



# LE CONDITIONNEMENT DE L'AIL

Par :

Bruno Garon, ing. MAPAQ Montérégie

Julien Cormier, ing. MAPAQ Chaudière-Appalaches

2023-02-01

Inspiré de :

Clément Vigneault PhD, ing.

Votre  
gouvernement

Québec 

## Plan présentation

- Problématique en séchage passif
- Conditionnement à air forcé
- Exemple d'installation et dimensionnement
- Instrumentation et contrôle
- Conditions d'entreposage recherchées

## Problématiques du séchage passif

- Coups de soleil
- Aucun contrôle sur les paramètres (HR, T°)
- Temps de manutention élevé



Images: Crystal Stewart, Cornell University Cooperative Extension



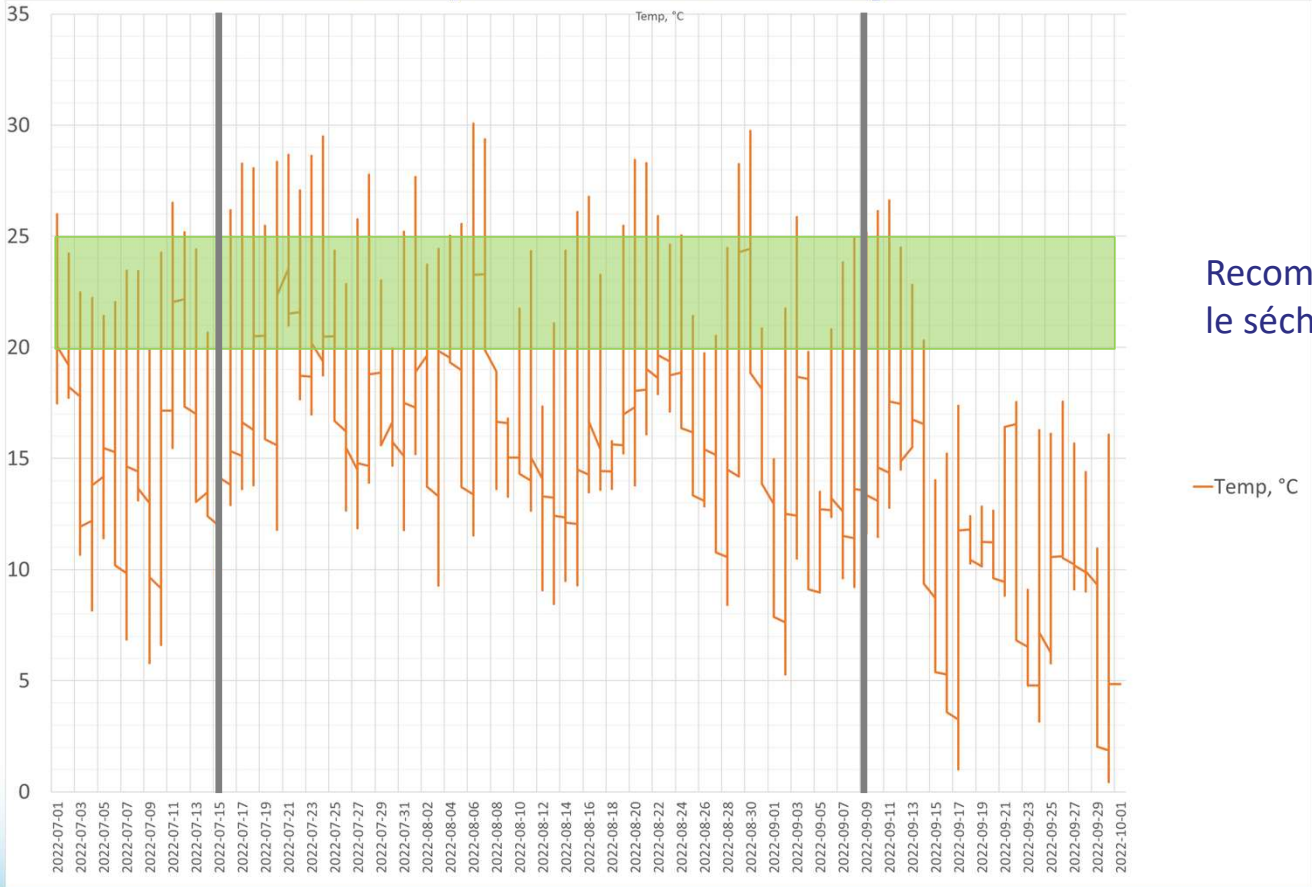
Crédits photo : Colombe Cliche-Ricard, agronome



Crédits photo : CAE Estrie, 2015



# Variations de la température extérieure (juillet à octobre 2022, Saint-Camille)



Recommandations pour le séchage : 20 à 25 °C



# Variations de l'humidité relative extérieure (juillet à octobre 2022, Saint-Camille)



Recommandations  
lors du séchage :  
HR = 50 à 60 %



## Séchage passif

- Résultats variables d'une année à l'autre
    - Dépendant des conditions météo
    - Aucun ou peu de contrôle sur T° ou HR
  - Ventilation inadéquate + Air extérieur trop humide
    - Peu de séchage ou séchage lent
  - Fluctuations de température
    - Risque de condensation sur les bulbes d'ail
- ➔ Le risque de développement des maladies est élevé, car l'inoculum est présent sur les bulbes.
- ➔ Les maladies fongiques sont les principaux facteurs de détérioration en entrepôt.

