limite appelée saturation, au-delà de laquelle l'eau en excès se condense.

Le pouvoir d'absorption maximal de la vapeur d'eau par l'air [ $x_s$  (kg d'eau/kg d'air sec)], ainsi que la pression de vapeur saturante correspondante [ $p_s$  (pascals)] augmentent très rapidement avec la température.

$\theta$ [°C]	$x_s$	$P_s$
0	0,0038	610,48
10	0,0076	1 227,74
20	0,0147	2 337,77
30	0,0273	4 242,78
40	0,0486	7 375,80
50	0,0853	12 333,40
60	0,1515	19 915,30
70	0,2750	31 156,90
80	0,5425	47 341,90

tableau 1

#### 3.3.2 - Diagramme de l'air humide, ou diagramme de Mollier

Ce diagramme est établi [Fig.5] à partir de 2 axes non cartésiens faisant entre eux un angle de 150°.

- . L'axe des ordonnées, vertical, comporte une graduation de l'enthalpie (h), ou chaleur totale du mélange de 1kg d'air sec et d'une quantité variable de vapeur d'eau ;
- . L'axe des abscisses, oblique, comporte une graduation de la teneur en eau de l'air (x). L'échelle de cette grandeur est représentée en projection sur un axe horizontal en haut du diagramme, toute la zone inférieure à une courbe dite "courbe de saturation" étant inutile.

Ce diagramme permet, à partir de la connaissance de deux paramètres, de déterminer toutes les autres caractéristiques du mélange. Le point figuratif d'un état donné de l'air s'appelle "Point caractéristique".

#### 3.3.3 - Caractéristiques de l'air humide

##### 3.3.3.1 - Teneur en eau (x)

C'est la masse de vapeur d'eau en dissolution dans l'air, exprimée en kg d'eau/kg d'air sec.

Fig.5 : Constitution du diagramme de l'air humide

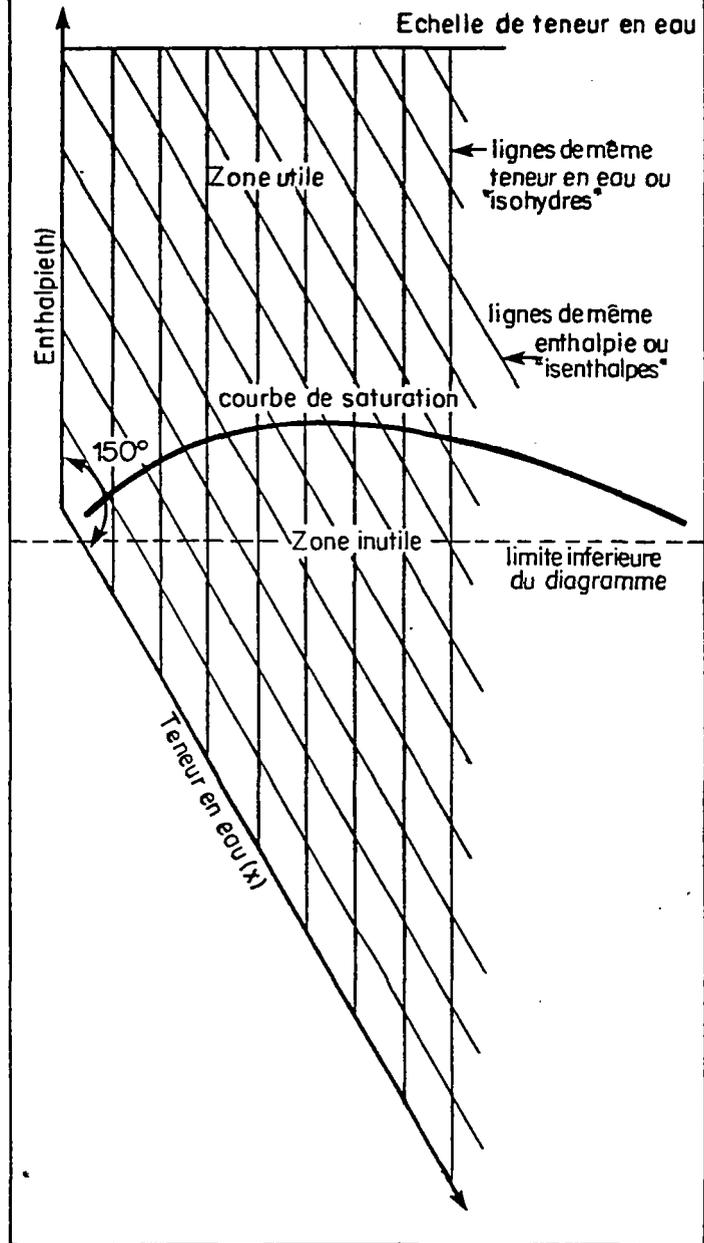
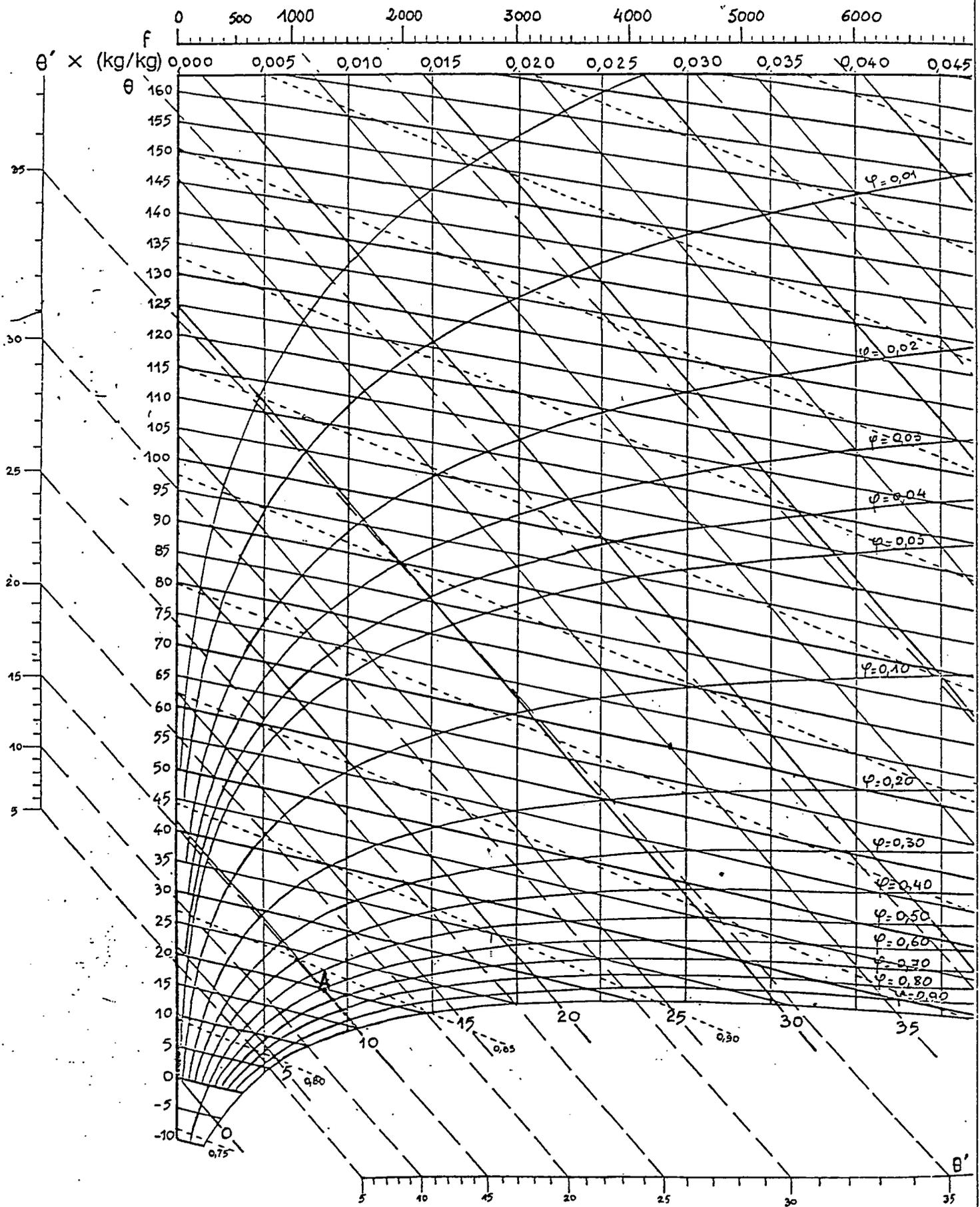


