



FRUITS, PLANTES AROMATIQUES & CHAMPIGNONS SÉCHÉS

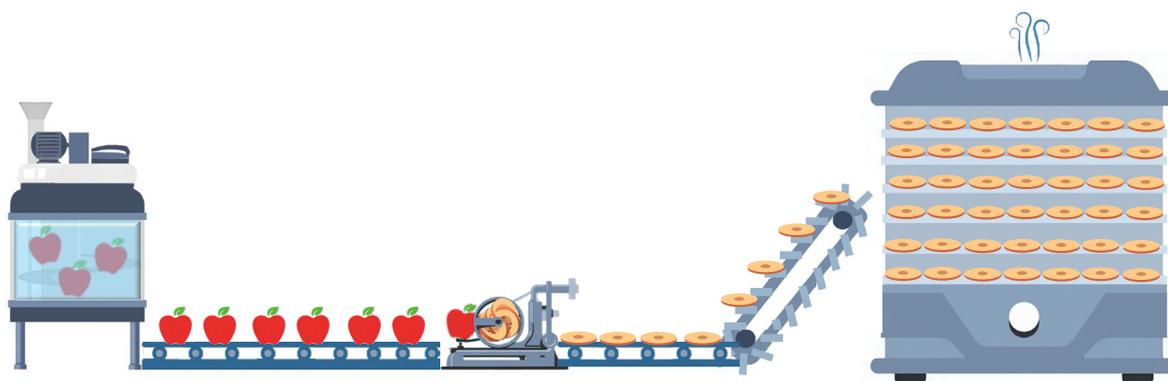
AUTEUR

François Michels

Pôle Technologique de Conservation Alimentaire de DiversiFERM

VERSION 1

Décembre 2024



Prétraitement

Pelage & Découpe

Séchage



Pour plus d'informations sur le contenu de cette
fiche, pour un accompagnement ou une formation sur
le sujet: info@diversiferm.be ou 081/62.23.17

Partenaires du projet **TRÈFLE**



Ensemble pour un système alimentaire durable



TABLE DES MATIÈRES

1. Principe du séchage	3
2. Thermodynamique du séchage	7
3. Maitrise du séchage	9
4. Séchage de fruits	13
PRÉTRAITEMENT DES FRUITS	15
DÉCOUPE ET PELAGE	16
SÉCHAGE	18
CONDITIONNEMENT	18
5. Comment choisir son séchoir à fruits ?	20
6. Séchage de plantes aromatiques et des champignons	20
LÉGISLATION	20
PRÉTRAITEMENT	20
MAITRISE DU SÉCHAGE DES PLANTES AROMATIQUES ET DES CHAMPIGNONS	21
SÉCHOIR	24
STOCKAGE ET CONDITIONNEMENT	28
7. Bibliographie	29

1. Principe du séchage

Le **séchage** est une méthode de conservation alimentaire qui consiste à faire évaporer l'eau de l'aliment en faisant circuler de l'air chaud à son contact. L'eau issue de l'aliment s'évapore et s'incorpore à l'air ambiant sous forme de vapeur.

Cependant, l'air ne peut retenir qu'une quantité limitée d'eau. Si cette limite est dépassée, la vapeur d'eau va recondenser. C'est la raison pour laquelle il faut **ventiler** l'espace de séchage ; pour renouveler l'air chaud. En plus, l'évaporation de l'eau de l'aliment par l'air chaud prend de l'énergie à l'air et donc refroidit, ce qui favorise encore plus la recondensation.

Pour connaître la capacité de l'air à contenir de l'eau, on mesure son humidité : en effet, au plus il est sec, au plus il peut se charger en eau. **L'humidité relative de l'air (HR)**, ou hygrométrie, représente la quantité de vapeur d'eau réel qu'il contient par rapport à la quantité maximale qu'il peut contenir à cette température. Un air avec 0% d'HR est donc totalement sec et a une capacité maximale pour se charger en eau. Un air avec 100% d'HR est saturé en eau : il ne peut plus en accueillir et l'eau condense s'il s'en charge davantage.

Au plus un air est chaud, au plus il peut contenir de la vapeur d'eau

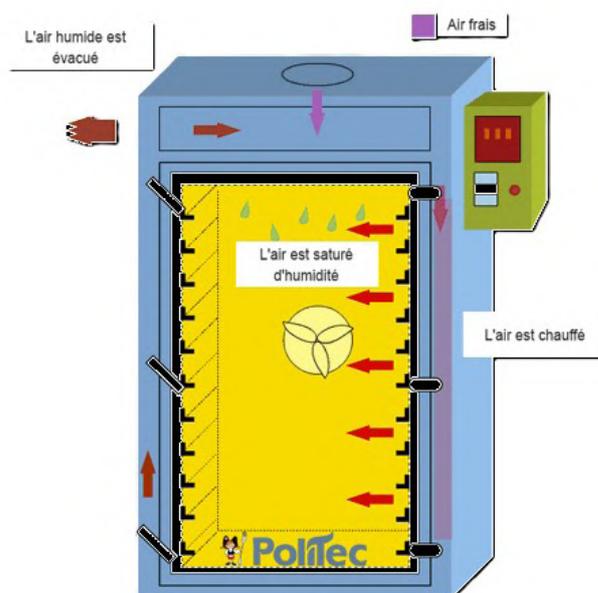


FIGURE 1.
Fonctionnement d'un séchoir (©Politec)

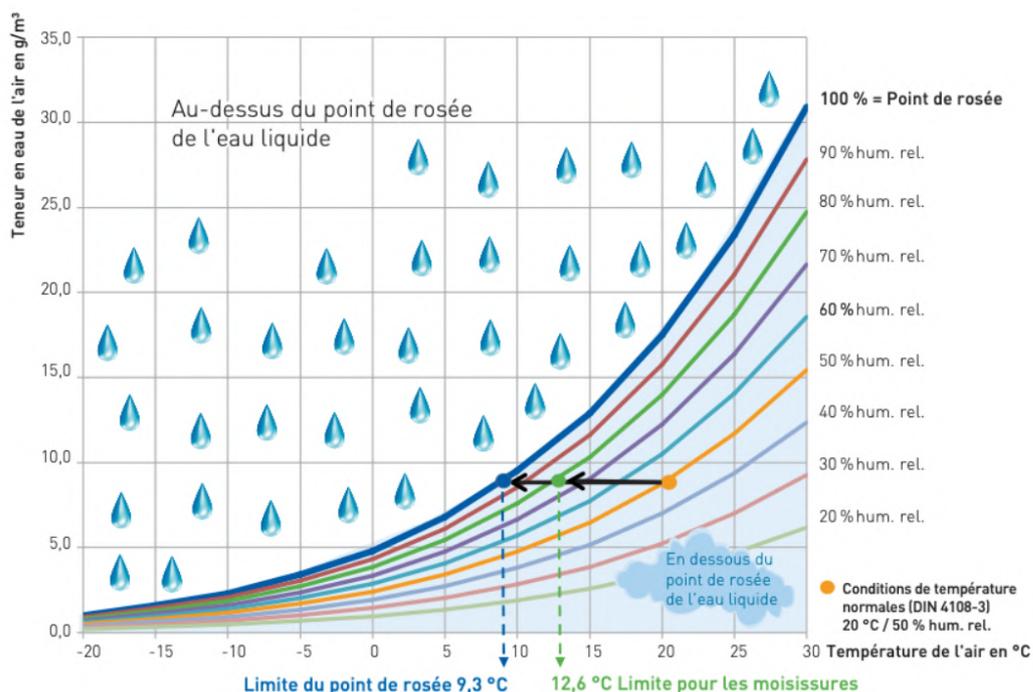


FIGURE 2.
Evolution de l'humidité relative par rapport à la température de l'air. (©Glaströsch)

L'humidité relative dépend de la température : comme vu ci-dessus, au plus il fait chaud, au plus elle diminue, et inversement. Au contraire, **l'humidité absolue (Y)** est indépendante de la température : elle représente la quantité d'eau par quantité d'air (kg d'eau/kg d'air). Ainsi, lorsque l'air est chauffé, l'humidité relative diminue et l'humidité absolue reste identique. Cependant, si l'air se charge en eau, les humidités relative et absolue augmentent.

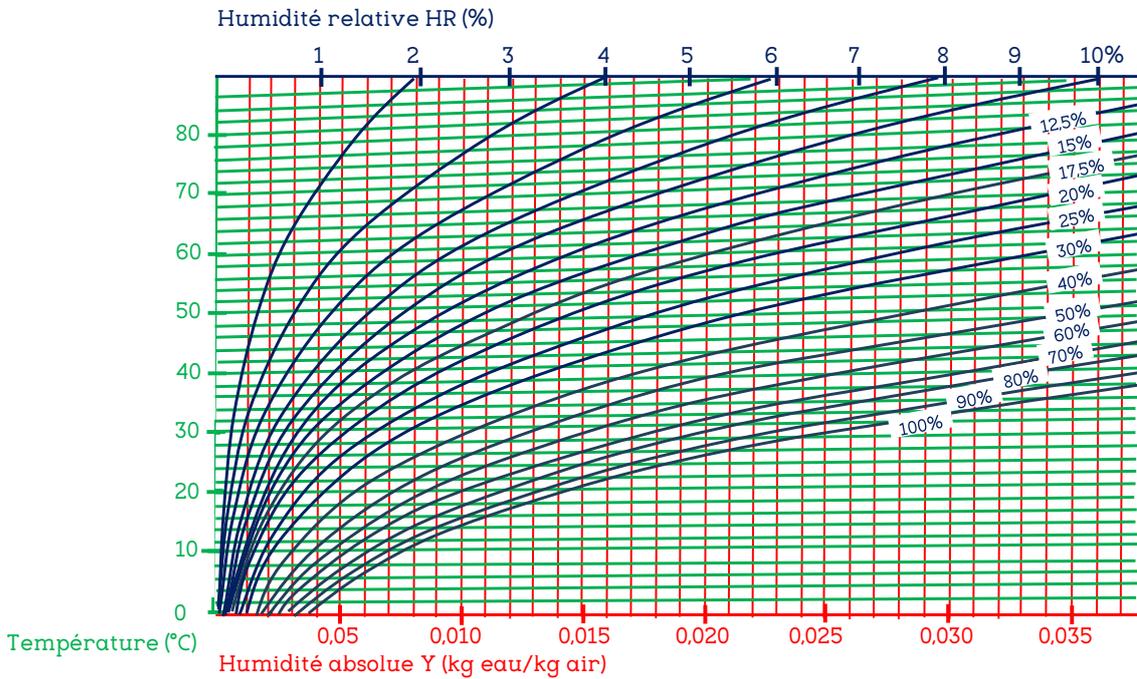


FIGURE 3.
Evolution de l'humidité absolue par rapport à l'humidité relative

Le séchage est un procédé de transfert d'énergie (de chaleur), raison pour laquelle on rajoute en général les niveaux d'énergie (isenthalpiques) sur la figure ci-dessus afin d'obtenir le diagramme de Mollier.

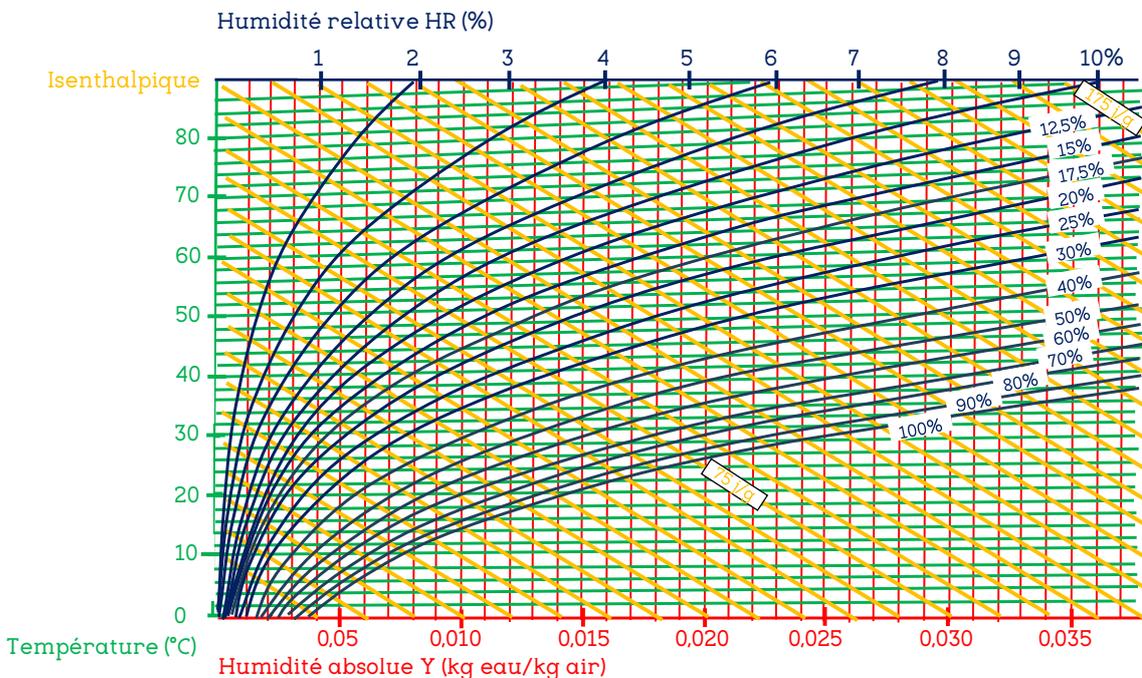


FIGURE 4.
Diagramme de Mollier.