## Conditionnement en séchoir à air forcé

### Objectif :

- ✓ Assurer une ventilation adéquate, uniforme et suffisante
  - ✓ Minimiser l'espace requis
  - ✓ Ail de qualité exempt de maladie (le + possible)
  - ✓ Résultats constants
- 
- Contrôler les paramètres T° et HR
  
  - Essentiel d'enlever le plus de terre possible au champ lors de la récolte

## Traitement thermique (TT)

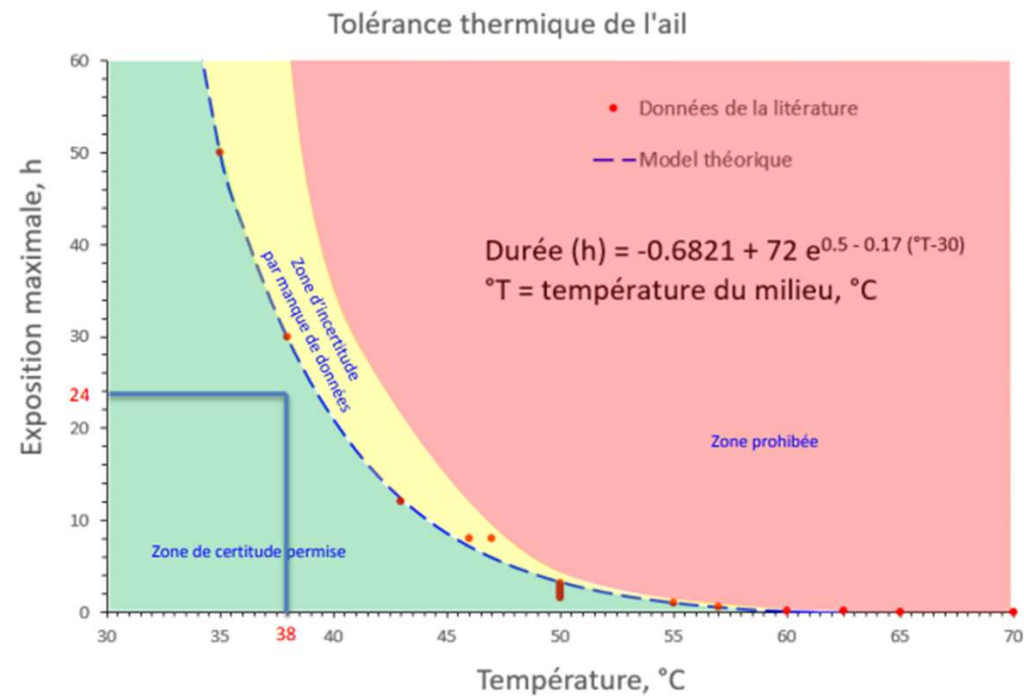
- Objectif : réduire le développement des maladies comme *Botrytis spp*, *Embellisia spp.*, *Alternaria spp.* (et *Fusarium spp*). (CRAAQ, 2020)
- Utiliser de l'air chauffé.
  - Réchauffement rapide (4 à 8h) du produit
  - Maintien de la T° cible sur une courte période (18 à 48 h)
- Aucun essai scientifique n'a démontré la technique au Québec.
  - Technique basée sur les travaux de Clément Vigneaut, ingénieur postrécolte, suite à une revue de littérature par Ail Québec en 2018.
  - En pratique, les producteurs qui appliquent le traitement thermique ont une bonne conservation de leur ail





# Traitement thermique

- Courbe de tolérance thermique (Vigneault, 2018, non publié)
- En théorie, l'ail serait résistant à 40 °C pendant 18 h et 47 °C pendant 8 h selon



Clément Vigneault, ing. PhD (2018).

## Séchage

- Enlever l'excès d'eau que l'ail contient pour lui permettre de se conserver longtemps.
- Recherche à obtenir un bulbe avec plateau racinaire bien sec.
- La perte de poids après séchage est d'environ 30% à 40%.

(Cantwell, 2016; ASHRAE, 2010; Gross, 2016)

- L'ail est considéré sec lorsqu'il ne perd pas plus de 0.2 % de sa masse sur une période de 48 h de séchage en conditions contrôlées. (2 g / kg)



