

Traitement thermique de l'air

Conditionneur d'une capacité de 900 kg d'ail humide

Conditionneur d'une capacité de 900 kg d'ail humide

2018-01

Conditionneur d'une capacité de 900 kg d'ail humide

Ce feuillet de plans est publié suite à un projet financé par le Programme d'appui au développement de l'agriculture et agroalimentaire en région et l'Association des producteurs Ail Québec.

Le feuillet décrit les particularités techniques relatives au plan qu'il accompagne; le feuillet est lui-même un plan complet. Le but ultime de cette publication est de permettre une meilleure compréhension des concepts appliqués. Les plans et feuillets sont disponibles dans toutes les régions administratives du Ministère; les agriculteurs et agricultrices qui le désirent, peuvent en obtenir une copie auprès de l'ingénieur attitré.

Consulter votre ingénieur régional pour discuter et adapter de votre projet.

Conditionneur d'une capacité de 900 kg d'ail humide

Clément Vigneault, PhD, ing.

Ingénierie postrécolte des produits horticoles frais

Révision : Jocelyn Marceau, ing. MAPAQ-Capitale-Nationale

CONDITIONNEMENT DE L'AIL

Tout comme tout autre légume racine, l'ail doit être traité adéquatement immédiatement après sa récolte pour éviter la prolifération des pathogènes qui peuvent l'accompagner et le préparer pour sa période de conservation à plus ou moins long terme. Comme la récolte de l'ail provoque des stress importants et en diminue sa résistance naturelle aux pathogènes. Il est donc impératif de le traiter adéquatement et rapidement pour éviter toute colonisation par des pathogènes. Le traitement postrécolte idéal de l'ail peut se diviser en quatre principales étapes bien distinctes : d'abord un conditionnement rapide, puis un séchage lent. Par la suite, il peut être entreposé selon trois méthodes de conservation; soit a) à température ambiante, entre 18 et 22°C; b) réfrigéré à basse température, entre 4 et -0.8°C; c) surrefroidi (supercooling) entre -0.8°C et -4°C. Dans ces deux derniers cas, il sera préférable de faire un prérefroidissement rapide à environ 85% de la différence entre sa température initiale et la température à atteindre. La chaleur restant dans l'ail à la fin de son prérefroidissement est éliminée par un refroidissement lent en chambre réfrigérée ou surrefrigérée, mais toujours sans qu'il y ait congélation de l'ail. Des étapes secondaires sont parfois intercalées avant ou après l'étape de séchage tel un nettoyage à sec, une calibration ou un triage.

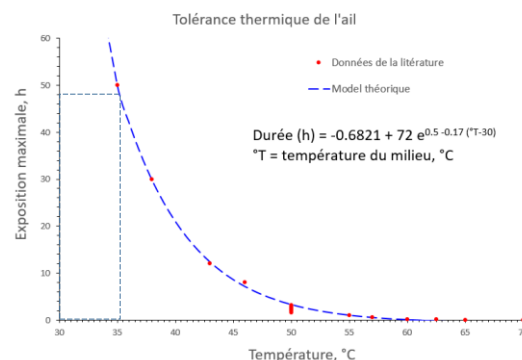
Le but du séchage est principalement d'éliminer l'excès d'eau que l'ail contient pour lui permettre de se conserver longtemps. En effet, une haute teneur en eau favorise la prolifération de pathogènes et la germination de l'ail; ce qui en limite grandement la conservation à long terme.

Le conditionnement ou traitement thermique a pour but de neutraliser un ou plusieurs pathogènes potentiellement présents sur ou dans les couches de surface de l'ail, dans ses racines ou dans la terre

qui l'accompagne. En effet, des recherches ont démontré que plusieurs champignons résistent mal lorsqu'ils sont exposés à des températures élevées sur des périodes plus ou moins longues. C'est le cas par exemple de Botrytis qui peut être neutralisé en l'exposant à une température excédant les 36°C^[1] et^[2] sur une période d'une vingtaine d'heures, alors qu'une exposition à température de 30°C demanderait plus de temps pour le neutraliser, soit environ deux jours selon les producteurs consultés.

Par contre, trois raisons nous incitent à ne pas exposer l'ail à de hautes températures sur une plus longue période. Premièrement, les hautes températures favorisent le développement de certains pathogènes potentiellement présents sur l'ail ou dans la terre qui l'accompagne^[3]; il faut donc limiter la durée des expositions aux hautes températures. Deuxièmement, une exposition à l'air très chaud et sec assèche trop et très rapidement l'ail^[3]; par exemple, lorsque l'ail est exposé à une température entre 60 et 65°C, il peut atteindre une humidité de 10% en 10 à 15 heures^[4], alors qu'il atteindrait une humidité d'équilibre de 5% en 3 à 4 jours lorsque l'ail est exposé à 50°C. L'ail a besoin de temps pour compléter ses activités physiologiques, telle la fermeture de son collet qui le protégeront contre l'entrée de pathogènes, et la translocation de ses sucres vers son bulbe. Ses activités physiologiques requièrent généralement 10 à 12 jours après la récolte^[3]. On ne devrait donc pas sécher l'ail en moins de 12 jours. Troisièmement, certaines modifications physiologiques néfastes à la qualité de l'ail commencent à se produire lorsque la température ambiante dépasse les 57°C^[5]. Ainsi, il est aussi rapporté de ne jamais dépasser 60°C pour sécher de l'ail si on ne veut pas le dénaturer^[4].