Figure 6: Diagramme de l'air humide



$h$  = enthalpie en kcal/kg d'air sec  
 $x$  = teneur en eau d'un kg d'air sec en kg/kg  
 $\psi$  = degré hygrométrique  
 $f$  = tension de la vapeur d'eau en pascals

$\theta$  = température sèche, °C  
 $\theta'$  = température humide, °C  
 $\bar{v}$  = volume spécifique en m<sup>3</sup> d'air humide / kg d'air sec

### 3.3.3.2 - Enthalpie (h)

C'est la chaleur totale (ou énergie calorifique) de 1kg d'air sec + x kg de vapeur d'eau en dissolution, exprimée en kilocalories [kcal] ou en millithermies (mth) par kg d'air sec.

L'enthalpie se définit comme suit :

$$h = h_{\text{air sec}} + h_{\text{vapeur}}$$

$$h_{\text{air sec}} = 0 \text{ à } 0^{\circ}\text{C par convention}$$

$$h_{\text{vapeur}} = 597,1 \text{ kcal/kg à } 0^{\circ}\text{C (chaleur latente de vaporisation de l'eau à } 0^{\circ}\text{C).}$$

Dans ces conditions :

$$h = 0,24 \theta + x (597,1 + 0,46 \theta)$$

avec  $\theta$  = température du mélange [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$x$  = teneur en eau de l'air [kg/kg]

0,24 = chaleur spécifique de l'air [kcal/kg $^{\circ}\text{C}$ ]

0,46 = chaleur spécifique de la vapeur [kcal/kg $^{\circ}\text{C}$ ]

### 3.3.3.3 - Humidité relative ( $\phi$ )

Cette grandeur précédemment définie (§ 3211) exprime le degré de saturation de l'air. Les points de même humidité relative sont figurés sur le diagramme par des courbes concaves. La courbe  $\phi = 1$  (ou 100%) limite le diagramme dans sa partie inférieure.

### 3.3.3.4 - Température sèche ( $\theta$ )

Elle est mesurée par un thermomètre placé dans l'air environnant. Les points de même température sèche sont situés sur une droite appelée isotherme sèche.

### 3.3.3.5 - Température humide ( $\theta'$ )

Elle est mesurée par un thermomètre dont le bulbe est maintenu humide par une gaze imbibée d'eau et située dans un courant d'air ;  $\theta'$  est inférieure à  $\theta$  ; si l'air est saturé :  $\theta' = \theta$ .

Les points de même température humide sont situés sur une droite appelée isotherme humide, non figurée sur le diagramme.

### 3.3.3.6 - Volume spécifique de l'air ( $v$ ), ou volume massique

Il est exprimé en mètre cube d'air humide par kilo d'air sec (droites obliques).

### 3.3.3.7 - Tension de vapeur d'eau ( $f$ )

C'est la pression partielle de la vapeur d'eau dans le mélange. (échelle située à la partie supérieure du diagramme).

## 3.3.4 - Détermination des caractéristiques de l'air (fig.6)

Soit le point A sur le diagramme. Les différents paramètres ont la valeur suivante :

$\theta = 20^\circ\text{C}$	$\varphi = 60\%$ d'humidité relative
$\theta' = 15^\circ\text{C}$	$v = 0,841$ m <sup>3</sup> /kg d'air sec
$x = 8$ g d'eau/kg d'air	$f = 1360$ pascals
$h = 10$ kcal/kg d'air sec	

Le point caractéristique d'un air ambiant extérieur est déterminé à l'aide d'un psychromètre par mesure des températures sèche et humide de l'air. A l'aide du diagramme, on déterminera toutes les autres caractéristiques de cet air.

## 3.3.5 - Dynamique du séchage

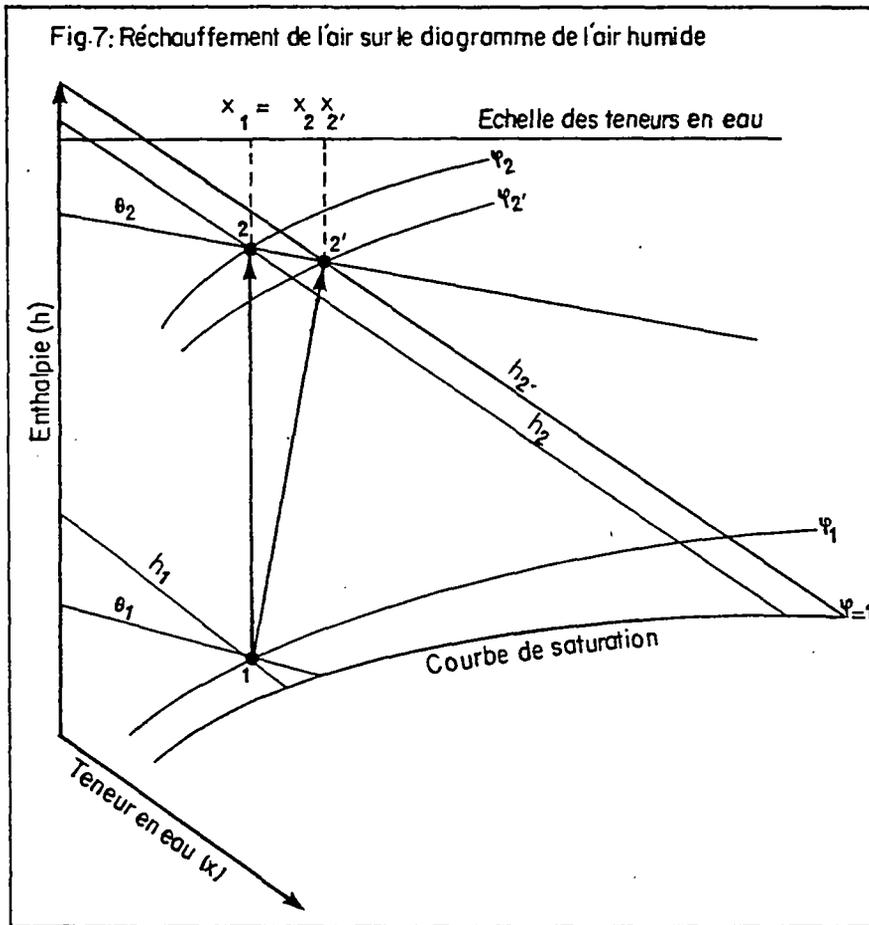
Lorsqu'on réchauffe de l'air ambiant [ $\theta_1, \varphi_1, x^1, h_1$ ] , le point caractéristique se déplace vers le haut (fig.7).

- . verticalement jusqu'au point 2 quand le chauffage est indirect au moyen d'un échangeur de chaleur [ $x_1 = x_2 = \text{constante}$ ].
- . de façon oblique quand le chauffage est direct avec dilution des gaz de combustion dans l'air, l'augmentation de la teneur en eau provenant du dégagement de vapeur d'eau par la combustion.

Dans un premier temps, cet air chaud apporte l'énergie thermique nécessaire à l'évaporation de l'eau, et joue ainsi le rôle de fluide caloporteur.

Dans un deuxième temps, cet air absorbe et évacue l'eau évaporée du grain et joue ainsi le rôle de fluide vapotransporteur.