Au début du séchage, l'aliment contient beaucoup **d'eau libre**, qui va s'évaporer facilement. Au fur et à mesure du séchage, la quantité d'eau libre diminue, **l'eau a de plus en plus de mal à sortir de l'aliment**. On parle alors **d'eau «liée»**. C'est la raison pour laquelle la vitesse de séchage diminue au cours du temps. En général, les aliments séchent donc tel que décrit dans la 2^e phase de la figure ci-dessous.

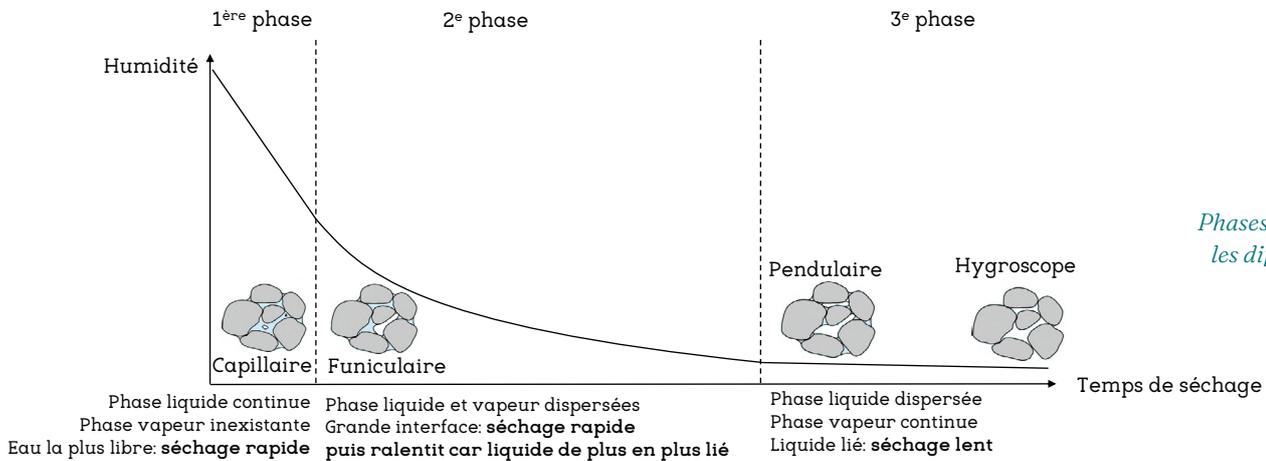


FIGURE 5. Phases de séchage avec les différents régimes.

Le séchage conserve car il permet de faire baisser l'humidité. Intuitivement, un produit moins humide pourrit moins vite. Cette propension à pourrir est quantifiable par l'activité de l'eau.

L'activité de l'eau ou a_w est **la mesure de la liberté de l'eau**, c'est-à-dire sa disponibilité **pour les réactions chimiques ou pour les microorganismes**. Elle se mesure sur une échelle de 0 à 1 : une a_w de 1 correspond à de l'eau pure, totalement libre donc disponible. Au contraire, une a_w de 0 correspond à une absence d'eau ou une eau totalement liée : dans ce cas, aucune réaction ne se produit et aucun microorganisme ne peut se développer.

L'humidité d'un aliment et son activité de l'eau sont liés par une relation non linéaire appelée **« isotherme de sorption »** : « isotherme » car elle est définie pour une température de séchage précise et « sorption » car elle décrit la capacité de l'eau à se détacher des particules d'aliments (désorption) et à l'aliment à se réhydrater si l'air se sature ou si la température baisse, par recondensation (absorption). Il existe donc pour chaque température une isotherme de désorption et une d'absorption : dans le cas du séchage, on utilise en général celle de désorption puisque que le processus enlève de l'eau à l'aliment. Lorsque toute l'eau est enlevée, il reste une seule couche de molécules d'eau à la surface de l'aliment, qu'on appelle 'monocouche'.

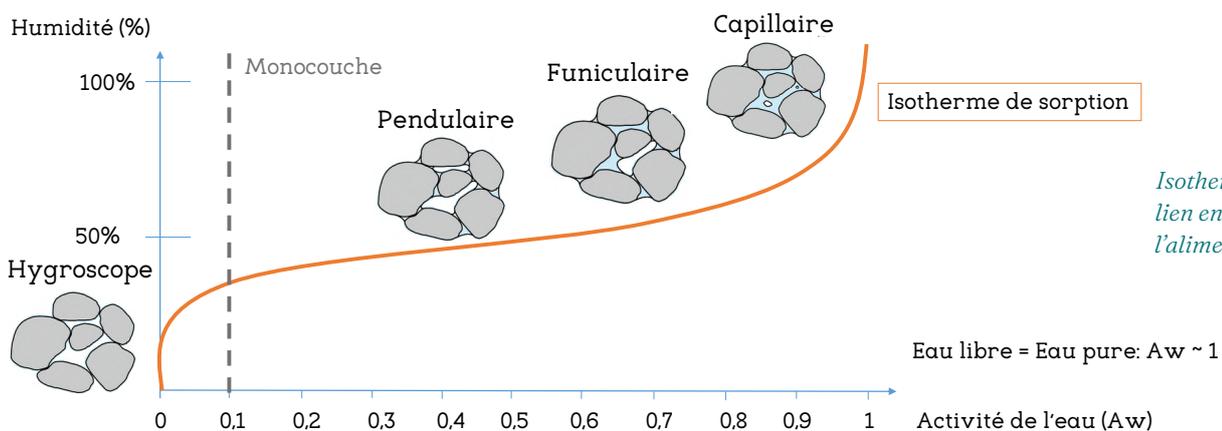


FIGURE 6. Isotherme de sorption : lien entre l'humidité de l'aliment et l'activité de l'eau.

Une isotherme de sorption est spécifique à un aliment et à température de séchage. Elle est liée à l'humidité de l'aliment : en général, il est admis que les fruits et légumes contiennent 90% d'eau. Cette quantité d'eau correspond au rapport entre l'eau (m_{eau}) et la masse totale de l'aliment (m_{totale}), dont l'eau qu'il contient et la masse qui n'est pas de l'eau, appelé « matière sèche » ($m_{sèche}$). L'humidité de 90% est donc définie comme **l'humidité en base humide** et se « nomme » X_{wb} :

$$X_{wb} = \frac{m_{eau}}{m_{totale}} = \frac{m_{eau}}{m_{eau} + m_{sèche}}$$

Vu que la masse totale contient la masse d'eau, au cours du séchage, la masse d'eau va diminuer. **Seule la masse sèche reste constante lors du séchage.** C'est pour cela qu'elle est prise comme référence pour comparer l'évolution de l'humidité au cours du temps de séchage. **L'humidité de référence est donc l'humidité en base sèche (X_{db})** et peut se calculer à partir de X_{wb} :

$$X_{db} = \frac{m_{eau}}{m_{sèche}} = \frac{X_{wb}}{1 - X_{wb}} \leftrightarrow X_{wb} = \frac{X_{db}}{1 + X_{db}}$$

En diminuant l'humidité de l'aliment par séchage, la vitesse de développement des microorganismes et des réactions chimiques est ralentie.

Les microorganismes à maîtriser sont :

- **Les bactéries** : elles produisent des toxines jusqu'à une a_w de 0,92 et se développent jusqu'à une a_w de 0,86. C'est le cas de *Staphylococcus aureus*, bactérie la plus xérophile (résistante à la sécheresse).
- **Les levures** : leur développement est fortement inhibé lorsque l' a_w est inférieure à 0,8
- **Les moisissures** : certaines moisissures xérophiles (*Xeromyces bisporus*) se développent jusqu'à 0,6

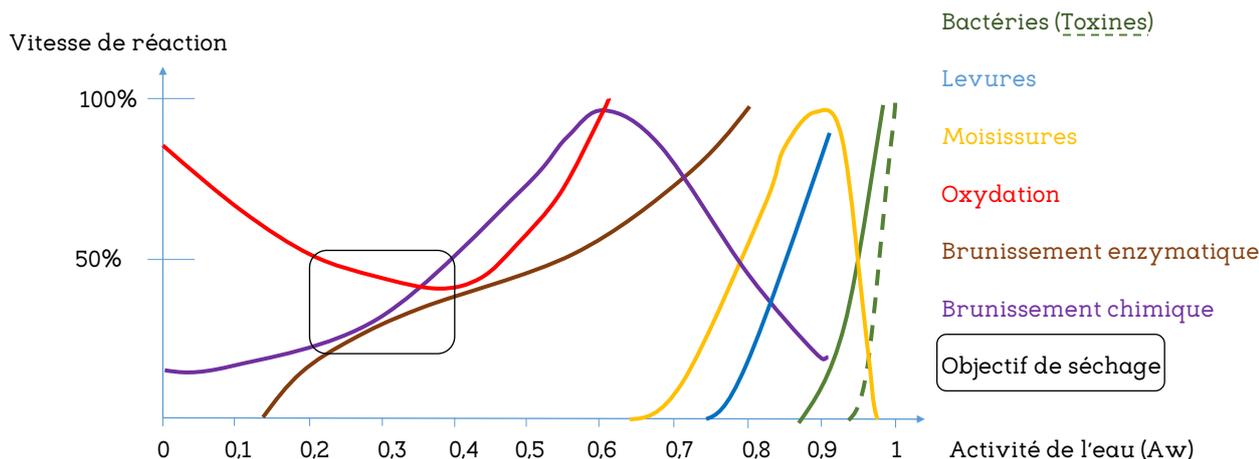
Pour éviter tout risque de microorganisme, il faut sécher jusqu'à une activité de l'eau inférieure à 0,6

Si sécher jusqu'à une a_w de 0,6 garantit la sécurité sanitaire mais ne permet pas de maîtriser les réactions chimiques, encore présentes à ce niveau-là.

Les **réactions** dépendant de l'humidité sont :

- **L'oxydation** : c'est le brunissement des fruits liés aux radicaux libres. Une pomme fraîchement coupée s'oxyde vite car elle est très humide. Sa vitesse de réaction est minimale à une a_w de 0,3 - 0,4.
- **Le brunissement enzymatique** : c'est l'oxydation des molécules colorantes des fruits (polyphénols) par une enzyme appelée « polyphénol oxydase ». La peau d'une banane mûre brunit vite car elle est également humide. Sa vitesse de réaction est minimale à une a_w de 0,1.
- **Le brunissement chimique** : c'est un brunissement non pas lié aux enzymes mais réactions de cuisson, dû au fait que l'on chauffe le fruit. Dès 50°C, des protéines et des sucres réagissent pour former des composés bruns, c'est la réaction de Maillard. Cette réaction est retrouvée sur des fruits qui ont croulé si le séchage a été fait à trop haute température. Sa vitesse de réaction est minimale à une a_w de 0,1 et 1. En effet, la réaction de Maillard nécessite un assèchement de la surface pour que les protéines et sucres soient en contact, raison pour laquelle elle ne se produit pas à haute a_w .

En combinant les plages de développement des microorganismes et de vitesse de réactions aux différentes activités de l'eau, on obtient le graphe suivant.



Pour garantir un séchage optimal (pas de réaction indésirable ni de développement de microorganismes), il faut sécher à une activité de l'eau comprise entre 0,2 et 0,4

FIGURE 7. Objectif de séchage.