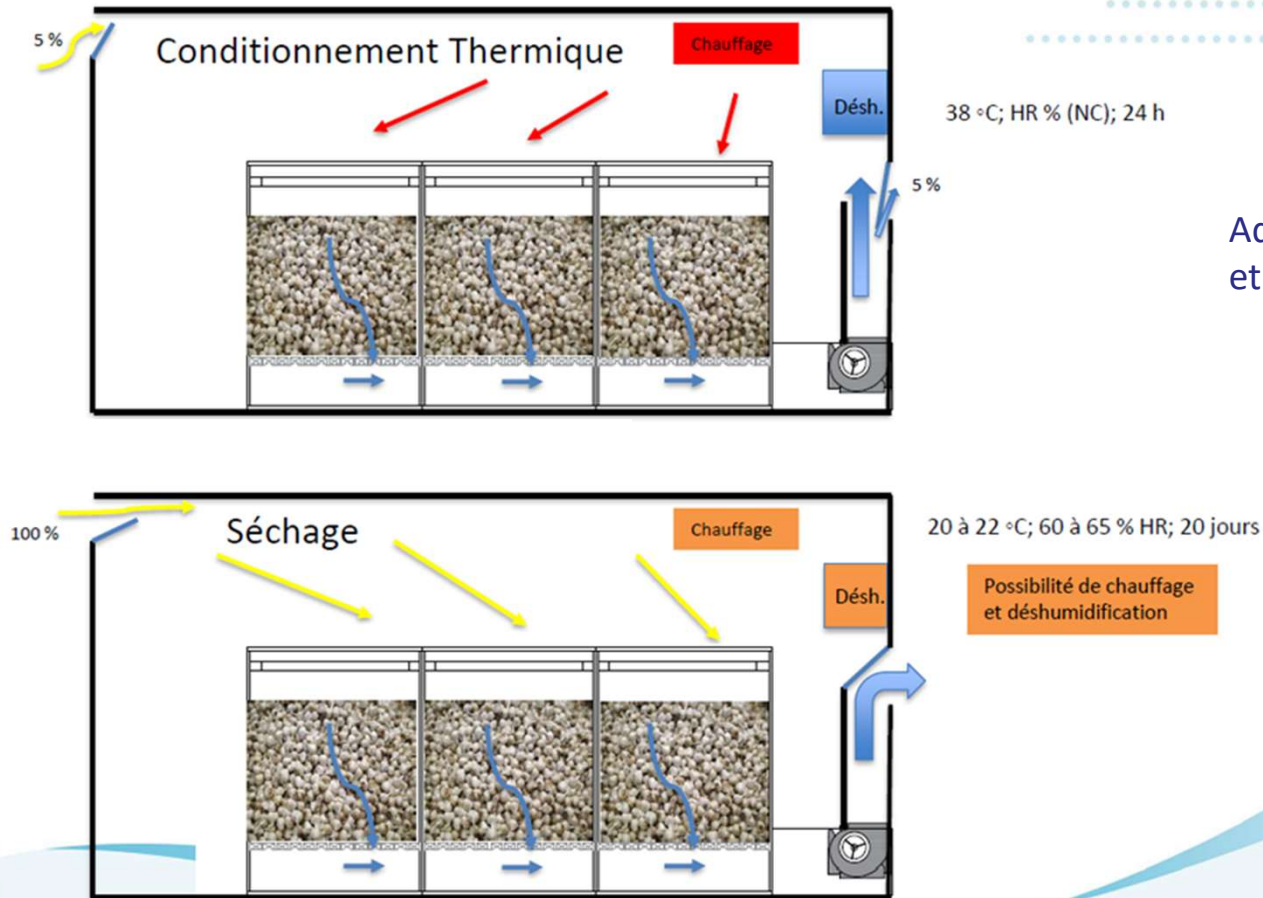
## Conditions recherchées

- La durée du TT varie selon la température
- La température pour un TT efficace dépend des pathogènes à contrôler.

Tableau 6.1 Résumé des conditions optimales de séchage à air forcé

Procédé	Durée totale et température du procédé	Délai pour atteindre la température du procédé	Débit d'air utilisé (L/minute/kg d'ail)	Humidité relative
Traitement thermique	48 h à 35°C	8 h	18	Non contrôlée
	24 h à 38°C	6 h	23	
	20 h à 40°C	4 h	28	
Séchage	15 à 25 jours entre 20 et 25°C	Non contrôlé	16	50 % à 60 %

# Séchoir à air forcé : principes et composantes



Adapté de Vigneault (2019)  
et Bédard (2020)



## Séchoir à air forcé : principes et composantes

- Le système peut être en pression positive ou négative
  - Pression négative permet généralement une meilleure uniformité du débit d'air dans la masse d'ail. (CRAAQ, 2020)
- Le séchoir doit donner sur un mur extérieur afin de permettre des échanges d'air.
- Isolation des murs (R=10 min.) et plafond (R=15 min.) du séchoir nécessaire si  $\Delta T > 5 \text{ }^\circ\text{C}$  (int. vs ext.). (Bédard,2020)



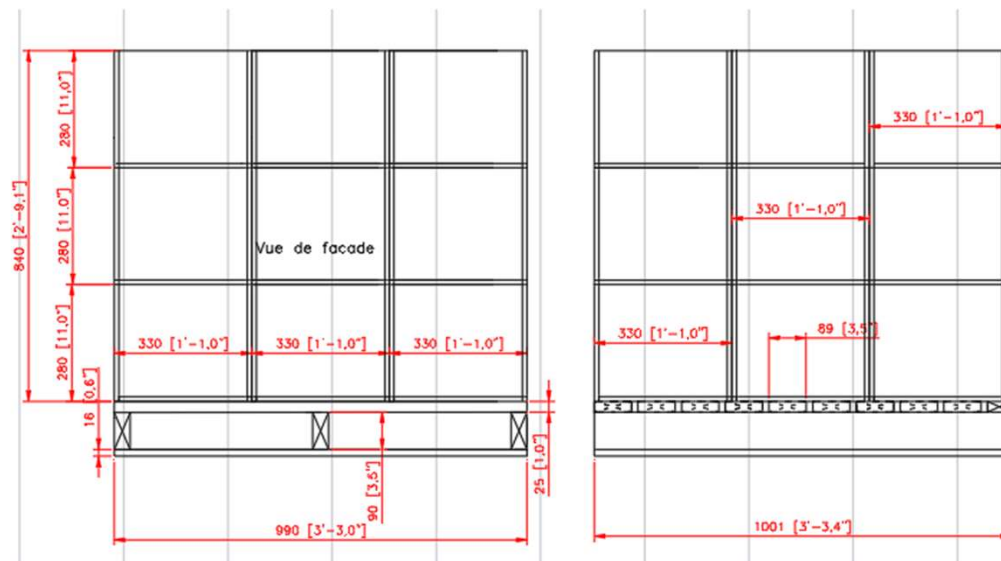
## Caractéristiques de l'ail et design séchoir