Fig.7: Réchauffement de l'air sur le diagramme de l'air humide



La dépense d'énergie thermique occasionnée par l'évaporation de l'eau du grain entraîne une chute de température de l'air chaud. Cette perte de chaleur sensible étant récupérée, aux pertes près (par diffusion de chaleur et par élévation de la température du produit), sous forme de vapeur, le processus de séchage peut être considéré comme une opération pratiquement isenthalpique.

L'énergie contenue dans l'air usé l'est principalement sous forme de vapeur basse température. Elle est donc difficilement récupérable. D'un autre côté, le refroidissement subi par l'air au cours du séchage ne peut être que partiel. En effet, pour que l'air puisse jouer son rôle de fluide vapotransporteur, il faut qu'il soit suffisamment chaud pour pouvoir contenir la plus grande quantité d'eau, puisque sa capacité d'absorption augmente en fonction de la température (§ 2.3.). L'optimum entre ces deux conditions opposées est la saturation isenthalpique. Sur le diagramme de la figure 8, c'est le point 3' qui représente donc les conditions de séchage idéal.

### 3.3.6 - Calculs pratiques à partir du diagramme de l'air humide

Le diagramme de la figure 8 représente l'évolution des caractéristiques d'un air passant par les états suivants :

air froid	( $\theta_1$ ( $h_1$ ( $x_1$	air chaud	( $\theta_2$ ( $h_2$ ( $x_2 = x_1$	air usé	( $\theta_3$ ( $h_3$ ( $x_3$
-----------	------------------------------------	-----------	--	---------	------------------------------------

soit Q le débit masse d'air sec (kg d'air sec/h)

M le débit masse de produit sec (kg/h)

H<sub>1</sub> le titre en eau initial

H<sub>2</sub> le titre en eau final

A partir de ces données, on peut calculer les grandeurs suivantes :

• énergie calorifique fournie à l'air par le chauffage (9)

$$q = (h_2 - h_1) \text{ kcal/kg d'air sec}$$

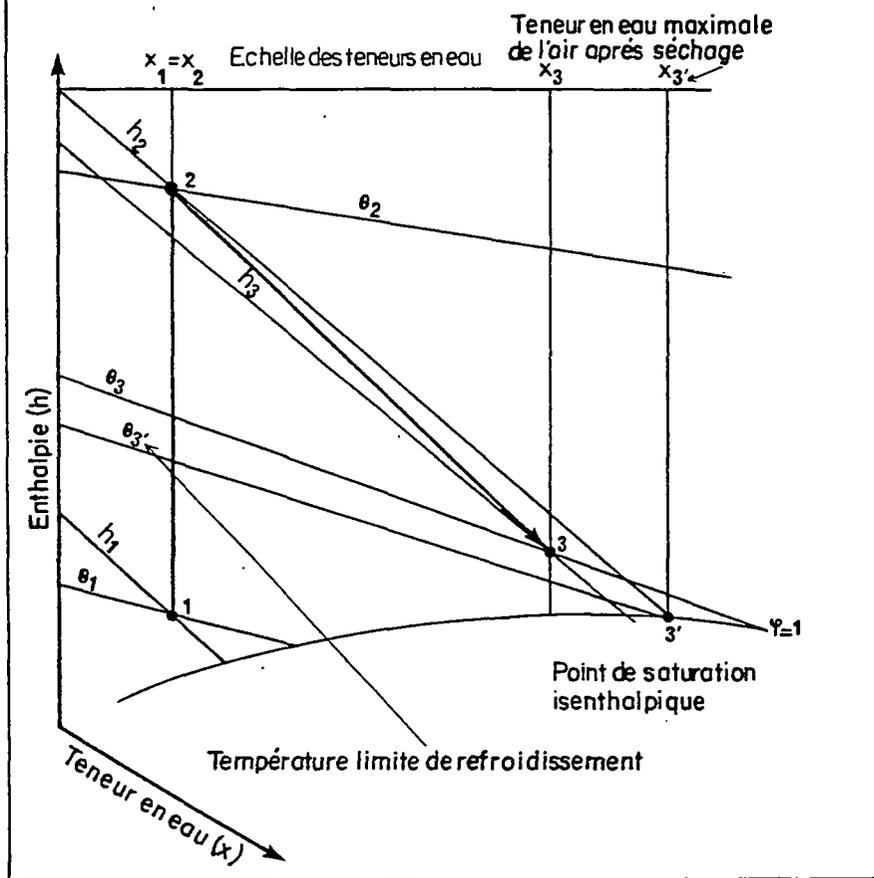
• puissance calorifique disponible au niveau des grains

$$p = Q (h_2 - h_1) \text{ kcal/h}$$

Si  $\rho$  est le rendement du système de chauffage avec :

$$\rho = \frac{\text{énergie disponible au niveau du grain}}{\text{énergie consommée au brûleur}}$$

Fig-8: Evolution des caractéristiques de l'air sur le diagramme de l'air humide :  
 2-3: séchage réel,  
 2-3': séchage idéal



la puissance calorifique rapportée au combustible est :

$$Q \frac{(h_2-h_1)}{\rho}$$

effet évaporatoire :  $(x_3-x_2)$  kg d'eau/kg d'air sec

puissance évaporatoire :  $Q (x_3-x_2)$  kg d'eau/h

Consommation thermique spécifique :

$$r = \frac{Q(h_2-h_1)}{Q (x_3-x_2)} = \frac{1}{\rho} \frac{(h_2-h_1)}{(x_3-x_2)} \text{ kcal/kg d'eau}$$

La puissance évaporatoire peut aussi être exprimée à partir du débit masse de produit sec et des titres en eau initial et final par application de la relation

$$M \frac{(H_1-H_2)}{(100-H_1)} = Q (x_3-x_2) \text{ kg d'eau/h}$$

## IV - LE SECHAGE DU MAIS

### 4.1 - REMARQUE PRELIMINAIRE

En principe les céréales classiques (blé, orge) sont récoltées à une humidité permettant un stockage direct sans risque d'altération du produit au cours de la conservation.

Ce n'est pas le cas du maïs dont le taux d'humidité se situe entre 30 et 40% au moment de la récolte, lequel doit être abaissé à 15% pour que soit garantie une bonne conservation.

S'il est vrai que la conservation du maïs peut être réalisée sous forme humide par adjonction d'acide propionique, il s'agit en fait d'une technique peu répandue non conforme aux habitudes commerciales qui concernent du grain sec.

C'est pourquoi le séchage est la technique utilisée pour le maïs. Pour situer son importance sur le plan énergétique, il conduit à une consommation française de produits pétroliers de l'ordre de 350 000 TEP/an.

### 4.2 - LES PRINCIPALES METHODES DE SECHAGE

#### 4.2.1 - Le séchage en cribs

Il s'agit d'un séchage lent par ventilation naturelle des épis de maïs stockés entre deux grillages.

Cette méthode a été largement pratiquée aux Etats-Unis et au début du développement du maïs en France. Si son avantage est de ne pas consommer d'énergie, elle a toutefois été abandonnée au profit de la récolte directe en grains et du séchage artificiel pour les raisons suivantes :

- . pénibilité du travail et besoins importants en main-d'oeuvre au moment des opérations de chargement et de déchargement des cribs ;
- . importance du temps de séchage (plusieurs mois) ;
- . perte de matière sèche du grain par animaux prédateurs.

#### 4.2.2 - Le séchage par convection

##### 4.2.2.1 - Les principaux types de séchoirs à grains industriels

Disposition		principale caractéristique
horizontale	tablier transporteur ou avancement du grain par palettes.	grande emprise au sol
verticale	colonne de grains traversée ou non par des gaines de distribution d'air.	grosses capacités évaporatoires

Le type de séchoir le plus souvent rencontré est en fait le séchoir vertical.

Ces séchoirs sont constitués d'une colonne de grain, séchant au fur et à mesure de sa descente par gravité, traversée par un courant d'air chaud.