2. Thermodynamique du séchage

Le séchage se déroule en étapes :

1. De l'air ambiant est aspiré par le séchoir
2. L'air est réchauffé pour diminuer son humidité relative et augmenter sa capacité d'absorption d'eau. Comme il n'y a pas de variation de quantité d'eau, son humidité absolue reste constante.
3. L'air se charge en eau au contact de l'aliment pour le sécher, ce qui a pour effet d'augmenter son humidité (relative et absolue). Il refroidit également car il cède de la chaleur emmagasinée pour faire évaporer l'eau de l'aliment. Il y a donc une conservation du niveau d'énergie : c'est la raison pour laquelle l'air refroidit selon la droite isenthalpique, de même niveau d'énergie.

L'équilibre de séchage est atteint lorsque l'humidité relative de l'air équivaut à l'activité de l'eau de l'aliment x 100

Prenons le cas d'un air ambiant à 25°C et 50% d'humidité relative (HR). On souhaite sécher à 70°C : sur le diagramme de Mollier, on déduit son humidité absolue Y qui est de 0,010 kg d'eau/kg d'air.

1. L'air est donc réchauffé à 70°C : l'humidité absolue reste identique car l'air n'absorbe pas d'eau mais l'humidité relative diminue de 50 à 5%, ce qui augmente la capacité de l'air à absorber de l'eau.
2. L'air chaud à 70°C arrive au contact du produit :
 - **En début de séchage**, l'air se charge jusqu'à saturation car le produit est humide et l'eau très libre. Il peut se charger jusqu'à 100% d'humidité relative ($Y = 0,025$ kg d'eau/kg d'air) si l'aliment est à une activité de l'eau de 1. Il cède alors le maximum de chaleur dont il est capable, car au-delà, l'air sature et l'eau condense. Cette perte de chaleur fait baisser la température au plus bas possible, appelée « température humide ». Dans notre cas, la température humide est 30°C.

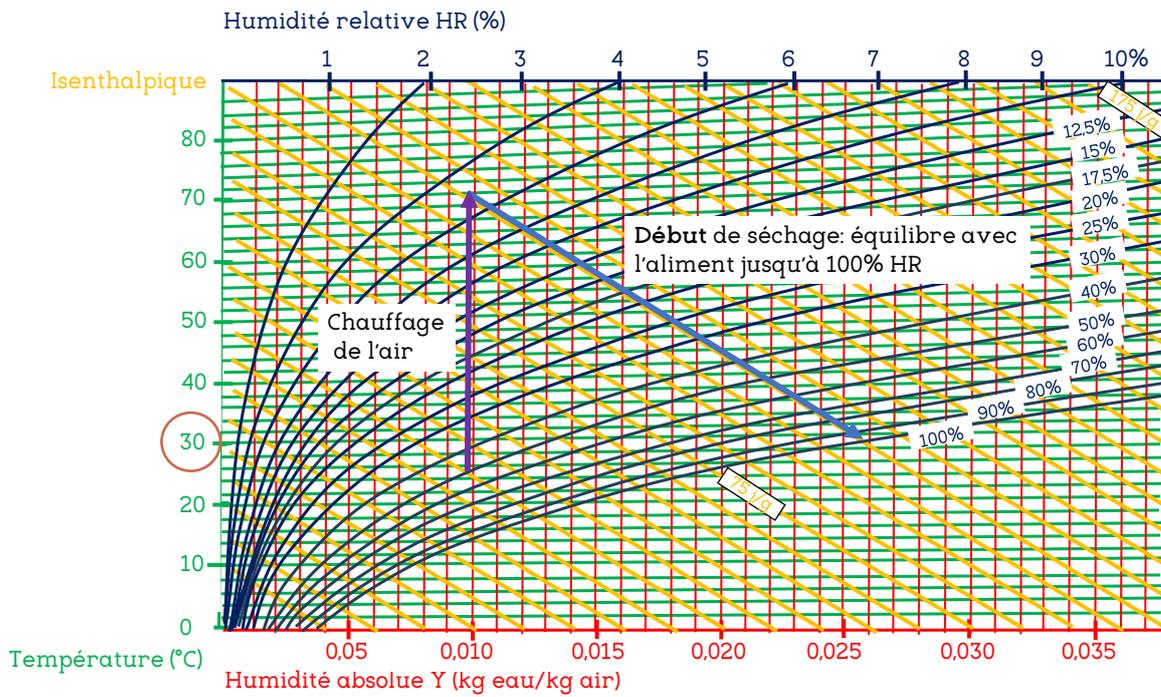


FIGURE 8.
Dynamique de l'air en début de séchage.

- **En fin de séchage**, l'air se charge en eau jusqu'à l'activité de l'eau que l'on vise. Si l'objectif est de sécher jusqu'à ce que l'aliment atteigne une a_w de 0,4, l'air se charge en eau en fin de séchage jusqu'à une humidité relative de 40%.

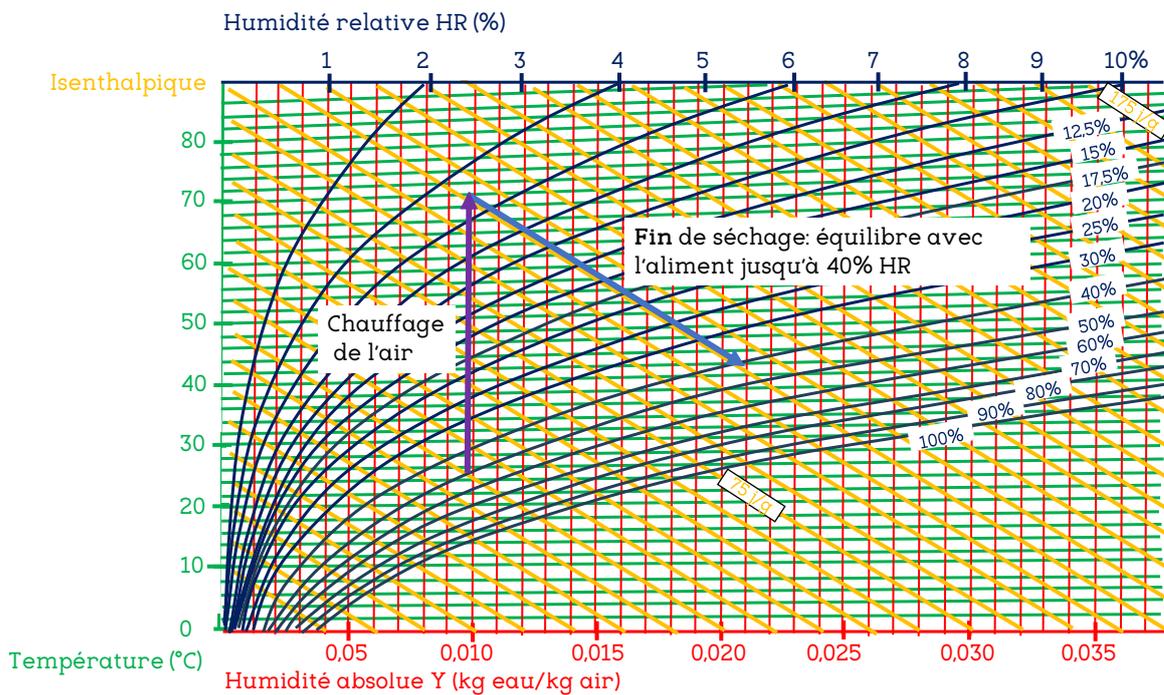


FIGURE 9.
Dynamique de l'air en fin de séchage.

3. Maitrise du séchage

La maitrise du séchage nécessite d'estimer quatre paramètres :

- 1) La quantité d'eau finale visée dans le produit
- 2) La quantité finale d'eau dans le produit
- 3) La température de séchage
- 4) Le temps de séchage

- LA QUANTITÉ INITIALE D'EAU DANS LE PRODUIT consiste à évaluer l'humidité initiale en base sèche du produit ($X_{db,i}$). Pour cela, on pèse l'aliment initial puis on le met dans une étuve à 104°C pendant une nuit, ce qui fait évaporer toute l'eau résiduelle. Par différence de masse entre l'aliment totalement sec et l'aliment à l'initial, on déduit la quantité d'eau dans le produit de base.

$$X_{db} = \frac{m_{eau}}{m_{produit\ sec}} = \frac{m_{initiale} - m_{finale}}{m_{finale}}$$



$$X_{db,Légipont} = \frac{6 - 1}{1} = 5$$

$$X_{wb,Légipont} = \frac{X_{db}}{X_{db} + 1} = \frac{5}{1 + 5} = 83\%$$

FIGURE 10. Calcul de l'humidité initiale d'une poire Légipont.

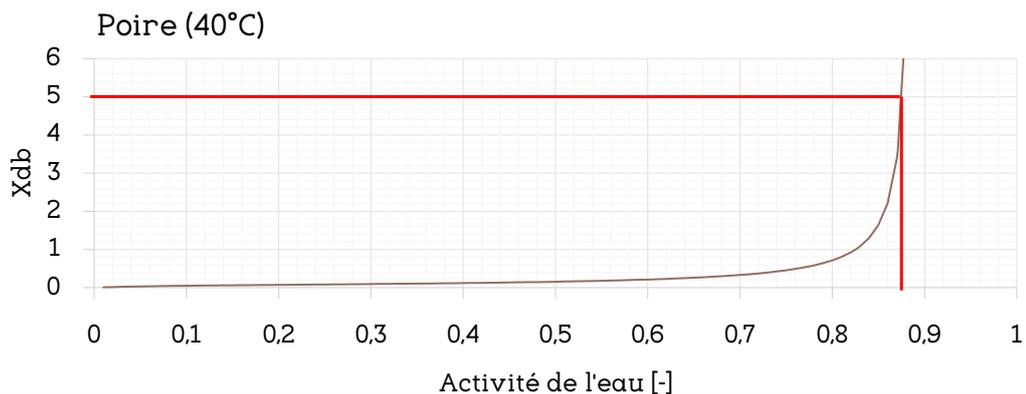
En connaissant l'humidité initiale, on peut déduire l'activité d'eau initiale de l'aliment par interpolation sur l'isotherme de sorption de cet aliment.

Quantité initiale d'eau dans le produit:

$$X_{db,Légipont} = 5$$

Par l'isotherme de sorption de la poire (40°C): $A_{w,initiale} = 0,88$

FIGURE 11. Déduction de l'activité de l'eau initiale.



- LA QUANTITÉ FINALE D'EAU DANS LE PRODUIT correspond à l'humidité finale en base sèche que l'on veut atteindre ($X_{db,f}$). Celle-ci dépend de l'objectif d'activité de l'eau à atteindre : en interpolant l'objectif d'activité de l'eau sur l'isotherme de sorption, on obtient l'humidité à atteindre en fin de séchage. La Figure 12 montre la démarche de si l'on vise à sécher jusqu'à une activité d'eau de 0,6.

Quantité finale voule pour $A_w < 0,6$:

Par l'isotherme de sorption de la poire (40°C): $X_{db,finale} = 0,214$

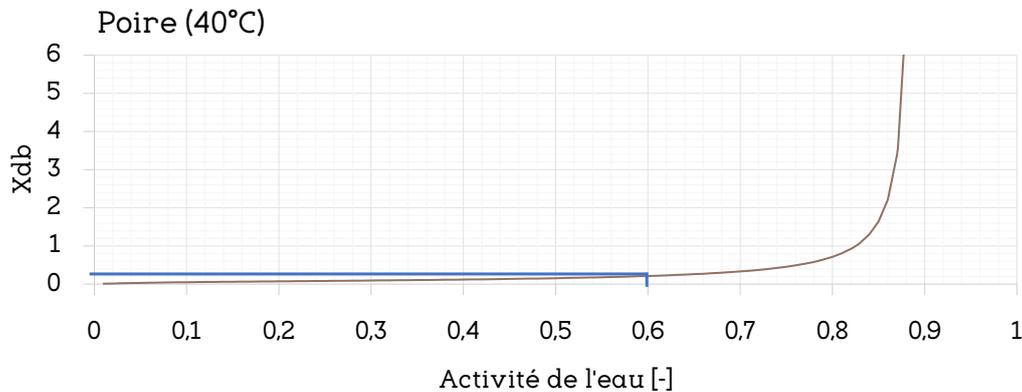


FIGURE 12. Déduction de l'humidité finale à atteindre pour obtenir une activité de l'eau qui conserve.