- Masse volumique de l'ail humide (65 % humidité) : 578 kg/m<sup>3</sup>
- Hauteur max. des bulbes de 90 cm ( $\pm 35 \frac{1}{2}$ "") pour éviter blessure due à leur poids (CRAAQ, 2020)
- Hauteur maximale d'un empilement de bacs max. 1.5 m (59"")  
(CTIFL, 2012; Vigneault et coll., 2004)
- La section du plénum doit être suffisante pour que la vitesse maximale de l'air ne dépasse pas 5 m/s (984 pi/min) (MAAARO, 2014)



## Exemple : bac plastique

- Caisses à lait ou bacs de récoltes perforés enrobés de pellicule plastique
- Capacité de  $\pm 400$  kg ( $\pm 5\ 320$  bulbes)



Crédits photo : MAPAQ

## Exemple : capacité de 400 kg

- Débit du ventilateur ( $P_s = \pm 5/8''$  d'eau)
  - Traitement thermique : 392 CFM
  - Séchage : 226 CFM
- Puissance de chauffage\* : 920 W
- Capacité déshumidificateur : 14 L / jour
- Puissance de l'air climatisé : 353 W
- Hauteur min. plénum : 43 mm (1,68'')



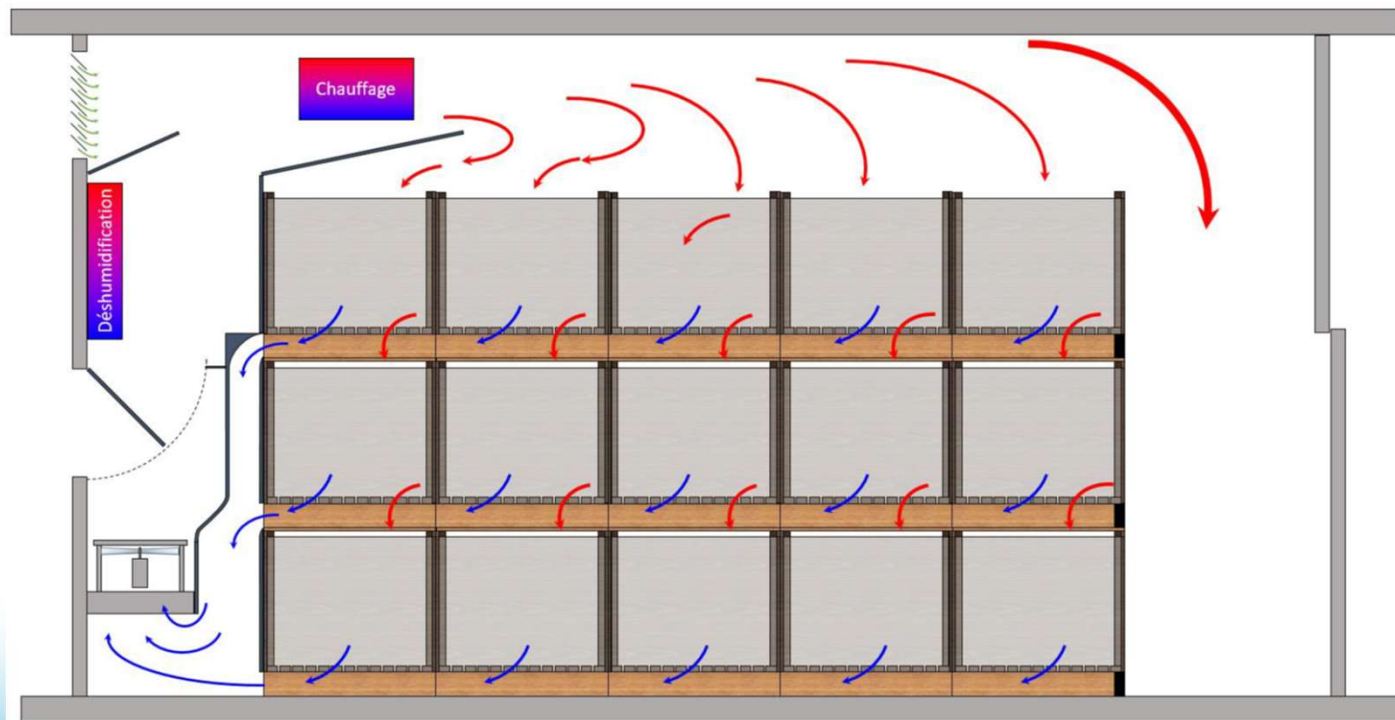
Exemple  
Déshumidificateur 16,6 L / jour