La température d'attaque de l'air : 110°C-120°C. Au-delà, il y a risque d'endommager le grain. Pour certaines applications (semence) il faut se situer plus bas (45°C).

##### 4.2.2.2 - Les principales méthodes de séchage par convection

###### séchage conventionnel

Cette méthode, encore la plus fréquemment utilisée, consiste à effectuer en un seul passage le séchage et le refroidissement du maïs.

Son principal inconvénient est un manque de souplesse et l'impossibilité de faire face à des apports de maïs humide dépassant le débit d'absorption de l'installation.

###### séchage en deux passages avec préstockage intermédiaire par ventilation du maïs demi sec.

L'avantage de cette méthode est de permettre une augmentation de la capacité des séchoirs en période de pointe de la récolte.

Cependant, elle nécessite une installation de ventilation adaptée au maïs demi sec (20 à 25% de titre en eau) et oblige à doubler les opérations de manutention.

### séchage en deux passages consécutifs dans deux séchoirs en série

Séchage jusqu'à 24-25% d'humidité dans le premier séchoir sans refroidissement ;

Repos 4 à 10 h dans une trémie tampon pour homogénéiser l'eau restant dans le grain (ressuyage) ;

Passage dans un deuxième séchoir avec refroidissement.(12 à 15 h).

Les avantages de cette méthode sont l'accroissement en capacité de 20 à 30% par rapport au fonctionnement en parallèle des deux séchoirs et surtout la possibilité de meilleures performances sur le plan énergétique en particulier grâce à l'adoption de températures plus élevées de séchage.

Les inconvénients de cette méthode résident dans le choix correct des capacités respectives des deux séchoirs et dans l'ajustement de leur débit de grain.

### Le refroidissement lent différé ou dryération (fig.9)

Ce procédé expérimenté aux Etats-Unis a connu un réel essor en France depuis 1973. On peut estimer à 9% de la collecte la part du maïs séché actuellement par dryération.

Les quatre étapes essentielles du refroidissement lent différé sont :

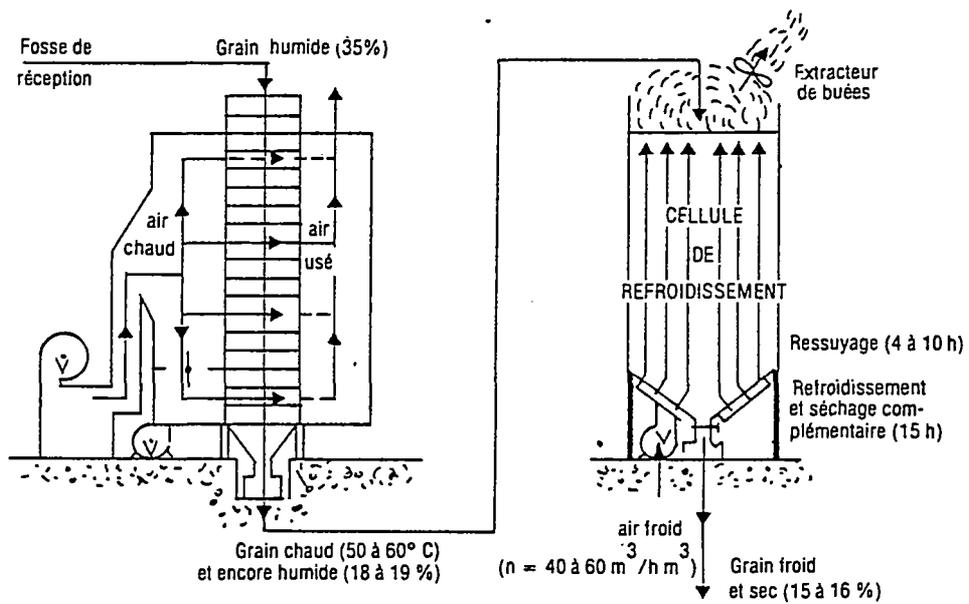
- . séchage accéléré du maïs jusqu'à 18-19% ;
- . transfert du maïs chaud (50 à 60°C) dans une cellule dite "de dryération" où on le laisse ressuyer pendant 4 à 10 h.
- . refroidissement lent du maïs par ventilation d'air ambiant pendant une durée de 12 à 15h, avec un débit spécifique d'air ou débit de renouvellement de 40 à 60 m<sup>3</sup> d'air/m<sup>3</sup> de grain.h. Cette opération a pour but non seulement de refroidir le grain, mais d'utiliser la chaleur résiduelle ou chaleur sensible accumulée dans le grain comme énergie d'évaporation : la perte possible d'humidité au niveau du grain est ainsi de 2,5 à 3,3 points de teneur en eau ;
- . vidange de la cellule de refroidissement et expédition du grain vers le stockage.

## 4.3 - CONSOMMATION D'ENERGIE ET PERFORMANCES DES SECHOIRS

### 4.3.1 - Besoins énergétiques d'un séchoir à maïs

Le tableau suivant indique, pour différentes températures de l'air chaud et pour un air ambiant à 10°C et 80% d'humidité relative, la température limite de refroidissement et la consommation spécifique minimale.

Figure 9 : Schéma du principe de la méthode de séchage par DRYERATION.



température de l'air chaud (°C)	Température limite de refroidissement (°C)	Consommation thermique spécifique minimale (kcal/kg)
60	25,0	857,1
80	29,5	841,6
100	33,0	812,0
120	36,7	806,5
140	39,2	788,0

On peut dire que la température limite de refroidissement augmente avec la température de l'air chaud de façon très amortie. La consommation thermique spécifique minimale décroît quant à elle légèrement avec la température.

On peut donc conclure en première analyse que plus la température de séchage est élevée, plus le séchage peut être performant sur le plan énergétique.

Le tableau ci-dessous indique les valeurs de la consommation thermique spécifique minimale en fonction de la température de l'air ambiant et de son hygrométrie pour une température d'air chaud de 120°C.

Température de l'air ambiant (°C)	Hygrométrie %	Consommation thermique spécifique minimale (kcal/kg)
10	80	806,6
10	50	799,4
20	80	752,3
20	50	741,6

On peut dire que la consommation thermique spécifique minimale baisse très légèrement quand l'hygrométrie ambiante diminue, plus fortement quand la température ambiante augmente.

On peut donc conclure que, pour une température de séchage donnée, le séchage peut être d'autant plus performant sur le plan énergétique que l'air ambiant est plus chaud et plus sec.

#### 4.3.2 - Bilan thermique d'un sècheoir

Exemple : sècheoir à échangeur fonctionnant au FOD et présentant une consommation thermique de 1150 kcal/kg d'eau pour un séchage de 35 à 15% de titre en eau.

Utilisation de la chaleur kcal/kg	Proportion %	Nature de la dépense ou de la perte
600	52,2	Chaleur de vaporisation de l'eau
180	15,6	Pertes par chaleur sensible de l'air usé saturé
30	2,6	Pertes par rayonnement
130	11,3	Pertes par insaturation de l'air usé
140	12,2	Pertes à l'échangeur (rendement 88%)
70	6,0	Pertes par échauffement du grain

Dans ce bilan, la somme de la chaleur de vaporisation de l'eau et des pertes par chaleur sensible de l'air usé saturé, soit  $600+180=780$  kcal/kg, représente la consommation thermique minimale du séchoir. La perte par chaleur sensible de l'air usé saturé provient de la différence entre la température ambiante et la température limite de refroidissement de l'air de séchage. Il faut noter que cette définition de la consommation thermique minimale est arbitraire et suppose implicitement la non existence d'artifices de récupération.

En fait, les pertes par chaleur sensible de l'air usé saturé et les pertes par insaturation de l'air usé, soit  $180 + 130 = 310$  kcal/kg, constituent l'ensemble des pertes par l'air usé. A ces pertes viennent s'ajouter d'autres causes de pertes : échauffement du grain, échangeur, rayonnement et diffusion.