Pour savoir à quel moment le séchage est fini, on peut utiliser la notion de « **ratio de séchage** », qui permet, à partir de la masse initiale d'aliment ($m_{tot,i}$) les humidités initiales ($X_{db,i}$) et finales ($X_{db,f}$), de déduire la masse finale de produit à atteindre en fin de séchage ($m_{tot,f}$) :

$$\text{Ratio de séchage: } \frac{m_{tot,i}}{m_{tot,f}} = \frac{1+X_{db,i}}{1+X_{db,f}} \rightarrow m_{tot,f} = m_{tot,i} \times \frac{1+X_{db,f}}{1+X_{db,i}}$$

Dans l'exemple de la poire Légipont, estimons que le séchoir peut accueillir 7 kg de fruits. En connaissant les humidités initiales (5) et finales (0,214), il est possible d'estimer la masse finale des fruits séchés.

Dans notre exemple, en partant de 7 kg de poires fraîches, pour atteindre une activité de l'eau inférieure à 0,6, il faudra sécher jusqu'à ce que la masse des poires diminue jusqu'à 1,4 kg.

$$m_{tot,f} = 7 \times \frac{1+0,214}{1+5} = 1,4 \text{ kg}$$

- LA TEMPÉRATURE DE SÉCHAGE impacte le temps de séchage et la consommation énergétique du séchoir. Au plus la température de séchage est élevée, au plus le temps de séchage est court.

Sécher à la plus haute température possible est toujours l'idéal

On entend par la plus haute température « possible » celle qui est un compromis entre le fait de sécher rapidement et le fait de ne pas trop impacter la qualité de l'aliment. Il est communément admis que l'on ne peut pas sécher les fruits au-dessus de 42°C, afin de ne pas altérer les qualités nutritionnelles et organoleptiques de l'aliment : la recherche

scientifique a démontré que cette idée s'avère fautive en général et que l'on peut en réalité dans la majorité des cas sécher à plus haute température.

La haute température a deux impacts sur le fruit séché : le brunissement chimique et la destruction des qualités nutritionnelles. Dans la figure ci-dessous, on peut juger de l'impact de la température sur les critères importants selon que l'on sèche des fruits et les plantes aromatiques/champignons. Le brunissement chimique (réaction de Maillard) est la première réaction de cuisson : elle est donc quasiment inexistante en dessous de 60°C. La température élevée de séchage raccourcit la durée du processus, ce qui permet, pour certains composés d'être mieux préservés.

Pour la préservation des polyphénols, par exemple, mieux vaut sécher à 60°C peu de temps qu'à 40 °C pendant un temps plus long

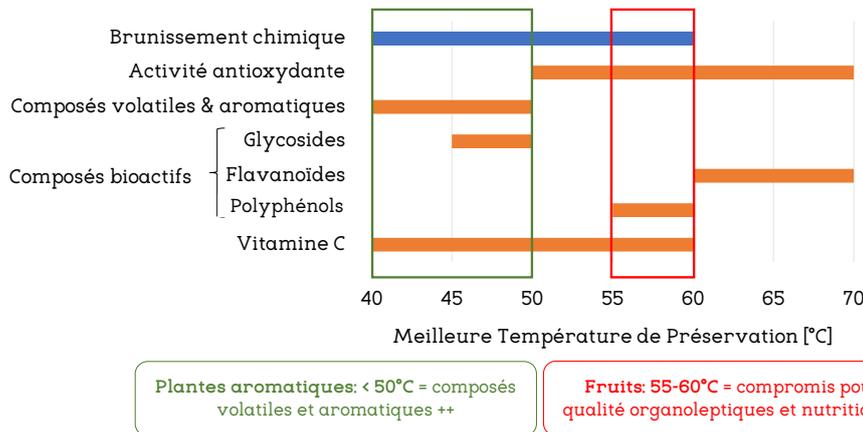


FIGURE 13. Températures de séchage idéales en vue de la préservation des qualités de l'aliment (ElGamal et al., 2023).

Pour les plantes aromatiques/ champignons, on vise à conserver les composés volatiles et aromatiques au maximum : le séchage est donc réalisé entre 40 et 50°C

Pour les fruits, on vise à trouver un compromis entre les qualités organoleptiques et nutritionnelles : le séchage est donc réalisé entre 55 et 60°C

Deux autres raisons motivent de faire sécher les fruits à 60°C plutôt que 42°C. D'une part, à 42°C, les enzymes naturellement présentes dans le fruit (pectinase, polyphénol oxydase, etc) sont beaucoup plus actives qu'à 60°C et dégradent donc beaucoup plus le fruit. D'autre part, sécher à plus haute température permet de limiter la consommation énergétique, car le temps de séchage est raccourci.

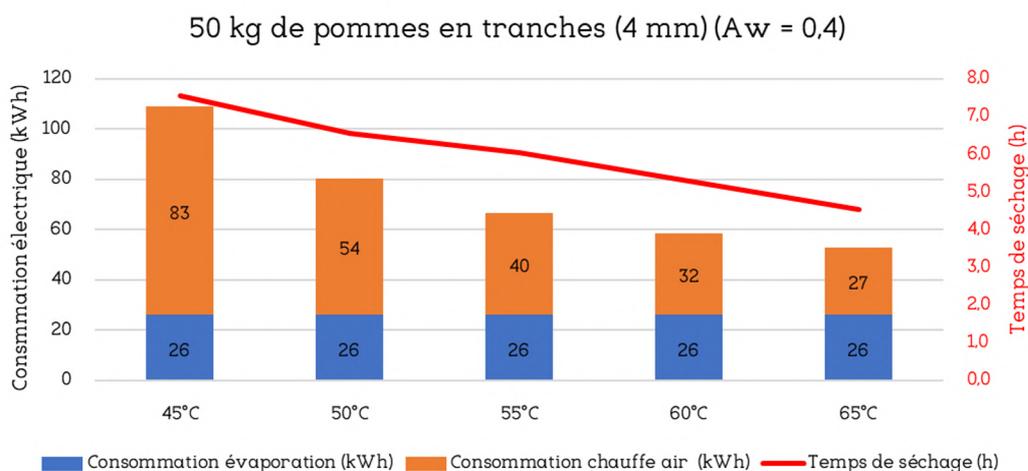


FIGURE 14. Consommation énergétique du séchage de pomme à différentes températures.

- LE TEMPS DE SÉCHAGE dépend du type d'aliment et de son **épaisseur**. En théorie, le temps de séchage augmente au carré de l'augmentation d'épaisseur : cela signifie que si on double l'épaisseur de la tranche de fruit, le temps est multiplié par 3. En pratique, au plus un aliment est épais, au plus le séchage sera long mais cela varie également en fonction du fruit. Dans l'exemple de la pomme ci-contre, pour atteindre le même séchage (la même activité de l'eau), il faut respectivement 18 et 52 h pour des tranches de 15 et 30 mm. Dans ce cas, en doublant l'épaisseur, le temps de séchage est multiplié par 3.

Pour limiter le temps de

- **séchage, l'épaisseur de fruits recommandée est de 2 à 6 mm**

Pour réduire le temps de séchage, il est possible de chauffer à « haute » température en début de séchage sans échauffer trop l'aliment. En effet, tant que le produit est très humide, l'évaporation de l'eau est importante et prend de l'énergie à l'air chaud, ce qui le refroidit. Au début du séchage, l'évaporation est si importante que l'air chaud peut se charger à 100%, et donc refroidir à une température minimale nommée « température humide ».

Dans l'exemple ci-contre, la surface de la pomme s'élève jusqu'à la température humide (42°C) en 8h puis reste à cette température tant qu'il y a suffisamment d'eau à évaporer à la surface, jusqu'à 14h après le début du séchage. Ensuite, comme l'eau devient moins libre et plus liée, elle s'évapore plus difficilement et donc la surface de la pomme atteint la température de l'air à 46°C.

Cela signifie que vu que le temps de séchage diminue en augmentant sa température et que tant qu'il y a assez d'eau libre à évaporer, le produit ne dépasse pas la température humide, toujours inférieur à 50°C, **il est recommandé de sécher les deux premières heures à plus haute température puis de baisser le thermostat pour éviter de trop monter le produit en température.**

En industrie, un exemple souvent repris est celui de la levure de boulangerie à sécher, qui doit rester vivante pour pouvoir fermenter le pain dans son utilisation future. Le séchage est débuté au-dessus de 100°C, mais comme la température humide ne dépasse pas 45°C, la levure survit et le temps de séchage est drastiquement raccourci.

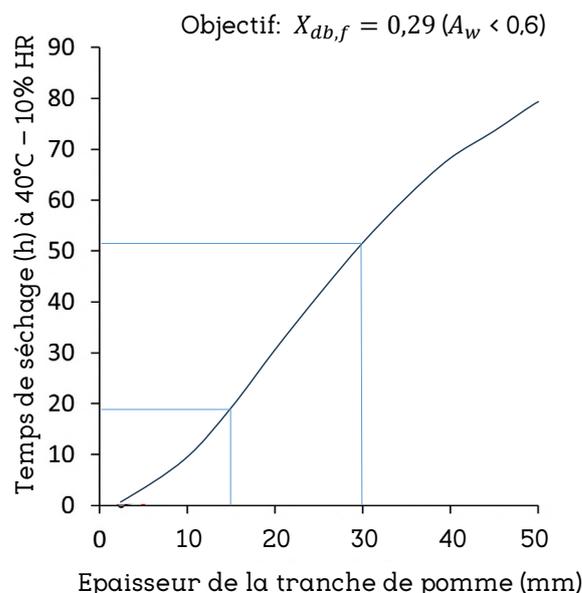


FIGURE 15. Temps de séchage de la pomme à différentes épaisseurs (Defraeye, 2017).

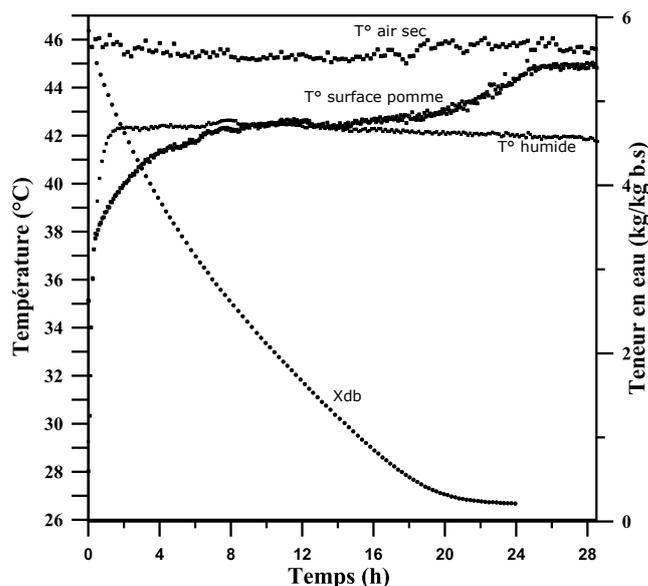


FIGURE 16. Séchage d'une pomme avec un air à 46°C (80% HR) (Mihoubi, 2011)

- **Sécher les deux premières heures au-dessus de 70°C n'échauffe pas le fruit et raccourcit drastiquement le temps de séchage. Baisser ensuite la température en-dessous de 55°C pour éviter de « crouter », que l'eau soit emprisonnée et ne s'évapore plus.**

4. Séchage de fruits

Un fruit est transformé si c'est nécessaire : le fruit de table reste la meilleure manière de le consommer d'un point de vue organoleptique et nutritionnel. Si le fruit est cueilli sur l'arbre, le risque sanitaire est limité car il n'a pas eu de contact avec le sol : le fruit peut donc être consommé tel quel. Le fruit tombé au sol est davantage en contact avec les moisissures et il est donc conseillé de le transformer.

De manière générale, **pour les fruits cueillis sur l'arbre**, les pommes les plus charnues sont utilisées pour de la compote et les autres fruits peuvent être séchés car il n'y a pas de traitement thermique et donc une bonne préservation des qualités du fruit frais. On sèche davantage les pommes tardives, car il y a une concentration des goûts grâce la maturation.

Pour les fruits tombés au sol ou abimés, il est préférable de les transformer avec un procédé assainissant, comme un traitement thermique (compote, compote séchée sous forme de cuir de fruit, jus) ou une fermentation (cidre/poiré, vinaigre). Le jus est la valorisation à effectuer en dernier recours car la pasteurisation détruit les qualités organoleptiques et nutritionnelles.