\* Ne tient pas compte du bilan thermique bâtiment



## Exemple : Système en caisse-palette (cp) ou palox

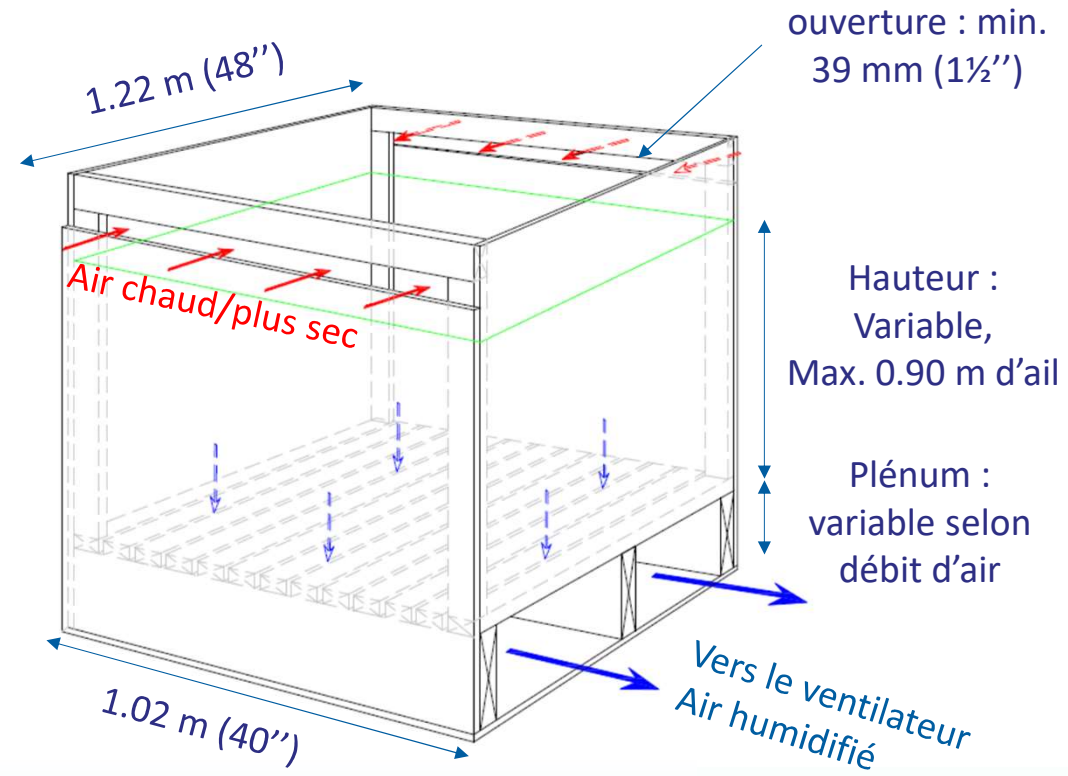
- Capacité de 7 à 8 T par ventilateur





## Caisse palette ou palox

- Étanche sur le pourtour
- Ouvertures au fond
  - Uniforme
  - 10% d'ouverture min.
  - Écartement 12 mm (½")
- ± 500 kg d'ail humide / c.p.
- ± 6 650 bulbes / c.p.





# Caisse palette ou palox

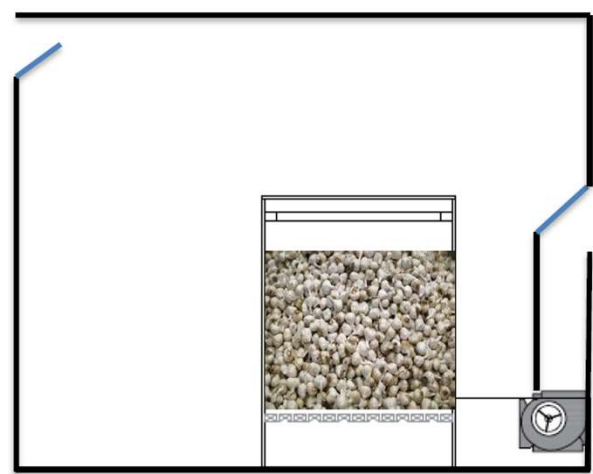






# Systeme modulaire/évolutif

An 1 : 500 kg



An 2 : 1500 kg



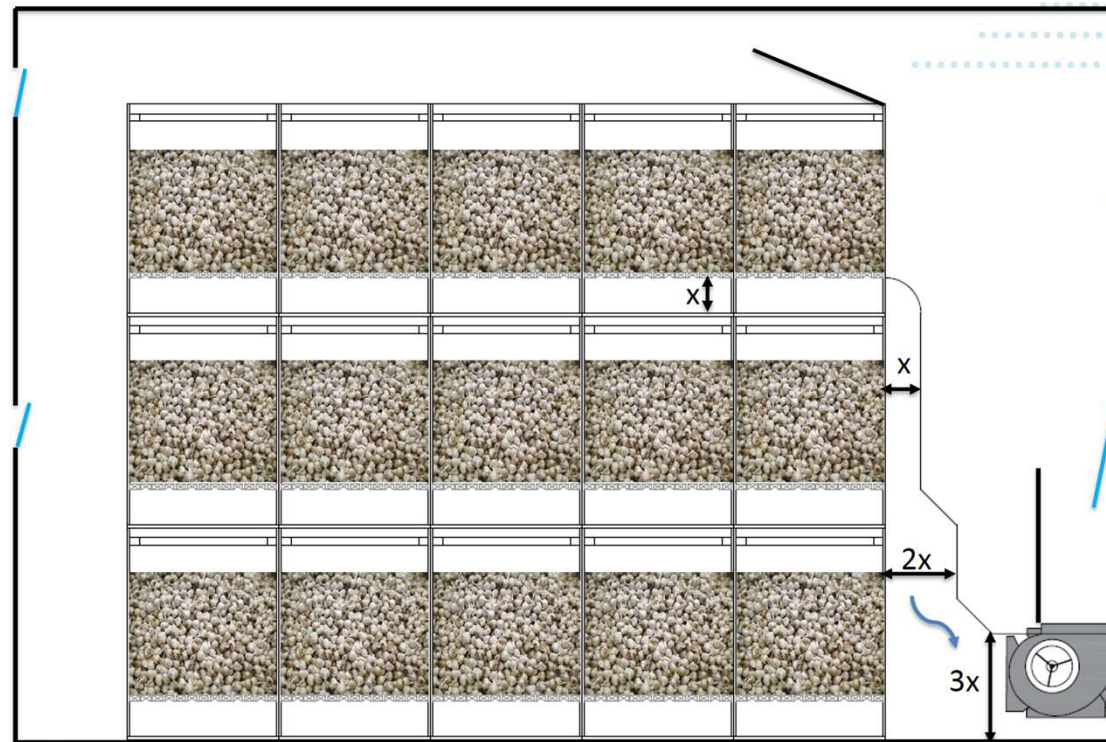
Adapté de Bédard (2020) et Vigneault 2019





# Système évolutif

Futur : 7 500 kg





## Exemple : capacité $\pm$ 21 à 24 T

- Agencement en parallèle.
- Capacité : 3 rangées x 3 c.p. de haut x 5 c.p. de long = 45 c.p.
- Polyvalence : Traitement thermique, séchoir et congélation.
- Utile pour d'autres produits en caisse.