Les puissances nécessaires des séchoirs de ce type en fonction de la température de l'air chaud pour un air ambiant à 10°C et 80 % d'humidité relative sont les suivantes :

Température de l'air chaud (°C)	Puissance à fournir (kcal/kg)
60	1 285
80	1 260
100	1 218
120	1 200
140	1 180

#### 4.4 - COUT DU SECHAGE

Le coût du séchage est en fait variable en fonction de l'humidité du grain. Toutefois une enquête statistique, réalisée par l'Office National Interprofessionnel des céréales, a permis de déterminer un coût moyen de séchage pour un maïs à 35% ainsi qu'une ventilation par poste.

Poste	Année 1978-1979		Année 1979-1980		Hausse %
	coût (F/q séché)	%	coût (F/q séché)	%	
Energie	3,07	51,8	4,05	56,2	31,9
Electricité	0,38	6,4	0,44	6,1	15,7
Main-d'oeuvre	0,46	7,8	0,52	7,2	13,0
Divers (entretien, assurances etc.)	0,38	6,4	0,41	5,7	8,0
Amortissement	1,15	19,4	1,25	17,4	9,0
Financement	0,49	8,2	0,53	7,4	8,0
TOTAL	5,93	100,0	7,20	100,0	21,4
Frais/fonction <sup>t</sup>	4,29	72,4	5,42	75,2	
frais fixes	1,64	27,6	1,78	24,8	

Ce tableau montre la prédominance du poste énergie dans le coût du séchage : 56% du coût total. De plus, il a subi une hausse importante entre la saison 1978-1979 et la saison 1979-1980 (32%). Cette hausse devient très préoccupante pour la profession, incitée de ce fait à se tourner vers une recherche et un développement des techniques d'économie de l'énergie, ainsi que vers une application possible d'autres sources d'énergie.

Les frais de séchage représentent en effet aujourd'hui 25% des charges directes de production et ils continuent à croître plus rapidement que le prix du maïs alors que la productivité plafonne.

C'est pourquoi il est devenu impératif de parvenir, sinon à un abaissement, tout du moins à une stabilisation du coût du séchage.

Cependant l'opportunité de l'introduction de technologies nouvelles doit tenir compte de la donnée essentielle suivante : les installations de séchage du maïs travaillent, selon les régions, de 600 à 1000 heures par an, 1500 heures exceptionnellement, la période de séchage correspondant en général aux mois d'octobre-novembre.

Cette remarque est capitale quant à un recours éventuel à la géothermie, qui ne sera envisageable a priori que dans le cadre d'opérations intégrées permettant une utilisation de la ressource pendant une période la plus longue possible. Une telle application ne peut donc dans l'état actuel des connaissances n'intéresser que des séchoirs situés à proximité soit de zones industrielles ou urbaines, soit le cas échéant, d'un domaine de serres suffisamment vaste.

V - POSSIBILITES D'APPLICATION DE LA GEOTHERMIE  
 ..... AU SECHAGE DU MAIS .....

5.1 - PRODUCTION FRANCAISE DE MAIS ET REPARTITION REGIONALE

Région	récolte (kt)	Quantité séchée au fuel (kt)	Humidité (%)	Besoins en fuel (t)	Capacité totale (pts/h)
Bordeaux	1.780,7	1.008,5	30	25 653	317 073
Clermont Fd	218,9	151,0	35	5 516	54 585
Dijon	613,2	488,9	40	24 179	205 948
Lille	19,4	19,4	40	923	68 605
Amiens	551,6	493,8	40	24 421	337 490
Lyon	70,86	454,9	35	16 617	172 905
Marseille	89,1	74,2	30	1 887	10 295
Châlors s/Marne	812,5	769,0	40	38 032	351 400
Nancy	307,4	226,7	40	11 211	85 015
Rennes	250,1	232,9	40	11 518	70 885
Nantes	572,8	443,5	40	21 934	155 961
Orléans	1 928,1	1 522,9	40	75 317	471 228
Paris	884,4	707,1	40	34 970	293 792
Poitiers	730,1	622,6	40	30 791	241 338
Rouen	236,1	234,2	40	11 576	127 062
Toulouse	1 130,2	790,5	30	20 108	343 285
TOTAL	10 195,46	8 240,1		354 653	3 306 867

Le tableau ci-dessus montre que la production totale de maïs en France est de l'ordre de 10 millions de tonnes. Sur ces 10 millions de tonnes, 8 millions sont séchées par des séchoirs utilisant le F.O.D. comme combustible, et la consommation annuelle correspondante représente environ 300.000 TEP/an.

Un examen comparé de la répartition régionale des séchoirs et des ressources géothermales montre une superposition remarquable des besoins et des ressources, notamment pour le Bassin Aquitain, le Bassin Parisien et la région Centre, et, à un échelon moindre, pour l'Alsace, la Bresse et le Sillon Rhodanien. On trouve en annexe la liste de principaux séchoirs par région, avec pour chacun d'eux, leur localisation et leur capacité. Ces tableaux ont été réalisés à partir d'un dépouillement informatique effectué par l'Office National Interprofessionnel des Céréales.

La répartition du parc français en fonction du type d'énergie utilisée est la suivante :

Fuel : 77% (presqu'exclusivement FOD)

Gaz : 23%

La tendance actuelle est de convertir les installations au gaz naturel. Outre un coût moindre, ce combustible permet de supprimer l'échangeur, et par conséquent d'améliorer très nettement le rendement global par réduction au minimum des pertes de chaleur. Cette suppression de l'échangeur a été réalisée également dans des installations fonctionnant au fuel domestique. Le développement médiocre de cette technique est lié d'une part aux risques de pollution de l'air de séchage par des particules de fuel imbrûlé et par des produits toxiques obtenus par pyrolyse (benzopyrène) en cas de mauvais réglage du brûleur, d'autre part aux problèmes importants de corrosion par dilution des oxydes de soufre issus de la combustion dans les zones du séchoir sujettes à des condensations ; problèmes qui ne se rencontrent pas avec le gaz naturel.

Si la reconversion au gaz peut paraître séduisante, elle ne peut cependant pas être systématisée et doit tenir compte des critères de décision suivants :

- . le prix à la thermie du nouveau combustible
- . les frais d'adaptation, de raccordement, de génie civil, les primes fixes etc.
- . la valeur résiduelle des anciens matériels incomplètement amortis (brûleurs, échangeurs, cuve de stockage).

C'est pourquoi les responsables de la profession se penchent actuellement sur les possibilités d'application d'énergies nouvelles au séchage (biomasse, combustion de la paille). S'il va de soi que la géothermie ne peut en soi être la solution au problème, compte tenu du caractère essentiellement saisonnier de cette activité (600 à 1000 h/an en octobre-novembre), elle n'en reste pas moins une source d'énergie à prendre en considération pour des installations bénéficiant d'une situation géographique privilégiée, c'est-à-dire situées au droit d'une ressource géothermale connue et à proximité d'un noyau urbain ou industriel ayant des besoins complémentaires suffisamment importants.

## 5.2 - COUVERTURE DES BESOINS PAR LA GEOTHERMIE

Le principe d'application de la géothermie au séchage consiste à effectuer un préchauffage de l'air extérieur par passage dans un échangeur eau-air, avant de faire passer cet air dans un générateur d'air chaud ayant pour but de le porter à la température souhaitée.

Exemple d'application :

Sèchoir de 2000 points/h.

Air chaud à 120°C

Eau géothermale 150 m<sup>3</sup>/h à 70°C

La puissance évaporatoire d'un tel séchoir pour un grain séché à 15%, est de :

$$2\ 000 \frac{100}{100-15} = 2\ 353 \text{ kg d'eau/h}$$

La puissance à fournir est de :

$$P = 1200 \times 2353 = 2824 \cdot 10^3 \text{ kcal/h} = 2824 \text{ th/h,}$$

soit, pour une durée moyenne de fonctionnement de 1000 h, par an, une consommation d'environ 2824 kth/an.