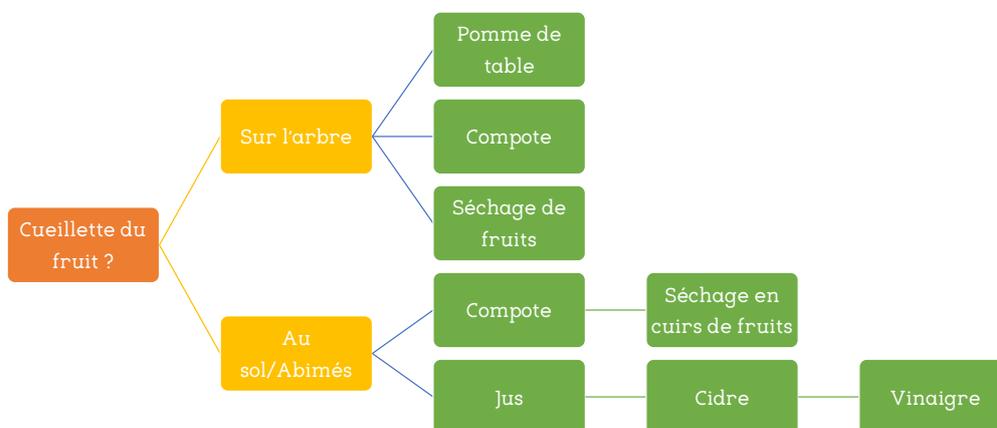


FIGURE 17. Transformations à opérer en fonction de l'origine du fruit.

Les principaux fruits belges produits sont dans l'ordre **la poire, la pomme** puis les fruits à noyaux tels que **la prune et la cerise**.

Le tableau ci-dessous reprend une partie des variétés anciennes de **pommes** belges et celles qui, d'après l'expérience de Paula Defresne (Vergers d'Al Savatte), sont plus adaptées pour l'une ou l'autre transformation. On constate que les variétés précoces ne conviennent pas au séchage car elles ne sont pas assez concentrées en goût tandis que les variétés tardives donnent de bons résultats en séchage. Ces variétés tardives peuvent se conserver plusieurs mois en cave, raison pour laquelle on les appelle « variété de conservation ». Cette période passée en cave, dite de maturation, permet de déshydrater partiellement le fruit et d'en concentrer les goûts.

Il ne faut pas attendre les pommes tardives pour en sécher : certaines variétés de moyenne saison donnent de bons résultats mais tiennent moins longtemps la maturation (15 j à 1 mois plutôt que 6 mois pour les variétés tardives). Parmi ces variétés donnant de bons résultats, on peut citer entre-autre la Reinette Hernaut, le Radoux et la Reinette Etoilée.



FIGURE 18. Variétés de moyenne saison avec de bons résultats en séchage : de gauche à droite, Reinette Hernaut – Radoux – Reinette Etoilée.

Variété	Date de récolte	Fruit de table	Compote	Séchage
Transparentes blanches	Mi-juillet	✓	✓✓	✗
Elstar	Août	✓	✓✓	(✓)
Jacques Le Bel	Fin août à début octobre	✓✓	✓✓	✗✗
Joseph Mush	Fin août	✓	✓✓	✗✗
Belle Fleur Largemouche	Fin août	✗	✓✓	✗✗
Belle Fleur de Brabant	Fin août	✗✗	✓✓	✗✗
Simple	Fin août	✗	✓✓	✗✗
Reinette Descardre	Fin août-début septembre	✓	✗	✓
Reinette Etoilée	Début septembre	✗	✗	✓✓
Cox's orange	Début septembre	✓✓	✗✗	✓✓
Reinette de Chainée	Début septembre	✗	✗	✓✓
Radoux	Début septembre	✓	✗	✓
Croncelles	Mi-septembre	✓	✓	✓
Reinette de Blenheim	Début octobre	✓	✗	✗
Reinette grise du Canada	Début octobre	✓	✓	✗
Belle de Boskoop Rouge	Fin septembre	✓	✓	✗
Reinette Hernaut	Début octobre	✓	✓	✓
Belle Fleur de France	Début octobre	✓✓	✗	✗
Reinette d'Ohain	Début octobre	✓✓	✗	✗
Belle Fleur Large mouche	Fin septembre	✗	✓	✗
Sabot de Gransveld	Début octobre	✓	✗	✗
Court Pendu Rosat	Fin octobre	✓	✗	✓
Duchene	Novembre	✓	✗	✓
Marie Joseph d'Othée	Novembre	✓	✓	✓
Sabot d'Eijsden	Novembre	✓	✗	✓
Madame Macors	Novembre	✓	✗	✓
Duchene	Novembre	✓	✗	✓
Jonagold	Novembre	✓	✗	✓
Gueule de Mouton	Novembre	✓	✗	✓

FIGURE 19.
Transformations à opérer en fonction de la variété de pomme.



En **poire**, les variétés à sécher les plus adaptées sont la Conférence et la Légipont. D'autres variétés anciennes donnent également de bons résultats. Il est à noter que la poire, lors de la maturation, devient « blette » : en fonction de la variété, soit il faut la sécher avant qu'elle n'atteigne ce stade soit la poire blette peut être facilement transformée en cuir de fruit.

FIGURE 21.
Légipont séchée.

Variété	Mois	Fruit de table	Compote	Séchage
Clapp's Favourite	Mi-août	✓	✗	✗
Calebasse à la Reine	Mi à fin août	✓	✓	✗
Bon chrétien William's	Mi-août	✓	✗	✗
Beurré Hardy	Fin août	✓✓	✗	✓✓
Beurré Chabosceau (Jefkes)	Fin août	✓	✗	✗
Calebasse Bosc	Début à mi-septembre	✓	✗	?
Conférence	Fin-septembre à mi octobre	✓	✗	✓
Légipont	Mi-septembre à mi octobre	✓	✗	✓
Beurre Diel	Octobre	✓	✗	✗
Saint Remy	Octobre	✓	✓	✗
Saint Mathieu	Mi-octobre	✓	✓	✗

FIGURE 20.
Transformations à opérer en fonction de la variété de poire.



En **fruit à noyaux**, plusieurs variétés peuvent être séchées : pour les cerises, on peut citer la Guigne et la Bigarreau et pour les prunes, la Reine Claude et le Petit Bleu.

Famille	Caractéristique	Utilisation
Bigarreau	Fruits sucrés à chair ferme et croquante, blancs ou rouge	Fruit de table, Séchage
Guigne	Fruits sucrés à chair molle	Fruits de table, Kirsch, Confiture, Séchage
Amarelle	Fruits acides à jus clair	Fabrication de confitures, de gelées, de jus de fruits, de conserves, de liqueur, de pâtisseries
Griotte	Fruits acides à jus coloré	Fabrication de confitures, de gelées, de jus de fruits, de conserves, de liqueur, de pâtisseries

FIGURE 22.
Variétés de cerise.

FIGURE 23.
Fruits à noyaux séchés :
Cerise Bigarreau, Cerise Guigne, Prune Petit Bleu.

Le **séchage de fruits** consiste en 4 étapes :

- 1) Prétraitement des fruits
- 2) Découpe et pelage
- 3) Séchage
- 4) Conditionnement

1. PRÉTRAITEMENT DES FRUITS :

Le prétraitement des fruits peut se faire avant ou après le découpage et permet de limiter la quantité de microorganisme et l'oxydation du fruit après la découpe, causé par l'enzyme polyphénol oxydase (PPO). Il y a donc tout intérêt à enchaîner le prétraitement, la découpe et le séchage afin de limiter le risque de développement de microorganisme et d'oxydation des fruits. Les prétraitements pratiqués sont des trempages :

- **Blanchiment** : plonger les morceaux dans l'eau 2 min à 80°C, ce qui élimine les microorganismes et désactive bonne partie des PPO de surface
- **Trempage en bain d'acide**: tremper dans du jus de citron (ou dans un bain d'eau avec 5% d'acide citrique et 0.1% acide ascorbique/malique), ce qui limite l'oxydation
- **Trempage au sirop** : tremper dans du sirop (60% de sucre) pendant 30 min à 40°C, ce qui permet de faire sortir partiellement l'eau du fruit (déshydratation osmotique) et donc limite l'activité des microorganismes et de la PPO
- **Trempage aux sulfites** : le sulfite est antimicrobien & antioxydant mais n'est pas recommandé car allergène. Sa teneur est donc légiférée dans les produits séchés, par la législation européenne (*Règlement - 1333/2008 - EN - additifs - EUR-Lex, s. d.*).

FRUIT SÉCHÉ	TENEUR MAXIMALE EN SO ₂ (MG/KG)
POMME & POIRES	600
PRUNES	2000
CERISES	500

Les **impacts des prétraitements** sont repris dans le tableau ci-dessous (F. Debaste – ULB comm. Pers.).

FACTEUR	BLANCHIMENT	TREMPAGE ACIDE	TREMPAGE SIROP
POLYPHÉNOL OXYDASE	Dénaturation en surface, réduction au cœur	Dénaturation partielle, réduction de l'activité	Activité réduite de 90%
TEMPS DE SÉCHAGE	Réduit de ~5%	Réduit de ~10%	Augmenté de 10%
RÉTRÉCISSEMENT	15% en volume		
PERTE DE VITAMINE B2	Importante (car hydrosoluble)	Modérée	
PERTE DE VITAMINE C	Importante (car hydrosoluble)	Négligeable (voir enrichissement)	
FERMETÉ	Perte significative		Perte significative
RÉHYDRATATION	Améliorée		
COULEUR	Mieux conservée après séchage	Beaucoup mieux conservée après séchage	

2. DÉCOUPE ET PELAGE



Faut-il peler les fruits avant le séchage

Une pomme crue non pelée par rapport à une pomme pelée contient jusqu'à 332 % de vitamine K en plus, 142 % de vitamine A en plus, 115 % de vitamine C en plus, 20 % de calcium en plus et jusqu'à 19 % de potassium en plus (*Should You Peel Your Fruits and Vegetables?*, 2017). Mais si le séchage concentre les goûts et les nutriments, il concentre également les produits phytosanitaires (jusqu'à 8 fois) et peut donc rendre certains fruits toxiques.



Si le fruit est non traité ou bio, il peut être séché tel quel



Si le fruit est traité, il doit absolument être pelé avant séchage

Pour peler les pommes, il est possible d'utiliser un éplucheur manuel ou sa version automatisée.

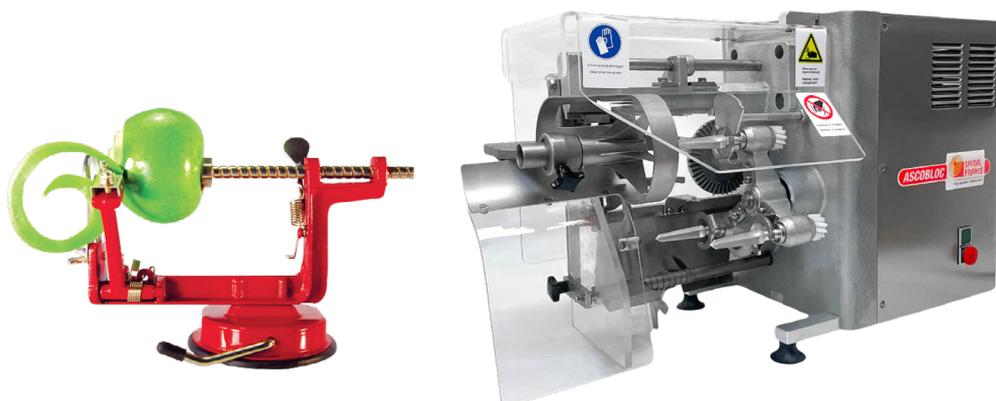


FIGURE 24.
A gauche, pèle-pomme ménager - A droite, Pèle-pomme automatique Ascobloc II (©Spiral France)

• DÉCOUPE DES FRUITS À PÉPINS (POMMES, POIRES) :

Il convient d'utiliser une lame rotative pour trancher les fruits : le trancheur à lame verticale est moins cher mais moins sécurisé que celui à lame horizontale.

! **L'épaisseur de séchage recommandée est de 2 à 6 mm**



FIGURE 25.
A gauche, trancheuse à lame verticale (©Magimix)
A droite, trancheuse à lame horizontale (©Robot Coupe)

Une épaisseur de tranche inférieure à 1 mm colle au support de séchage et supérieure à 6 mm augmente drastiquement le temps de séchage.