Crédits photo : MAPAQ



## Systeme en caisse palette :

### Critères de conception :

- Espace de 600 mm ( $\pm 24''$ ) entre les rangées de caisses-palettes et avec les murs (circulation, entretien, prise de mesures).
- Espace de 150 mm ( $\pm 6''$ ) entre deux rangées.
- Espace minimal de 600 mm ( $\pm 24''$ ) au-dessus des caisses-palettes (manutention et équipements).
- Groupe maximum de 15 caisses-palettes par ventilateur. Hauteur maximale d'empilement de 3 caisses-palettes

## Exemple design par caisse palette

Nbr. de caisse palette	Hauteur théorique Plénum (po)	Choix du bois (po x po)	Hauteur réel Plénum (po)	Débit du ventilateur en T.T. (CFM)	Débit du ventilateur en séchage (CFM)	Puissance chauffage Ail (W)	Puissance climatisation Ail (W)	Déshumidification (L / jour)
1	1,8	2 x 3	2 1/2	500	288	1173	450	18
2	3,48	2 x 4	3 1/2	1000	576	2346	900	37
3	5,28	2 x 6	5 1/2	1500	865	3519	1349	55
4	6,96	2 x 8	7 1/4	2000	1152	4692	1799	73
5	8,76	2 x 10	9 1/4	2500	1441	5865	2249	92

Hypothèses : masse volumique = 578 kg/m<sup>3</sup>, dimensions c.p. = 48''x 40''x 30'', Vair < 5 m/s, Ps = 5/8'', Délai atteinte T° procédé = 4h



# Choix d'un ventilateur

- Exemple axial



	MODEL #		RPM	H.P.	dBA @ 5 ft.	CFM @ STATIC PRESSURE					
	SINGLE PHASE	THREE PHASE				0"	1/8"	1/4"	3/8"	1/2"	3/4"
12"	BTA12T10075A	BTA12T30075A*	2535	3/4	60	2100	2020	1950	1890	1800	-
	BTA12T10075B	BTA12T30075B*	2865	3/4	64	2370	2330	2240	2190	2120	1940
	BTA12T10075	BTA12T30075*	3290	3/4+	70	2720	2660	2610	2550	2500	2380
	BTA12T10200	BTA12T30200*	3645	2+	74	3020	2970	2910	2860	2810	2720
15"	BTA15T10075A	BTA15T30075A*	1850	3/4	61	2780	2640	2480	2290	2050	-
	BTA15T10075B	BTA15T30075B*	2105	3/4	66	3170	3040	2910	2710	2580	2110
	BTA15T10075	BTA15T30075*	2405	3/4	72	3620	3510	3410	3350	3150	2810
	BTA15T10100	BTA15T30100*	2660	1.0	75	4000	3910	3810	3690	3590	3320
	BTA15T10150	BTA15T30150*	3040	1.5+	81	4580	4490	4390	4330	4220	3940



# Choix d'un ventilateur

- Exemple centrifuge



Source : Jenny Leblanc, MAPAQ

Model G9, 809 & 909		SHAFT DIAMETER										MAXIMUM BHP					
		G9		809		909		3/4"		3/4"		3/4"		3		3	
CFM	OUTLET VELOCITY	1/8" SP		1/4" SP		1/2" SP		3/4" SP		1" SP		1-1/2" SP		2" SP		2-1/2" SP	
	FPM	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP	RPM	BHP
750	891	392	0.04	531	0.06	780	0.13	965	0.21	1112	0.28	1347	0.45	1541	0.63	1709	0.83
875	1040	410	0.05	537	0.08	757	0.14	960	0.23	1115	0.32	1359	0.49	1557	0.70	1728	0.91
1000	1189	438	0.07	547	0.10	749	0.16	943	0.25	1109	0.36	1365	0.55	1568	0.75	1743	0.99
1125	1337	471	0.10	562	0.12	754	0.19	918	0.27	1094	0.39	1364	0.61	1575	0.83	1754	1.06
1250	1486	506	0.13	583	0.16	760	0.23	918	0.31	1067	0.40	1357	0.67	1576	0.91	1761	1.15
1375	1635	543	0.16	611	0.19	770	0.27	923	0.35	1059	0.45	1341	0.71	1572	0.99	1763	1.26
1500	1783	581	0.21	642	0.24	783	0.32	929	0.41	1062	0.50	1315	0.74	1561	1.05	1759	1.35
1625	1932	621	0.26	675	0.29	799	0.37	938	0.47	1067	0.56	1298	0.78	1542	1.10	1750	1.44
1750	2081	661	0.32	710	0.35	821	0.43	950	0.53	1074	0.64	1298	0.86	1514	1.14	1735	1.51
1875	2229	702	0.39	746	0.42	848	0.50	964	0.60	1083	0.72	1302	0.95	1498	1.21	1712	1.57
2000	2378	744	0.46	784	0.50	877	0.58	980	0.68	1094	0.80	1308	1.04	1499	1.31	1680	1.60
2125	2527	785	0.55	823	0.59	908	0.67	1002	0.77	1108	0.90	1315	1.16	1502	1.42	1675	1.71
2250	2675	828	0.64	863	0.70	941	0.77	1028	0.88	1124	1.00	1323	1.27	1507	1.54	1676	1.85
2375	2824	870	0.75	902	0.81	976	0.89	1056	0.99	1142	1.11	1333	1.40	1513	1.68	1679	1.99
2500	2973	912	0.87	943	0.93	1011	1.01	1087	1.12	1166	1.24	1346	1.53	1521	1.84	1684	2.13
2625	3121	955	1.00	984	1.07	1048	1.15	1118	1.26	1193	1.38	1360	1.67	1530	2.00	1690	2.31
2750	3270	998	1.14	1025	1.21	1085	1.30	1152	1.42	1221	1.54	1376	1.83	1540	2.16	1698	2.50
2875	3419	1041	1.30	1067	1.37	1124	1.48	1186	1.58	1252	1.71	1393	1.99	1553	2.34	1706	2.69
3000	3567	1084	1.47	1109	1.54	1162	1.67	1221	1.76	1283	1.90	1416	2.18	1567	2.53	1716	2.90