Le débit d'air M (en kg/h) nécessaire à la fourniture de cette puissance, est tel que :

$$P = 0,24 \times M \times (120-10)$$

d'où

$$M = 106\ 000 \text{ kg/h}$$

soit, en considérant un poids spécifique moyen de l'air à 20°C de 1,225 kg/m<sup>3</sup>, un débit volumique de 86 530 m<sup>3</sup>/h.

Le rapport calorique de part et d'autre de l'échangeur géothermal sera égal pour :

$$\text{débit d'air} \times 0,294 = \text{débit d'eau} \times 1000$$

où

$$0,294 = \text{chaleur volumique de l'air à } 20^\circ\text{C (kcal/m}^3\text{)}$$

$$1\ 000 = \text{chaleur volumique de l'eau (kcal/m}^3\text{)}$$

soit un débit d'eau géothermale de 25,4 m<sup>3</sup>/h.

Si on considère comme ressource une eau géothermale à 70°C et un  $\Delta t$  de 20°C au niveau du primaire de l'échangeur, la puissance fournie par la géothermie est alors de 510 th/h, soit un taux de couverture de 18% auquel correspond une économie annuelle minimale de 51 TEP, si on considère un fonctionnement à puissance maximale de 24h sur 24.

Cet exemple montre bien qu'une meilleure utilisation de l'eau géothermale ne pourra se faire que par une augmentation du débit d'air, augmentation que pourrait compenser une baisse de la température de l'air chaud. Ainsi, si on reprend l'exemple précédent en considérant un air à 60°C, on constate que le débit d'eau géothermal nécessaire passe de 25,4 m<sup>3</sup>/h à 60 m<sup>3</sup>/h. On obtient les résultats suivants :

Température de l'air chaud(°C)	Consommation totale (TEP)	Couverture géothermique (TEP)	Appoint (TEP)
120	282	51	231
60	302	120	182

A noter que ces chiffres ne prennent pas en compte les consommations électriques des pompes et ventilateurs, qui ne peuvent être considérées qu'au cas par cas.

#### Optimisation de l'exemple précédent

A hypothèses égales, la couverture géothermique sera maximale pour un débit d'air permettant d'utiliser les 150 m<sup>3</sup>/h disponibles, soit 510 000 m<sup>3</sup>/h.

La puissance correspondant à ce volume d'air chauffé à 60°C est de 7 500 th/h.

La puissance évaporatoire d'un tel séchoir serait de 5 837 kg d'eau/h ce qui représente une unité de 4 960 pt/h, soit, pour un grain séché de 35% à 15%, un débit horaire de grain humide de 248 quintaux.

La géothermie pourrait assurer dans ce cas une économie annuelle de 300 TEP environ.

### 5.3 - ASPECT TECHNIQUE-ECONOMIQUE

Comme on l'a vu précédemment, l'application de la géothermie au séchage n'est concevable que dans le cadre d'une opération intégrée. Le problème qui se pose est donc de chiffrer l'ordre de grandeur du surcoût d'investissement lié au raccordement à la géothermie supportable par l'exploitant d'un séchoir compte tenu de l'économie dégagée par ailleurs sur les frais d'exploitation grâce au recours à cette énergie.

Exemple :

Application de la géothermie à une unité de séchage dans le cadre d'une opération intégrée :

données générales : . ressources

nappe du DOGGER  
profondeur : 1800m  
débit : 150 m<sup>3</sup>/h  
température eau géothermale : 70°C  
puissance de pompage (production + réinjection) : 230 kw.

. investissements

forages : 15 000 KF  
surface : 7 000 KF  
Total 22 000 KF  
Economie annuelle : 3 300 TEP

Séchoir :

capacité : 5 000 pts/h  
quantité séchée : 250 000 quintaux/an  
consommation totale : 705 TEP  
couverture des besoins par la géothermie : 300 TEP

Investissements

liés au séchoir

L'investissement que représente l'achat et l'installation d'une unité de séchage d'une capacité de 5000 pts/h peut être évalué à 2000 KF.

On supposera dans la suite de cette étude que le financement est assuré par un prêt à 5% sur 5 ans (conditions couramment accordées à la profession pour ce type d'investissement).

liés à la géothermie

Dans le cadre d'une opération intégrée, on peut imaginer une répartition de l'investissement proportionnelle au nombre de TEP économisées par chaque utilisateur annuellement.

Si on suppose au niveau du séchoir une économie annuelle de 300 TEP, la part de l'investissement qui devra être supportée par l'exploitant du séchoir est de 2000 KF. Il convient d'y ajouter les coûts des installations supplémentaires au niveau du séchoir : échangeur eau-air, régulateur, ventilateur, soit environ 1 500 KF.

L'investissement total lié à la géothermie et relatif au séchoir serait alors de 3 500 KF.

Si on considère l'octroi d'une aide du Comité Géothermie égale à 30% du coût du 1er forage estimé à 7 500 KF soit 2 250 KF, ce qui, rapporté au nombre de TEP économisées par le séchoir, représente une subvention de 205 KF, le montant de l'investissement restant à financer par un prêt bancaire est égal à 3 295 KF.

On supposera dans la suite de cette étude que ce financement est assuré par un prêt à 9% sur 20 ans.

### Exploitation

#### Frais d'exploitation du séchoir sans géothermie

L'enquête de l'ONIC montre qu'en moyenne, le poste énergie (combustible + électricité) représente 83% du coût total d'exploitation.

La consommation totale du séchoir étant de 705 TEP, on peut donc en déduire les frais d'exploitation suivants :

Pour un séchoir alimenté au F.O.D.

combustible électricité	705 x 1950 =	1 375 KF
entretien-renouvellement		282 KF
Total		<u>1 657 KF</u>

Pour un séchoir alimenté au Gaz

combustible électricité	705 x 1247 =	879 KF
entretien-renouvellement		180 KF
Total		<u>1 059 KF</u>

#### Frais d'exploitation du séchoir raccordé à la géothermie

##### Appoint

L'appoint à fournir à la géothermie est de 396 TEP, soit suivant l'énergie de référence, un coût de :

FOD	: 772 KF
Gaz	: 494 KF

### Entretien

Dans le cadre d'une opération intégrée, et dans la mesure où la période d'utilisation du séchoir ne coïncide pas avec une autre utilisation de la ressource, on peut estimer que la part des frais d'entretien de l'exploitation géothermique imputable au séchage est proportionnelle à la durée de fonctionnement. La répartition des frais d'entretien peut être supposée comme suit :

tête de puits	12 000 F
surveillance	30 000 F
traitement des tubages	<u>18 000 F</u>
Total	60 000 F

Par conséquent, si on estime à 1000 h la période de fonctionnement du séchoir pour une période d'utilisation de l'installation de 6 800 h, la part de l'entretien imputable au séchage est de 8 800 F.

### Renouvellement

L'ordre de grandeur des provisions pour renouvellement pour une installation de géothermie est le suivant :

tête de puits	30 000 F
Pompe d'exhaure	75 000 F

Un raisonnement analogue au précédent donne comme part des frais de renouvellement imputable au séchage, un montant de 21 000 F.

### Electricité

La consommation d'électricité des pompes imputable au séchage, est de 230 000 kwh, soit un coût annuel de 60 000 F.

### Récapitulation

Le coût total des frais d'exploitation liés à la géothermie et imputables au séchage est donc le suivant :

Energie	FOD	GAZ
	combustible 772 KF	combustible 494 KF
	électricité <u>60 KF</u>	électricité <u>60 KF</u>
	total 832 KF	554 KF

### Entretien-renouvellement

entretien	8,8 KF
renouvellement	<u>21 KF</u>
Total	29,8 KF arrondi à 30 KF

### Echéanciers

Ces échéanciers sont construits sur la base d'un taux d'inflation annuel de 12% pour le poste "combustible et électricité", et de 10% pour le poste "entretien et renouvellement".