• PRÉPARATIONS DES CUIRS DE FRUITS :

Les fruits sont cuits en compote puis sont étalés en couche fine sur du papier cuisson : il faut limiter l'épaisseur car sinon, le produit peut moisir lors du séchage. Il ne faut pas couvrir la totalité de la plaque pour laisser l'air circuler.

FIGURE 26.
Préparation du cuir de fruit avant séchage (©Diversifruits)



• PRÉPARATION DES PRUNES ET CERISES :

L'objectif est de les rendre les plus fines et étalées possible afin de réduire le temps de séchage. Après dénoyautage, les prunes sont coupées en deux puis étalées entières sur le support de séchage. Les cerises sont coupées en 8 pour augmenter la surface de contact avec l'air séchant.

3. SÉCHAGE :

Démarrer à 70°C

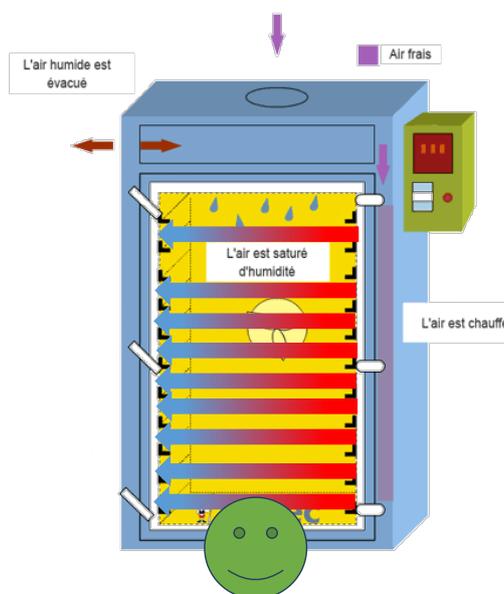
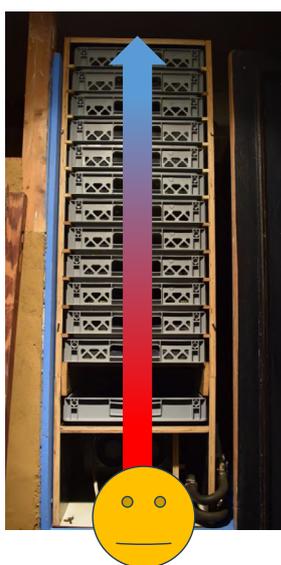
**pendant 2h puis
abaisser à 55°C**

L'eau libre en début de séchage s'évapore et refroidit le produit localement.

Une fois qu'une bonne partie de l'eau est évaporée, l'évaporation ne suffit pas pour refroidir le produit et compenser la chaleur de l'air de séchage. La température de 55°C est choisie car :

- Cela préserve les qualités organoleptiques et nutritionnelles
- C'est un bon compromis énergétique
- Cela désactive les enzymes de dégradation : à 40°C, on les active
- Si on sèche plus haut sur toute la durée du séchage, le produit peut craquer et l'eau à cœur ne sort plus du produit

Habituellement, les séchoirs à claies ont un flux d'air vertical : l'air a un long trajet à parcourir et donc, les claies du dessus séchent moins vite, ce qui provoque un séchage lent et hétérogène. Un flux horizontal corrige cela en répartissant le flux sur chaque étage, le parcours de l'air est plus court et le séchage rapide et homogène.



Utiliser un séchoir à flux

- **horizontal homogénéise le séchage sur les différents étages et évite l'interversion des claies**

Il est possible de sécher en

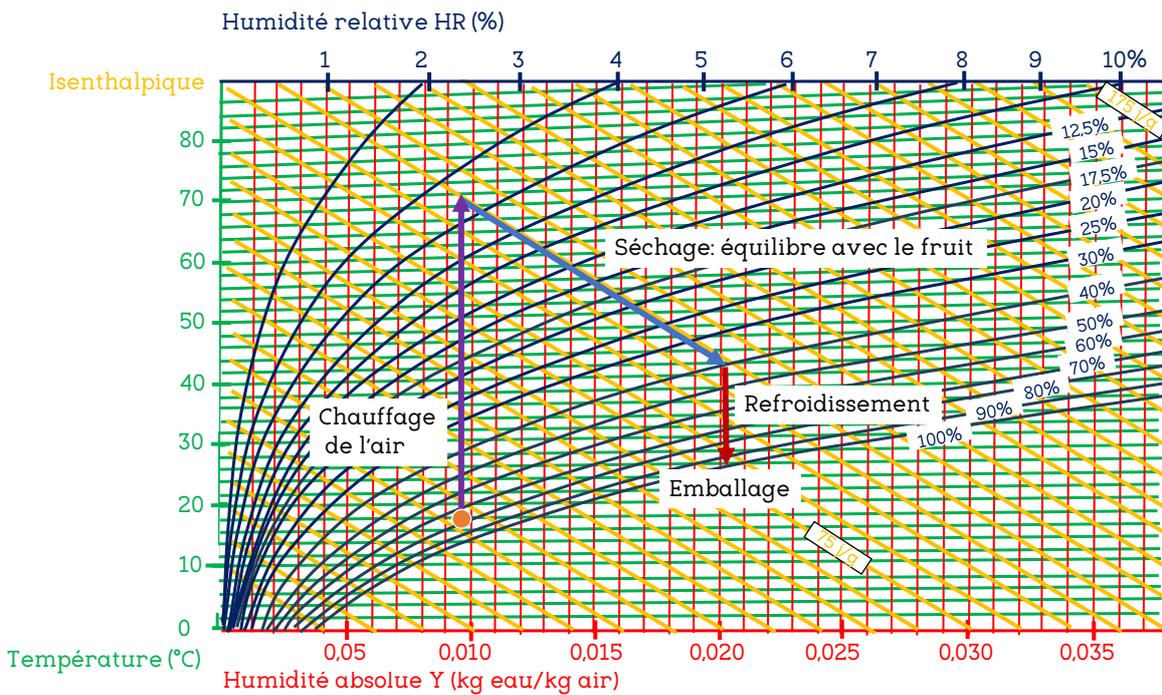
- **hiver : en effet, l'air froid est souvent plus sec que celui d'été et une fois réchauffé, peut donc absorber plus d'humidité qu'un air estival. Si le séchage est effectué à l'intérieur, bien ventiler le local, surtout en cave.**

FIGURE 27.
Comparaison des flux verticaux (gauche) et horizontaux (droite) de l'air séchant.

4. CONDITIONNEMENT :

Le produit séché doit ressuer sous une certaine température dans un endroit ventilé afin d'éviter la recondensation dans l'emballage.

Pour connaître cette température, considérons le cas critique de l'été le plus humide jamais enregistré en Belgique : celui de 2021 où l'air ambiant était en moyenne à 16,9°C à 78% HR, ce qui correspond à une humidité absolue de 0,0094 kg d'eau/kg d'air. Cet air chauffé à 70°C voit son humidité relative baisser à 5%. En fin de séchage, l'air se charge en eau jusqu'à l'humidité relative en équilibre avec l'activité de l'eau du fruit, à savoir 40% HR (ou Aw de 0,4) et l'air atteint une humidité absolue de 0,0210 kg d'eau/kg d'air et une température de 42°C. Pour atteindre la température à laquelle l'eau risque de condenser, c'est l'inverse du chauffage de l'air : l'humidité absolue reste constante et l'humidité relative augmente jusqu'à 100% HR (saturation de l'air). La température pour atteindre cet état est la température de rosée, qui dans ce cas est de **26°C**.



Laisser refroidir jusqu'au moins 26°C avant d'emballer pour éviter la recondensation

FIGURE 28. Détermination de la température de rosée d'un produit séché dans un air critique ment humide.

L'emballage doit permettre de :

- Eviter la contamination directe (manutention)
- Eviter la réhumidification car les produits secs sont hygroscopiques
- Protéger des rongeurs et des mites alimentaires
- Eviter l'évènement & la lumière

PROTECTION POUR	MANUTENTION	OXYGÈNE	HUMIDITÉ	LUMIÈRE	EVENEMENT	RONGEUR
PAPIER KRAFT	Moyen	Faible	Faible	Bon	Faible	Faible
PAPIERS TECHNIQUES	Moyen	Moyen	Moyen	Bon	Moyen	Faible
TEXTILE	Moyen	Faible	Faible	Bon	Faible	Faible
CARTON DUR	Bon	Faible	Faible	Bon	Moyen	Faible
PLASTIQUE SOUPLE	Moyen	Bon	Bon		Moyen	Faible
PLASTIQUE DUR	Bon	Bon	Bon		Bon	Moyen
PLASTIQUE SOUS VIDE	Bon	Bon	Bon		Bon	Moyen
ALUMINIUM/INOX	Moyen	Moyen	Bon	Bon	Moyen	Bon
VERRE	Bon	Bon	Bon		Bon	Bon

Les recommandations sont :

Au plus l'emballage est petit, au plus il limite les risques . Il est donc pertinent d'éviter les emballages trop grands.

Avoir un produit bien sec

Ne pas avoir un emballage trop étanche sinon il y a un risque de recondensation

5. Comment choisir son séchoir à fruits ?

Le choix du séchoir est conditionné par :

- La surface de séchage (en m²)
- La puissance (en kW)
- Le volume de production (en litres ou kg)

Pour vous faciliter le choix, un [outil de dimensionnement](#) est disponible sur le site de DiversiFerm

L'[outil du site deshydrateur.com](#) peut également vous aider.

FOURNISSEURS

MATÉRIEL	FOURNISSEUR	SITE DU FOURNISSEUR
PETIT VOLUME (< 5 KG)	Stöckli	https://stockli.shop/fr/category/doerrgeraete/
	Vita 5	https://www.vita5.eu/fr/vita5-nobel-pro-deshydrateur-inox-6-plateaux-minut.html
VOLUME MOYEN (5 À 30 KG)	Memmert	https://www.memmert.com/fr/home
	Klarstein	https://www.klarstein.be/fr/Appareils-de-cuisine/Deshydrateur/
GRAND VOLUME (> 30 KG)	Politec	https://www.politec-france.com/97-deshydrateur-professionnel
	Tauroessicatori	https://www.tauroessicatori.com/fr/c/produits-3/sechoirs-professionnels/

6. Séchage de plantes aromatiques et des champignons

LÉGISLATION

La commercialisation de plantes aromatiques et champignons est légiférée par l'arrêté royal du 31 Aout 2021 (*ARRETE ROYAL du 31 AOUT 2021 / SPF Santé publique, s. d.*). La loi définit **une plante dangereuse**, terme couvrant à la fois les plantes aromatiques et les champignons, **comme étant une plante impropre à la consommation**. Il est interdit de mettre en commerce en purs ou incorporés à des denrées :

- Les plantes reprises dans la liste 1 des plantes dangereuses de l'annexe de l'Arrêté
- Les champignons non repris dans la liste 2 des champignons comestibles de l'annexe de l'Arrêté

L'annexe de l'arrêté est disponible [ici](#).

PRÉTRAITEMENT

Le prétraitement des plantes aromatiques est abordé dans le cahier des Charges du Syndicat des Simples (Syndicat des Simples, 2021). Selon les variétés, les prétraitements peuvent être réalisés avant ou après séchage :

- **Effeuilage** : Effeuille à l'état frais, lorsque la feuille seule est demandée, pour éviter les échanges de sève entre la feuille et la tige, ce qui accélère le séchage. Être délicat avec les plantes à huile essentielle (menthe, mélisse, verveine, etc).

- **Mondage** : Faire tomber les feuilles en les frottant à la main ou sur tamis. Le mondage est réalisé sur les plantes sèches à petites feuilles (Origan, Marjolaine, Thym, etc).
- **Tri** : Eliminer les éléments étrangers à la plante (autres herbes, feuilles, bois, terre, insectes, etc.), par tamis ou sasseur pour les plus grandes quantités.
- **Tronçonnage ou broyage** : Réduire de taille à l'état frais ou sec, avec un hachoir à persil, ciseaux, sécateur, cisailles, hache-paille ou coupe-ortie, moulin à grain, robot-cutter ou moulin à café.
 - Dans certains cas (Mélisse, Basilic, etc.), cette technique facilite l'évaporation d'eau lors du séchage.
 - Afin d'obtenir un produit homogène, ne pas laisser trop d'éléments ligneux, ni trop de tiges par rapport aux feuilles, ni trop de feuilles non broyées



FIGURE 29.
Table de tri pour
plantes séchées.

Le prétraitement de certains champignons lors de la cueillette est décrit dans [la fiche de Biopterre](#).