FOR COMPLETE CFM & SP RANGE AVAILABLE  
REFER TO PERFORMANCE CURVES IN DELHI'S "OEM" APPLICATIONS GUIDELINES MANUAL

TWIN BLOWERS HAVE DOUBLE THE CFM FOR THE SAME RPM & SP AND REQUIRE DOUBLE THE BHP. CHECK FACTORY FOR MAX. BHP ON TWIN UNITS.





# Équipement de contrôle

- Paramètres à contrôler : Changement d'air extérieur, chauffage, déshumidification, climatisation, pression statique, débit du ventilateur, etc.



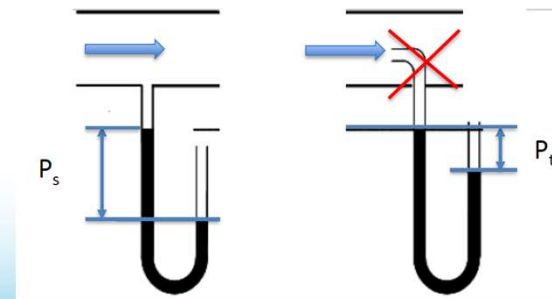
## Instrumentations

- Sonde T° et HR (pièce et dans la masse d'ail)
  - Vitesse de l'air
  - Pression statique
    - Si  $P_s$  trop élevée → obstruction; ex. trop de résidus ou de terre
    - Si  $P_s$  trop faible → manque d'étanchéité
- Écoulement préférentiel, manque uniformité

ABM-100



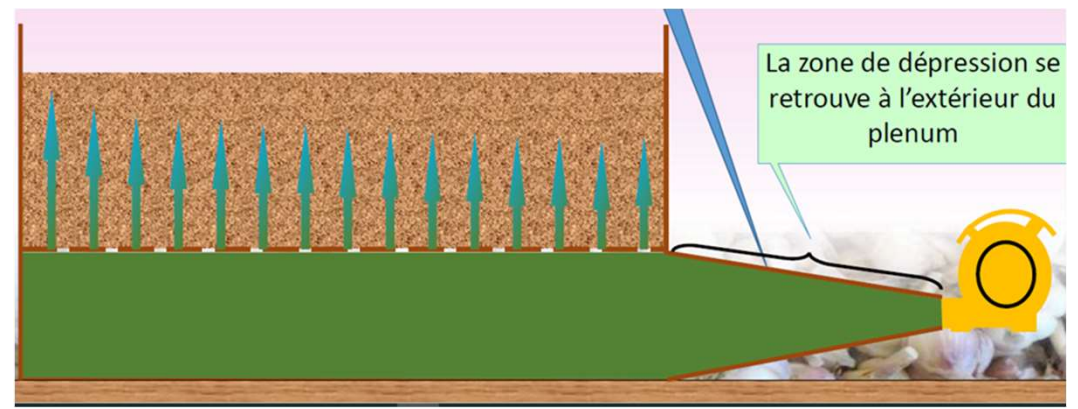
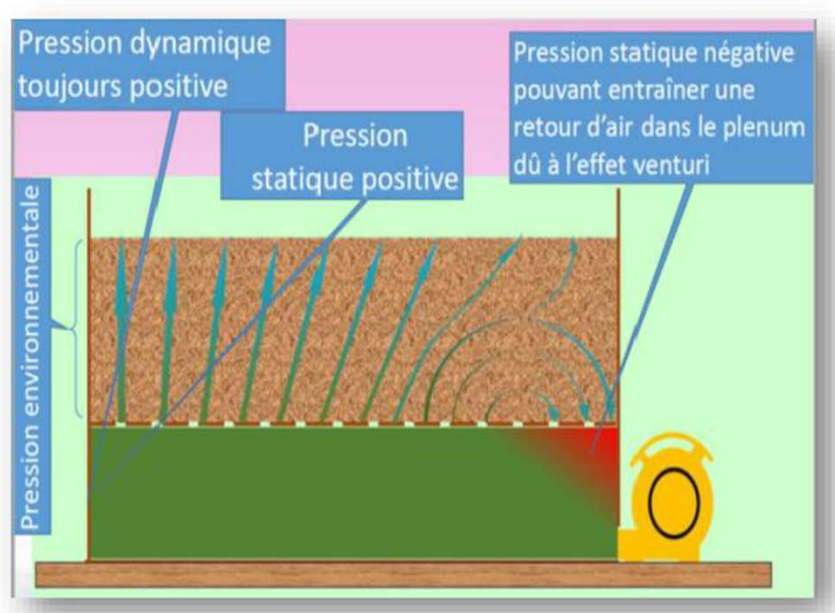
SPM-100