		1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
sans géothermie	P <sub>1</sub> Combustible et électricité	1375	1540	1725	1932	2164	2424	2715	3041	3405	3814	4271	4784	5358	6001	6721	7527	8431	9443	10575	11844	13266
	P <sub>2</sub> P <sub>3</sub> Entretien renouvellement	282	310	341	375	413	454	500	550	605	666	732	805	886	974	1072	1179	1297	1426	1569	1726	1899
	P <sub>4</sub> Amortissement financement		462	462	462	462	462															
	Total des charges		2312	2528	2769	3039	3340	3215	3590	4010	4480	5003	5589	6244	6975	7793	8706	9728	10869	12001	13570	15165
avec géothermie	P' <sub>1</sub> Appoint et électricité	832	932	1044	1169	1309	1466	1642	1839	2060	2307	2584	2894	3241	3630	4065	4553	5100	5711	6397	7165	8024
	P' <sub>2</sub> P' <sub>3</sub> Entretien Renouvellement	318	350	385	423	466	512	563	619	681	749	824	907	997	1097	1207	1327	1460	1606	1767	1944	2138
	P' <sub>4</sub> Amortissement financement		823	823	823	823	823	361	361	361	361	361	361	361	361	361	361	361	361	361	361	361
	Total des charges		2105	2252	2415	2598	2801	2566	2819	3102	3417	3769	4162	4599	5088	5633	6241	6921	7678	8525	9470	10523
Différence			207	276	354	441	539	649	771	908	1063	1234	1427	1645	1887	2160	2465	2807	3191	3476	4100	4642
%			8,9	10,9	12,8	14,5	16,1	20,2	21,5	22,6	23,7	24,6	25,5	26,3	27	27,7	28,3	28,8	28,9	29	30,2	30,6

TABLEAU DES CHARGES FINANCIERES (en milliers de francs)

énergie de référence : F.O.D.

		1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	
sans géothermie	P <sub>1</sub> Combustible et électricité	879	984	1103	1234	1382	1548	1734	1942	2175	2436	2729	3056	3423	3834	4294	4809	5386	6032	6756	7567	8475	
	P <sub>2</sub> P <sub>3</sub> Entretien Renouvellement	282	310	341	375	413	454	499	549	604	665	731	804	884	973	1070	1177	1295	1424	1567	1724	1895	
	P <sub>4</sub> Amortissement financement		462	462	462	462	462																
	Total des charges		1756	1906	2071	2257	2464	2233	2491	2779	3101	3460	3860	4307	4807	5364	5986	6681	7456	8323	9291	10370	
avec géothermie	P <sub>1</sub> Combustible et électricité	554	620	695	778	871	976	1093	1224	1371	1535	1719	1926	2157	2415	2705	3029	3393	3800	4256	4767	5339	
	P <sub>2</sub> P <sub>3</sub> Entretien renouvellement	318	350	385	423	466	512	564	620	682	750	825	908	998	1098	1208	1329	1462	1608	1769	1946	2140	
	P <sub>4</sub> Amortissement financement		823	823	823	823	823	361	361	361	361	361	361	361	361	361	361	361	361	361	361	361	361
	Total des charges		1793	1903	2024	2160	2311	2018	2205	2414	2646	2905	3195	3516	3874	4274	4719	5216	5769	6386	7074	7840	
Différence			-37	3	47	97	153	215	286	365	455	555	665	791	933	1090	1267	1465	1687	1937	2217	2530	
%			-0,2	0	2,3	4,3	6,2	9,6	11,5	13,1	14,7	16	17,3	18,4	19,4	20,3	21,2	21,9	22,6	23,3	23,9	24,4	

TABLEAU DES CHARGES FINANCIERES (en milliers de francs)

énergie de référence : GAZ

## VI - CONCLUSION - PERSPECTIVES

---

Il est clair que l'application de la géothermie au séchage du maïs n'est envisageable que dans le cadre d'opérations intégrées, le caractère saisonnier de cette activité allant à l'encontre d'une utilisation la plus longue possible de la ressource au cours de l'année. Parallèlement, une telle application de la géothermie ne peut intéresser que des unités de capacités relativement importantes de manière à utiliser le maximum de la puissance calorifique géothermale disponible et travaillant à des températures relativement basses (semences de préférence à l'alimentaire).

Un grand nombre de paramètres interviennent au niveau de la conception de l'adaptation de la géothermie au séchage, qu'ils soient de nature géologique (aquifères exploitables, débit, température,...) thermique (température de traitement du grain, débit d'air utilisé,...) climatique (caractéristiques de l'air extérieur) ou technologique (type de séchoirs, méthode de séchage,...), chaque projet devra en fait faire l'objet d'une approche particulière au niveau de l'étude de faisabilité.

On peut toutefois, à ce stade, pressentir 3 perspectives intéressantes pour cet aspect de la diversification de la géothermie.

- application à des projets existants, pour des séchoirs bénéficiant d'une implantation privilégiée par rapport à d'autres utilisateurs ;
- construction d'unités de séchage à proximité immédiate d'ensembles raccordés ou raccordables à la géothermie ;
- création de complexes agricoles, qui pourraient par exemple réunir unités de séchage et serres, ce qui garantirait une excellente utilisation de la ressource.

Il ne faut pas négliger les problèmes que risquent de poser de telles réalisations, notamment sur le plan juridique au niveau de l'exploitation de la ressource géothermique. Mais les problèmes économiques auxquels se heurte la profession et l'intérêt qu'elle porte d'ores et déjà aux énergies nouvelles, laissent apparaître sans aucun doute un créneau intéressant pour la géothermie dans les années à venir.

ANNEXE

---

REGION REGION PARISIENNE I DEP COMMUNE PUISSANCE DE SECHAGE (EN PTS/H)

SEINE ET MARNE	77	VAUX LE PENIL	15.300
SEINE ET MARNE	77	CANNES ECLUSE	12.480
SEINE ET MARNE	77	BEAUCHERY	12.000
SEINE ET MARNE	77	USSY S MARNE	9.400
SEINE ET MARNE	77	EGREVILLE	8.800
SEINE ET MARNE	77	SEPT SORTS	8.750
SEINE ET MARNE	77	VERNEUIL L ETANG	7.300
SEINE ET MARNE	77	ST MARD AV DE L GARE	6.650
SEINE ET MARNE	77	MAISON ROUGE	6.600
SEINE ET MARNE	77	CRECY LA CHAPELLE	6.300
SEINE ET MARNE	77	ESBLY	6.000
SEINE ET MARNE	77	BETON BAZOCHES	6.000
SEINE ET MARNE	77	DISSERY	5.900
SEINE ET MARNE	77	NANGIS	5.400
SEINE ET MARNE	77	ST PIERRE L MENOURS	4.840

Département: Seine et Marne

REGION REGION PARISIENNE II DEP COMMUNE PUISSANCE DE SECHAGE (EN PTS/H)

ILE DE FRANCE	91	CORBEIL TARTRETS	15.200
ILE DE FRANCE	91	LIMOURS RAMBOUILLET	10.000
ILE DE FRANCE	95	LOUVRES	6.600
ILE DE FRANCE	95	GENICOURT	6.100
ILE DE FRANCE	95	THEMERICOURT	5.800
ILE DE FRANCE	91	MORIGNY ROCHETTES	5.800
ILE DE FRANCE	91	CORBEIL R DE SEINE	5.600
ILE DE FRANCE	95	MAGNY EN VEXIN	4.000
ILE DE FRANCE	78	HARGEVILLE	4.000
ILE DE FRANCE	78	BREVAL	3.600
ILE DE FRANCE	95	HEROUVILLE	3.450
ILE DE FRANCE	91	CORBEUSE	3.400
ILE DE FRANCE	78	BREVAL	3.400
ILE DE FRANCE	78	MAULE	3.400
ILE DE FRANCE	91	ANGERVILLE	2.600

Départements: Yvelines, Essonne, Hauts de Seine, Seine St Denis, Val de Marne, Val d'Oise