Avant de sécher les champignons, il convient de les trancher : l'épaisseur recommandée est 4 à 5 mm pour la plupart des champignons mais certains comme le bolet à pied creux peuvent être tranchés plus larges (7 à 9 mm). Certains champignons sont également souvent séchés entiers, tel que c'est le cas pour la chanterelle, la morille ou encore les trompettes de la mort (Biopterre, s. d.). Pour le tranchage, une trancheuse à œuf peut être employée mais elle doit être assez large pour contenir le champignon et en inox pour résister à la pression et ne pas s'oxyder dans le temps.



FIGURE 30. Trancheuse
à champignon
(©Rosenstein&Söhne)

MAITRISE DU SÉCHAGE DES PLANTES AROMATIQUES ET DES CHAMPIGNONS

La maîtrise du séchage de plantes aromatiques et des champignons passe par les mêmes paramètres que pour les fruits :

1. Quantité initiale et finale d'eau dans le produit
2. Température de séchage
3. Temps de séchage

La quantité initiale d'eau dans le produit correspond à l'humidité en base humide. Pour connaître la quantité finale d'eau dans le produit, on emploie la notion de ratio de séchage (voir chapitre 3. Maîtrise du séchage).

! **Pour la conservation des plantes aromatiques séchées, on vise 12% d'humidité finale en base humide pour les plantes, 8% pour les racines et 5% pour les feuilles.**

! **Pour la conservation des champignons séchés, on vise 7% d'humidité finale.**

Le tableau ci-après présente les ratio ou temps de séchage des principales plantes aromatiques, disponibles dans la littérature (Carron et al., 2018; Publications - iteipmai, s. d.).

- Veiller à ce que les plantes ne s'échauffent pas : le broyage peut aussi détériorer la plante. L'idéal est de broyer après séchage, avant conditionnement !

Tous ces traitements peuvent être réalisés sur une **table de tri**. Pour avoir de l'espace de manipulation en plus des claies, la table doit faire 1,5 fois la surface des claies de séchage, soit en général 1,5m² pour des claies standards de 1 m². Les rebords doivent faire au moins 10 cm de haut pour pouvoir empiler les claies. La table peut être autoconstruite en OSB ou achetée en inox.

NOM VERNACULAIRE	NOM LATIN	PARTIE CONSIDÉRÉE	T° SÉCHAGE	TEMPS	 INITIALE (%)	 FINALE (%)	RATIO DE SÉCHAGE	OBSERVATIONS
ACHILLÉE MILLEFEUILLE	<i>ACHILLAE MILLEFOLIUM</i>	Partie aérienne	35 à 40°C	48 h	/	5 à 8 %	3,3	/
ANETH	<i>ANETHUM GRAVEOLENS</i>	Sommité fleurie, Fleur	80°C, 45°C max	/	/	10 %, 12 %	6,2	/
AVOINE	<i>AVENA SATIVA</i>	Partie aérienne	40°C	Moins de 48 h	88%	10%	/	/
BALLOTE FÉTIDE	<i>BALLOTA NIGRA</i>	Partie aérienne	35 à 40°C	/	/	/	/	Tronçonnage préalable (hache paille)
BARDANE	<i>ARCTIUM MAJOR</i>	Racine	35 à 45°C	/	/	10%	/	Lavée et coupée (tronçons 2 à 3 cm) avant séchage
BASILIC	<i>OCIMUM BASILICUM</i>	Partie aérienne	40°C maxi	/	82 - 89%	13 %, 10 %	5	Température plus élevée entraîne un noircissement des feuilles
BLEUET	<i>CENTAUREA CYANUS</i>	Capitule	Jusqu'à 55°C	/	/	/	/	Aussitôt la récolte ; séchage délicat
BOURRACHE	<i>BORAGO OFFICINALIS</i>	Sommité fleurie	35 à 40°C	/	/	9%	/	Séchage aussitôt la récolte faite
CAMOMILLE	<i>ANTHEMIS NOBILIS</i>	Capitule	40°C maxi	/	75 - 84%	10%	2,9	/
CARVI	<i>CARUM CARVI</i>	Fruit	40°C maxi	/	/	12 %, 13 %	/	Humidité des fruits à la récolte = 20 %
DIGITALE LAINEUSE	<i>DIGITALIS LANATA</i>	Feuille	Jusqu'à 80°C	/	/	6%	/	Traditionnellement = 30°C
ESTRAGON	<i>ARTEMISIA DRACUNCULUS</i>	Partie aérienne	55 à 75°C	/	74%	7%	2,5	Température plus élevée en début de séchage
FENOUIL DOUX	<i>FOENICULUM DULCE</i>	Fleur, Racine	35 - 45°C	/	/	8%	/	Lavée et coupée avant séchage
GUIMAUVE	<i>ALTHAEA OFFICINALIS</i>	Partie aérienne	40°C	3 jours	/	6%	3,50	/
LIVÈCHE	<i>LEVISTICUM OFFICINALE</i>	Feuille, Racine	35 à 60°C	/	/	6 - 8 %	4,00	Lavée et coupée pour faciliter le séchage
MATRICAIRE	<i>MATRICARIA CHAMOMILLA</i>	Sommité fleurie, Capitule	35 à 45°C	/	/	/	/	Séchage doit être rapide, capitule poursuit maturation (graines)
MÉLISSE	<i>MELISSA OFFICINALIS</i>	Partie aérienne	20 à 30°C	2 à 5 jours	63-82%	11 à 12 %	2,9	/

MENTHE POIVRÉE	<i>MENTHA PIPERITA</i>	Partie aérienne	45°C maxi	/	74-87%	13 à 14 %, 11 %	3,3	Feuilles noircissent à T° supérieure
MILLEPERTUIS	<i>HYPERICUM PERFORATUM</i>	Partie aérienne	30 à 40°C	3 à 7 jours	/	5 à 8 %	/	Coupée avant séchage (1 cm)
ORIGAN	<i>ORIGANUM VULGARE</i>	Partie aérienne	30 à 40°C	/	74-78%	10%	2,5	/
ORTIE	<i>URTICA DIOICA</i>	Partie aérienne	35 à 45°C	2 à 5 jours	/	5 à 8 %	8	/
PERSIL	<i>PETROSELINUM SATIVUM</i>	Feuille	100°C puis 50°C	/	82-83%	10 à 13 %	4	T° basse altère arôme
PETITE ABSINTHE	<i>ARTEMISIA PONTICA</i>	Partie aérienne	30 à 35°C	/	72%	/	2,5	Perte en huile essentielle à T° supérieure
PILOSELLE	<i>HIERACIUM PILOSELLA</i>	Plante entière	40°C	/	/	/	/	Nettoyage préalable
PYRÈTHRE DE DALMATIE	<i>CHRYSANTHEMUM CINERARIAEFOLIUM</i>	Capitule	Jusqu'à 80°C	/	/	10%	/	Fanage préalable à < 40°C
REINE DES PRÉS	<i>SPIRAEA ULMARIA</i>	Partie aérienne	40°C	/	70-80%	12%	2,5	Séchage aussitôt la coupe
ROMARIN	<i>ROSMARINUS OFFICINALIS</i>	Partie aérienne	30 - 40°C	/	70%	11 %, 10 %	2,2	/
RUE OFFICINALE	<i>RUTA GRAVEOLENS</i>	Partie aérienne	35 à 40°C	/	/	/	/	Tronçonnage préalable pour faciliter séchage
SAFRAN	<i>CROCUS SATIVUS</i>	Stigmate	30 à 35°C	/	/	12%	5,2	Séchage en couche mince (étuve)
SOUCI DES JARDINS	<i>CALENDULA OFFICINALIS</i>	Capitule	45°C (maxi 60°C)	/	/	13%	7,5	Aussitôt la récolte ; séchage délicat
THYM	<i>THYMUS VULGARIS</i>	Partie aérienne	30 - 40°C	/	72-75%	12 %, 10 %	2,5	/
TRÈFLE ROUGE	<i>TRIFOLIUM PRATENSE</i>	Partie aérienne	Phase 1: 25 à 35°C Phase 2: 35°C Phase 3: 35 à 20°C	/	/	/	/	/
VALÉRIANE	<i>VALERIANA OFFICINALIS</i>	Racine	40°C maxi	7 jours	/	15%	3,7	Lavée avant séchage
VERVEINE ODORANTE	<i>LIPPIA CITRIODORA</i>	Partie aérienne	40°C	/	72-80%	10%	3,7	/

Le temps de séchage des champignons est de 24 à 48h, suivant les phases (Biopterre, s. d.) :

1. Pré séchage de 6 à 8h à grande ventilation à 20 à 27°C
2. Augmentation progressive de la température pendant 12 à 36h selon les espèces jusqu'à 40°C
3. Finition du séchage 5 à 6h à 48°C pour tuer les parasites éventuels

Le séchage des plantes aromatiques et des champignons est terminé lorsque :

- La masse finale de séchage est atteinte :
 - ex. pour 5 kg de basilic frais, il ne doit en rester qu'un seul (ratio de 5)
 - ex. pour 1 kg de champignon frais, on passe de 90 à 7% d'humidité :

$$X_{wb,initiale} = 0,9 \rightarrow X_{db,initiale} = \frac{0,9}{1-0,9} = 9$$

$$X_{wb,finale} = 0,07 \rightarrow X_{db,finale} = \frac{0,07}{1-0,07} = 0,075$$

$$\text{Ratio de séchage} = \frac{9}{0,075} = 9,3$$

- Donc avec 1 kg de champignon frais, il reste 1/9,3 kg soit 75 g de champignon séché
- La température en sortie de séchoir égale celle en entrée (plus d'absorption d'eau)
- La plante est soit friable (bruit de « sec »), soit n'est plus huileuse quand on la comprime si elle en contient de base soit ne rend plus d'eau résiduelle si la plante est à l'origine aqueuse.

SÉCHOIR

Il existe deux modèles de séchoir : **le séchoir en claie et en masse**, qui peuvent également se décliner selon différentes caractéristiques.

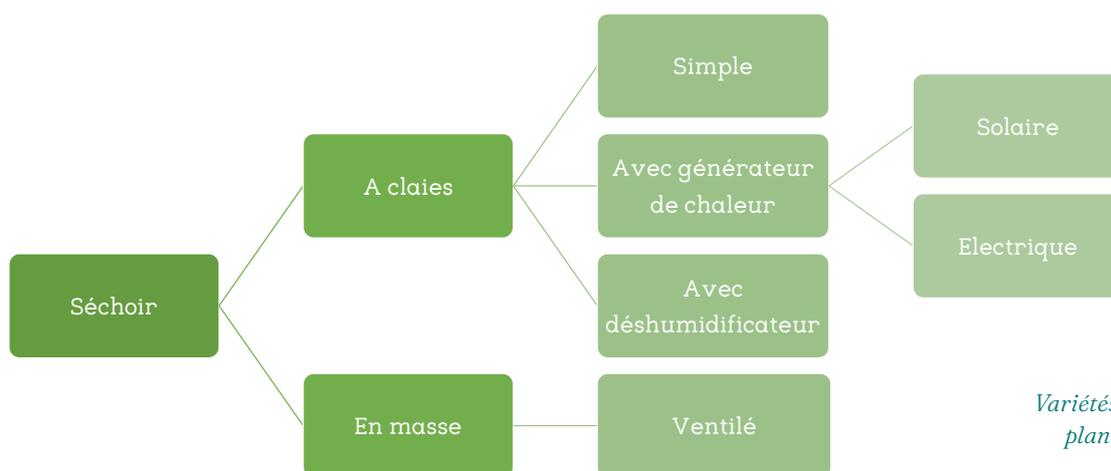


FIGURE 31.
Variétés des séchoirs pour plantes aromatiques et champignons.

Le **séchoir à claie** consiste à répartir la masse à sécher sur différents étages tandis que le **séchoir en masse** est constitué d'un grand caisson contenant la masse totale.

? Pourquoi sécher en claies ou en masse ?

Intérêt des claies :

- Eviter le contact avec le sol (ventilation)
- Sécher plusieurs plantes en même temps, en faisant attention aux mélanges d'odeur/de propriété
- Gérer les plantes de manière individuelle, en continu

! **Eviter de placer des claies nouvellement chargées dans une armoire contenant des claies en fin de séchage, afin de ne pas ré-humidifier ces dernières.**

! **Ne pas couvrir totalement les claies avec les plantes mais éviter l'effet « cheminée » : ne pas avoir un chemin préférentiel de l'air si les plantes sont mal réparties**

Intérêt de sécher en masse :

- Sécher une grande quantité de plantes en une fois
- Moins de manutention car pas de claies à intervertir
- Mais plus de consommation énergétique et perte de couleur/aromatique.
- On préférera donc **le séchoir à claie** au niveau artisanal.