# Précaution pour l'uniformité : En pression positive

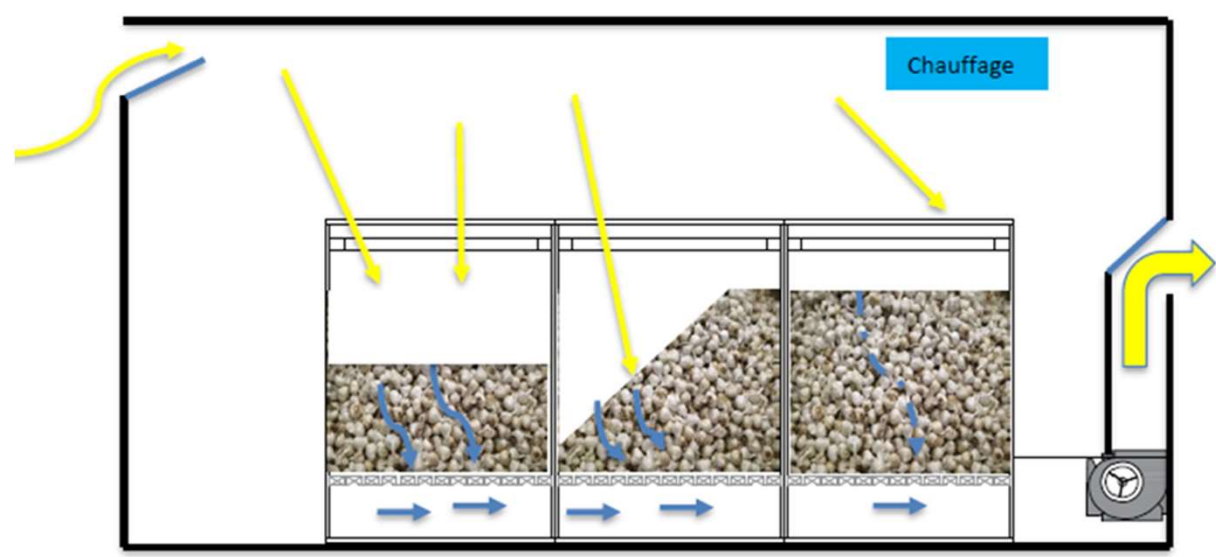
- Les conditions de pression statique doivent être uniformes.





## Précaution pour l'uniformité : En pression négative

- Attention à la répartition du produit à l'intérieur des contenants.





## Conditions entreposage

- Court terme : 1 à 2 mois (bulbes pour la plantation)
  - T° constante entre 15 et 22°C
  - HR entre 50 et 60%
  - Ventilation intermittente (ex.: 2h/6h)
  - Peut baisser graduellement la température jusqu'à 10°C pour une acclimatation à la plantation
- Moyen terme : 3-6 mois (vente avant janvier)
  - T° constante de 18 °C ( $\pm 2$ )
  - HR entre 50 et 60%
  - Ventilation intermittente (ex.: 2h/6h)
  - Conditions efficaces pour ralentir le métabolisme de l'ail.

(CRAAQ, 2020)



## Conditions entreposage

Long terme (vente jusqu'à la prochaine récolte)

- Option 1 : Froid
  - T° constante entre -1 à 0°C
  - HR entre 60 et 70%
  - Ventilation intermittente (ex.: 2h/6h)
  - (-) germination rapide lorsque les bulbes sont réchauffés (1 à 2 semaines) (*résultat discutable*)
- Option 2 : surrefroidissement (supercooling)
  - L'ail doit être bien séché
  - T° constante -3,5 °C ( $\pm 0,5$ )
  - HR n.d.
  - Ventilation intermittente (ex.: 2h/6h)
  - L'ail doit être ramené à T° entre 18 et 20 °C rapidement
  - (+) bonne conservation à T° ambiante pendant 6 semaines ou plus selon les conditions (observations au Québec avec cultivar music)

(CRAAQ, 2020)



## Pistes de réflexion pour la planification d'un projet séchoir

33

- Quelle est la quantité produite?
  - Maintenant et objectif futur
- Quelle est la vitesse de la récolte?
  - Volume quotidien à conditionner
- Quel est l'espace disponible?
  - T.T., séchage, entreposage, nettoyage, calibrage et emballage
  - Installation temporaire ou permanente?
- Quel est le marché visé?
  - Durée d'entreposage requis?
  - Gardez-vous les tiges?
- Êtes-vous équipé pour la manutention de palettes?



## Références

- ASHRAE. 2010. Thermal properties of food. Refrigeration . American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, GA, USA. Chapitre 19.3
- Bédard, Yves. 2020. [Expérience en séchage de l'ail en Capitale Nationale et Chaudière Appalaches](#) . MAPAQ. Présentation du 12 février 2020.
- CRAAQ. 2020. Guide de production Ail. 188 pages.
- CTIFL. 2012. L'ail. Auteurs : Patricia Énard et François Villeneuve. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, France. 192 p.
- MAAARO, 2014, Fiche technique 14-040, [Système de refroidissement par forcé pour les fruits et les légumes frais de l'Ontario](#)
- Vigneault, C., N.R. Markarian, A. da Silva, B. Goyette. 2004. Pressure drop during forced-air ventilation of various horticultural produce in container with different opening configurations. Transaction of the ASAE. 47(3):807-814
- Vigneault, Clément. 2018. Projet: Recherche et diffusion des meilleures pratiques de séchage et conservation de l'ail (PADAAR-4073-5656690). Requérant: Association des producteurs Ail Québec. Livrable: [Revue de littérature](#)
- Vigneault, Clément. 2019. [Séchage et entreposage de l'ail](#). Présentation du 14 novembre 2019.