-----

LISTE DES UNITES DE SECHAGE LES PLUS IMPORTANTES

DE LA REGION CENTRE

A LA DATE DU 1<sup>er</sup> NOVEMBRE 1980

Dénomination et Adresse de l'Organisme Collecteur	Localisation géographique du silo	Capacité (points/heure)
Société Coopérative Agricole l'ABEILLE de SERMAISES (45.020) Place de la Gare -SERMAISES du LOIRET- 45300 PITHIVIERS	SERMAISES (45)	11.800
S.C.A. LA FRANCIADE (41.001) 11 Rue Franciade 41007 BLOIS Cédex	BEAUGENCY (45) MENETOU S/LE LOIR ST ROMAIN S/CHER NOUAN LE FUZELIER	10.400 6.000 6.000 6.000
S.C.A. UNION DE LOIR & CHER (41.002) 1 Place Jean Jaurès 41005 BLOIS	BLOIS VILLEJOINT	8.560
S.C.A.E.L. (28.005) 15 Place des Halles 28000 CHARTRES	GAS	6.000
S.C.A. BONNEVAL (28.003) 115 Route de Chartres 28800 BONNEVAL	LOGRON	6.000
S.C.A. du DUNOIS (28.008) 25 Rue Péan 28200 CHATEAUDUN	NOGENT LE ROTROU	6.000
S.C.A. C.A.S.V.A.L (45.015) 6 Rue des Anglaises 45000 ORLEANS	BRIARE	6.000

REGION BASSIN AQUITAIN I	DEP	COMMUNE	PUISSANCE DE SECHAGE (EN PTS/H)
AQUITAINE	40	HAUT MAUCO	15.960
AQUITAINE	40	SOLFERINO	14.000
AQUITAINE	64	LESCAR	9.300
AQUITAINE	40	ST PAUL LES DAX	9.000
AQUITAINE	47	MARCELLUS CANAL	9.000
AQUITAINE	47	CLAIRAC	8.360
AQUITAINE	24	RIBERAC GARE	8.280
AQUITAINE	64	ARGAGNON	8.100
AQUITAINE	47	TONNEINS GARDES	7.000
AQUITAINE	47	LAYRAC GOULENS	7.000
AQUITAINE	40	HAUT MAUCO	6.450
AQUITAINE	47	LAYRAC	5.600
AQUITAINE	40	HAGETMAU GARE	5.600
AQUITAINE	64	GAPLIN	5.500
AQUITAINE	40	ST VINCENT DE TYROSS	5.360

Aquitaine = Dordogne, Gironde, Landes, Lot et Garonne, Pyrénées Atlantiques.

Les centres ont été triés sur l'ensemble de ces départements.

REGION BASSIN AQUITAIN II	DEP	COMMUNE	PUISSANCE DE SECHAGE (EN PTS/H)
MIDI PYRENEES	31	BAZIEGE	13.000
MIDI PYRENEES	32	BARCELONNE DU GERS	12.500
MIDI PYRENEES	32	BARCELONNE	12.500
MIDI PYRENEES	31	MURET	12.100
MIDI PYRENEES	82	CORDES TOLOSANNES	11.200
MIDI PYRENEES	32	LE HOUGA	10.200
MIDI PYRENEES	31	LESPINASSE	8.700
MIDI PYRENEES	82	GRISOILES	8.450
MIDI PYRENEES	32	FLEUPANCE	6.200
MIDI PYRENEES	32	STE CHRISTIE	6.000
MIDI PYRENEES	31	MEPVILLE	4.700
MIDI PYRENEES	82	BEAUMONT DE LOMAGNE	4.600
MIDI PYRENEES	82	MONTAURAN	4.400
MIDI PYRENEES	82	MONTECH	4.250
MIDI PYRENEES	65	IBOS	4.000

Départements: Haute Garonne, Gers, Hautes Pyrénées, Tarn et Garonne.

REGION SUD SILLON RHODANIEN I DEP COMMUNE PUISSANCE DE SECHAGE (EN PTS/H)

PROVENCE COTE D AZUR	13	ARLES	1.600
PROVENCE COTE D AZUR	13	ARLES RTE P ST LOUIS	1.200
PROVENCE COTE D AZUR	84	SERRE RTE SARRIANS	950
PROVENCE COTE D AZUR	84	BOLLENE	800
PROVENCE COTE D AZUR	13	ST ETIENNE DU GRES	800
PROVENCE COTE D AZUR	84	PIOLENC	750
PROVENCE COTE D AZUR	13	PORT ST LOUIS DU RHO	650
PROVENCE COTE D AZUR	84	GARE D ORANGE	550
PROVENCE COTE D AZUR	84	ORANGE	500
PROVENCE COTE D AZUR	84	THOR IE	450
PROVENCE COTE D AZUR	13	ARLES LES GRANGES	400
PROVENCE COTE D AZUR	84	L ISLE SUR LA SOIGUE	280
PROVENCE COTE D AZUR	84	MONTEUX	150
PROVENCE COTE D AZUR	84	BEDARRIDES	130
PROVENCE COTE D AZUR	84	BOLLENE	100

Départements pris en compte: Bouches du Rhone, Vaucluse

REGION SUD SILLON RHODANIEN II DEP COMMUNE PUISSANCE DE SECHAGE (EN PTS/H)

LANGUEDOC ROUSSILLON	30	SAINT GILLES	2.520
LANGUEDOC ROUSSILLON	30	ST PRIVAT DES VIEUX	2.000
LANGUEDOC ROUSSILLON	30	AIGUES MORTES	1.980
LANGUEDOC ROUSSILLON	30	LES ANGLÉS	1.500
LANGUEDOC ROUSSILLON	30	ST GILLES BEAUREGARD	460
LANGUEDOC ROUSSILLON	30	BEAUCAIRE SAUJAN	240
LANGUEDOC ROUSSILLON	30	BARJAC	200

Départements: Gard, Hérault

END OF REPORT

REGION	BRESSE	DEP	COMMUNE	PUISSANCE DE SECHAGE (EN PTS/H)
RHONE ALPES		1	VILLARS LES DOMPES	17.200
RHONE ALPES		1	PEYRIEU	8.250
RHONE ALPES		1	ST ANDRE DE CORCY	6.000
RHONE ALPES		1	BOUPG EN BRESSE	5.200
RHONE ALPES		1	VALBONNE RELIGNEUX	4.360
RHONE ALPES		1	CHEVRY	3.600
RHONE ALPES		1	ST ANDRE DE CORCY	2.500
RHONE ALPES		1	GUEREINS	2.250
RHONE ALPES		1	MEXIMIEUX	2.000
RHONE ALPES		1	LENT	1.900
RHONE ALPES		1	JUJURTEUX	1.500
RHONE ALPES		1	CHALEINS	1.400
RHONE ALPES		1	VILLENEUVE	1.100
RHONE ALPES		1	POLLAT	1.050
RHONE ALPES		1	ST TRIVIER S MOIGNAN	850

*Le tri a été effectué sur le seul département de l'Ain.*

REGION	ALSACE	DEP	COMMUNE	PUISSANCE DE SECHAGE (EN PTS/H)
ALSACE		68	OTTMARSHEIM	15.000
ALSACE		68	ENSISHFIM	12.000
ALSACE		67	ERSTEIN	8.700
ALSACE		68	NEUF PRISACH	8.500
ALSACE		68	COLMAR	7.000
ALSACE		67	HERPISHEIM	6.000
ALSACE		67	HOCHFELDEN	4.800
ALSACE		68	SUNDHOFFEN	4.500
ALSACE		67	OSTHOUSE	4.000
ALSACE		67	WIWERSHEIM	3.600
ALSACE		68	REGUISHEIM	3.200
ALSACE		67	QUATZENHEIM	2.880
ALSACE		67	BREUSCHWICKERSHEIM	1.600
ALSACE		67	SFLESTAT	1.500
ALSACE		67	ROOFZHEIM	1.420

*Départements : Haut Rhin, Bas Rhin*