? Quel séchoir prendre pour quel volume ?

Si le projet fait moins de 100 kg/an, il y a peu d'intérêt à investir plus de 1800€ dans le séchoir. **Une simple armoire à claie peut convenir.** Dans cette armoire, l'air monte naturellement par convection à travers une ouverture sur le bas de l'armoire, absorbe l'humidité des plantes et ressort par une ouverture sur le dessus, **par convection naturelle.**



FIGURE 32.
Séchoir de la Ferme de
Poteaupré (Ateliers de
l'Albatros).

Si le projet fait plus de 100 kg/an, il est recommandé d'investir dans un équipement plus performant et donc potentiellement plus onéreux. Il peut être nécessaire de prévoir un système avec ventilation active, déshumidificateur et/ou chauffage si nécessaire. **C'est donc une convection forcée.**



FIGURE 33.
Séchoir des Ateliers de la Framboiserie (Malmedy).

? Comment concevoir son séchoir à claies ?

Voici les points d'attention pour la conception d'un séchoir :

- Construction en OSB : « écologique », étanche à l'air, bon marché
- Surfaces lisses et lavables : peintures alimentaires : poly époxyde en version de synthèse ou aglaïa, galtane, biofa en naturel
- Claies de 1 m² avec toile tendue alimentaire (coton, étamine, Polyamide de qualité oeko-test) avec un espace entre chaque claie de 10 à 30 cm

Le **nombre de claie** dépend du type de plante et de la variété :

PAR TYPE DE PLANTE : 1 M² DE CLAIE SUFFIT POUR

PAR VARIÉTÉ : 1 M² DE CLAIE SUFFIT POUR

0,3 à 1 kg de fleurs fraîches

0,5 à 0,8 kg de basilic, bleuet, camomille, estragon, fenouil feuille, ronce pousse, pensée, sauge, souci, etc

1 à 2 kg de sommités fleuries/parties aériennes fraîches

1 à 1,5 kg d'eupatoire, framboisier, menthe, mélisse, sureau

3 à 5 kg de tronçons de racine

Plus de 1,5 kg de cynorhodon, romarin, sarriette, thym

En moyenne, 1 m² de claie suffit pour sécher 1 kg de plante fraîche

Le séchoir peut également avoir :

- Un déshumidificateur et/ou d'une source de chaleur
- Un thermomètre et hygromètre dans le séchoir
- Un ventilateur axial (hélicoïde) : vitesse de rotation élevée – pression faible (220V)

? Pourquoi utiliser un déshumidificateur pour sécher des plantes aromatiques ou des champignons

Un séchoir à fruit sèche à une température supérieure à la température ambiante (55-60°C) (voir le point « Maitrise du séchage »): l'air a besoin d'être chauffé pour pouvoir absorber davantage d'humidité. Il faut donc un séchoir qui chauffe l'air et qui l'élimine.

Un séchoir à plantes aromatique/champignons sèche à une température proche de la température ambiante (< 50°C) car les plantes sont plus fragiles que les fruits et l'on souhaite en conserver les composés volatiles et aromatiques. Pour cette même raison, l'air est recirculé : il ne peut donc pas être chauffé et on doit le sécher pour qu'il puisse réabsorber l'eau des plantes lors de la recirculation. C'est pour cela que l'utilisation d'**un déshumidificateur** est pertinente, afin de sécher l'air et de le recycler. Afin d'évacuer l'air, **un ventilateur** peut également aider.

? Où placer mon déshumidificateur ou mon ventilateur ?

Naturellement, l'air ambiant « chaud » monte et se charge en humidité, il faut donc prévoir dans l'armoire au minimum une entrée d'air par le bas (un trou) et une sortie en haut. Si on utilise uniquement un déshumidificateur sans ventilateur, il faut donc le mettre en bas. On peut rajouter en plus une ventilation pour faciliter la montée de l'air, il convient d'en mettre un à l'entrée qui pousse l'air dans la chambre : attention à ne pas en prendre un trop puissant pour ne pas faire tout voler sur les claies.

On peut également faire recirculer l'air : cela permet de davantage garder les composés aromatiques. Mais comme on récupère le même air à chaque fois, il faut le décharger de l'humidité qu'il aura pris aux plantes, raison pour laquelle il faut un déshumidificateur, à placer avant le ventilateur dans la boucle.

Si on met uniquement un déshumidificateur sans faire recirculer l'air, il faut le mettre en bas avant le ventilateur qui pousse l'air dans le séchoir.



FIGURE 34. Circulation de l'air dans un séchoir avec ventilateur et déshumidificateur : en rouge, l'air sec et en bleu, l'air humidifié.

? Quel déshumidificateur ventilateur choisir ?

Le déshumidificateur fonctionne comme un frigo : il refroidit l'air humidifié avec un fluide réfrigérant et condense son eau pour l'assécher. L'eau condensée liquide est évacuée par un tuyau hors du séchoir.

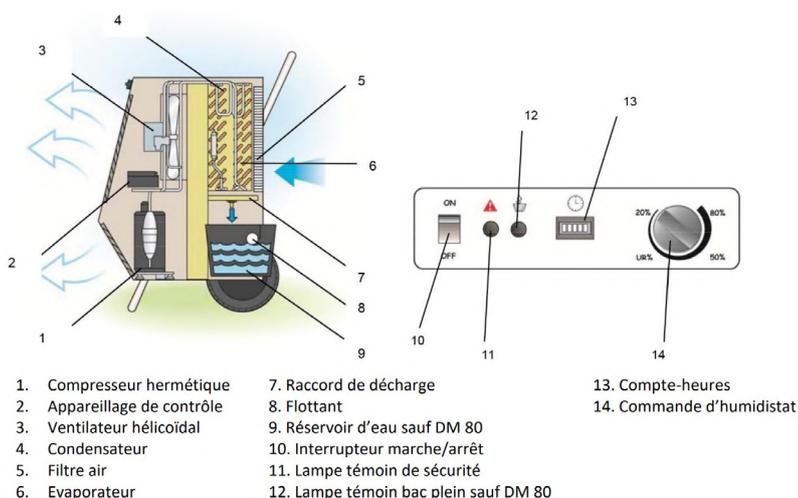


FIGURE 35. Fonctionnement d'un déshumidificateur (©SPlus)

- En température moyenne, il n'est pas nécessaire de chauffer l'air. En hiver, si la température de l'air est inférieure à celle du réfrigérant, il faut réchauffer l'air en amont du déshumidificateur pour qu'il puisse le sécher.

Le choix du déshumidificateur dépend de :

- Sa puissance (kW)
- Sa capacité de déshumidification (nombre de litres par jour)

Le choix du ventilateur est principalement dépendant de son débit de renouvellement de l'air (m³/h).

Pour connaître les caractéristiques de déshumidification et de ventilation nécessaire à votre cas, vous pouvez employer l'[outil de dimensionnement](#) disponible sur le site de DiversiFerm.

? Puis-je utiliser un séchoir solaire ?

Le **séchoir solaire** est basé sur le même principe que l'armoire à claie simple (voir Figure 32), à la différence que l'air qui rentre à la base de l'armoire est réchauffé par le soleil via une lame de verre foncée qui en concentre les rayons. Sur le côté inférieur de l'arrivée d'air, il y a un isolant pour que l'air qui passe entre l'isolant et le verre prenne au maximum les calories transmises par le rayonnement.

Si le séchoir solaire est efficace en journée pour évaporer, en nuit, le système peut refroidir et donc, l'eau à l'intérieur du séchoir peut condenser et donc réhumidifier les plantes en cours de séchage. La solution consiste à conserver la chaleur de la journée le plus longtemps possible durant la nuit pour éviter la réhumidification. Pour ce faire, il existe deux solutions :

- Fermer l'entrée d'air
- Introduire une masse avec une grande inertie thermique dans le plenum (bas du séchoir) pour garder la chaleur : briques, pierres, etc

L'ensoleillement relatif en Belgique et les chaleurs moyennes rendent l'utilisation d'un séchoir solaire en production professionnelle laborieuse !

STOCKAGE ET CONDITIONNEMENT

Les plantes aromatiques doivent être stockées immédiatement après séchage pour éviter les parasites, l'éventage et la reprise d'humidité. Le stockage doit être fait dans une pièce au maximum à 50% d'humidité à 20°C et en hauteur, pour éviter les rongeurs. On peut éventuellement congeler les plantes 1 à 2 j avant conditionnement si elles sont sensibles au parasitage (larves de mite déjà présentes). Le conditionnement se fait habituellement en sac Kraft de 50 à 70 l, lui-même à stocker dans un futs alimentaire en carton.

Les champignons séchés peuvent se conserver dans des sachets plastiques alimentaires de 0,4 mm (Biopterre, s. d.).

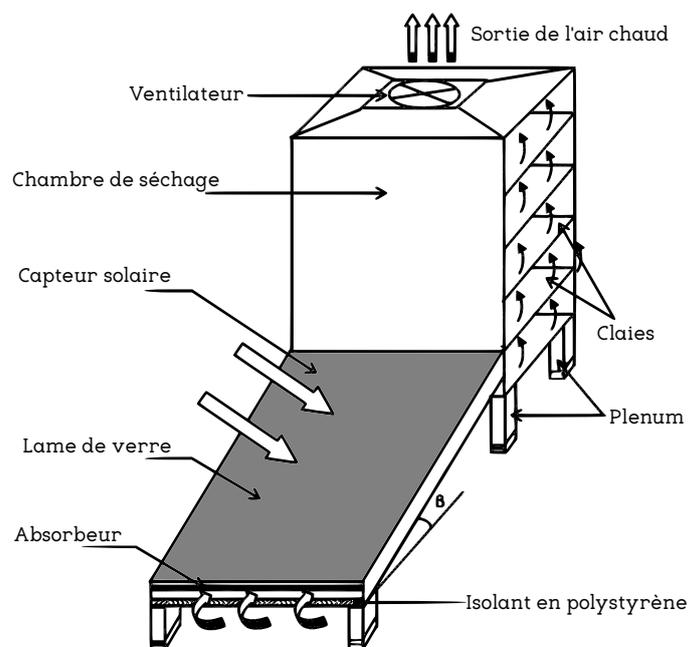


FIGURE 36.
Schéma de fonctionnement
d'un séchoir solaire.



FIGURE 37.
Sac et fût en papier kraft
(©Manutan)

7. Bibliographie

ARRETE ROYAL du 31 AOUT 2021 / SPF Santé publique. (s. d.). Consulté 7 octobre 2024, à l'adresse <https://www.health.belgium.be/fr/version-consolidee-arrete-royal-du-29-aout-1997>

Biopterre. (s. d.). *Guide de séchage des champignons*. Consulté 9 octobre 2024, à l'adresse <https://www.biopterre.com/wp-content/uploads/2016/10/guide-transformation-champignons.pdf>

Carron, C.-A., Baroffio, C., Vouillamoz, J., & Bovey, M. (2018). *Calendula officinalis au Pays d'Enhaut, Jardins des Monts à Rossinières (VD)*.

Defraeye, T. (2017). Impact of size and shape of fresh-cut fruit on the drying time and fruit quality. *Journal of Food Engineering*, 210, 35-41. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.04.004>

ElGamal, R., Song, C., Rayan, A. M., Liu, C., Al-Rejaie, S., & ElMasry, G. (2023). Thermal Degradation of Bioactive Compounds during Drying Process of Horticultural and Agronomic Products : A Comprehensive Overview. *Agronomy*, 13(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/agronomy13061580>

Mihoubi, D. (2011). *Séchage des Milieux Déformables*. <https://doi.org/10.13140/2.1.2766.4327>

Publications—Iteipmai. (s. d.). Consulté 9 octobre 2024, à l'adresse <https://www.iteipmai.fr/nos-publications>

Règlement—1333/2008—EN - additifs—EUR-Lex. (s. d.). Consulté 26 septembre 2024, à l'adresse <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex%3A32008R1333>

Should You Peel Your Fruits and Vegetables? (2017, décembre 9). Healthline. <https://www.healthline.com/nutrition/peeling-fruits-veggies>

Syndicat des Simples. (2021). *Cahier des Charges des Plantes aromatiques et médicinales*. <https://www.iteipmai.fr/nos-publications>