En utilisant les quelques données disponibles dans la littérature scientifique, il a été possible d'établir un modèle de la tolérance de l'ail à des hautes températures en fonction de la durée de l'exposition. Pour une durée d'exposition de 24 h, la température limite serait de 38.2°C. Ainsi, la stratégie de contrôle d'un traitement thermique pourrait être la suivante sans endommager la qualité de l'ail. Par exemple : on peut utiliser un traitement thermique de 30°C sur 48 h, calculer la puissance électrique pour atteindre cette température en 8 h et utiliser en continu cette puissance de chauffage sur les 48 h. Comme la température maximale que l'ail peut tolérer sur une période de 48 h est moins de 35.7°C, lorsque la température à l'entrée de boîtes d'ail atteint cette température, on commence à réduire la puissance de chauffage pour la maintenir sous les 35.7°C. Lorsque la température à la sortie de la masse d'ail atteint les 30°C, on commence à ventiler pour maintenir la température à la sortie de la masse d'ail à 30°C, soit la température du traitement. Ainsi la température et la durée seront respectées tout en commençant à sécher l'ail. C'est cette stratégie qui est utilisée pour les calculs de la puissance électrique et la gestion du présent conditionneur type.



De façon générale, le conditionnement se fait à une température égale ou supérieure à 30°C et s'étend sur une période variant entre 20 et 72 heures selon la température utilisée. Toutefois, la température de l'air entrant en contact avec l'ail ne devrait jamais dépasser la température de tolérance de l'ail pour la durée du traitement. Le séchage, pour sa part, devrait utiliser une température égale ou supérieure à 20°C et une humidité relative le plus souvent possible inférieure ou égale à 60%. Dans ces conditions, le séchage devrait être terminé dans 10 à 20 jours selon les conditions de l'air ambiant pendant la durée du séchage.

Le séchage se réalise donc à température ambiante sur une longue période alors que le conditionnement demande impérativement un réchauffement rapide pour être efficace. Le conditionnement de l'ail exige donc des conditions d'opération assez différentes du séchage; ce qui justifie un équipement particulier pour le réaliser adéquatement. Le présent document traitera donc exclusivement que du conditionnement de l'ail, laissant la description d'un séchoir et ses conditions d'opération pour un document séparé. Les recommandations sur la température et la durée du traitement doivent être déterminées en fonction des objectifs désirés (ou des pathogènes présents).

L'intervention d'un pathologiste ou d'un agronome est donc fortement recommandée pour éviter de faire des traitements inutiles ou inadéquats.

MANUTENTION DE L'AIL DESTINÉ AU CONDITIONNEMENT

Plusieurs types de contenants peuvent être utilisés pour la manutention de l'ail. Les caractéristiques de ces contenants peuvent grandement varier selon qu'il s'agisse de boîtes manipulées à bras d'homme ou de boîte-palettes manipulées par de chariot-élévateur. Par contre certaines caractéristiques ont avantage à être respectées; soit: les dimensions, la hauteur maximale d'empilement de l'ail, la surface minimale d'ouverture au fond de ces contenants et la verticalité des parois de contour du contenant.

Dimensions externes du fond des boîtes : Toute dimension de contenant permettant de couvrir exactement une surface de conditionnement de 1.0 x 1.2 m (40 x 48 po) peut être utilisée avec le présent conditionneur. Par contre, comme cinq boîtes de 400 x 600 mm (16 x 24 po) couvrent cette surface, elles sont généralement favorisées puisqu'elles correspondent aux Standards Nord-Américains officiellement reconnus ^[4]. Une boîte-palette de 1.0 x 1.2 m ou quatre boîtes de 500 x 600 mm (20 x 24 po) sont aussi des ensembles compatibles avec le présent conditionneur. Les parois formant le contour des boîtes doivent absolument être verticales car toute paroi oblique formera un canal préférentiel pour la circulation de l'air et diminuera grandement l'efficacité du traitement.



Photo de Clément Vigneault

Hauteur des boîtes et de l'empilement de l'ail: Comme la résistance au passage de l'air augmente avec le nombre de planchers de boîte que l'air doit traverser à chaque cycle; plus les boîtes seront hautes, moins l'air aura de plancher à traverser et plus il circulera facilement. Par contre, lors d'un traitement thermique, l'air chaud s'humidifie dès son contact avec les premiers bulbes d'ail. En s'humidifiant, l'air se refroidit et atteint rapidement 100% d'humidité relative. En continuant son parcours, l'air et la vapeur d'eau qu'il contient rencontrent de l'ail encore froid. Comme l'air est déjà saturé d'eau, un refroidissement supplémentaire a pour effet de générer de la condensation de sa vapeur d'eau sur l'ail fait. Le passage de l'eau de son état vapeur à son état eau génère la même quantité de chaleur que celle nécessaire à son évaporation. De cette façon, le réchauffement de la masse d'ail est généralement plus uniforme mais la présence d'eau sur l'ail est des plus hétérogènes. Il est donc important que la couche d'ail à traverser ne soit pas trop épaisse.

Peu de données sont disponibles pour nous aider à déterminer l'épaisseur optimale de l'ail. La seule donnée disponible est de 75 cm ^[3], mais aucune information d'accompagne cette donnée pour savoir sur quelle base elle a été définie. De plus, la littérature nous informe que des dommages sur des bulbes d'ail ont été produits par la compression générée seulement l'empilement d'ail. En effet, certains dommages sur des bulbes humides ont été rencontrés dans des empilements d'ail à des profondeurs aussi faibles que 30 cm ^[7]. L'ail nu (gousses épluchées) est encore plus fragile et a présenté des dommages dus à la compression sous des empilements aussi faibles que 10 cm ^[8]. L'ail sec semble par contre moins sensible à la pression.

La conception d'un conditionneur doit donc considérer cette sensibilité de l'ail humide pour conserver la haute qualité de ce produit. La hauteur des boîtes devra permettre de limiter le plus possible l'épaisseur d'ail à 30 cm; et l'épaisseur totale d'ail que l'air doit traverser devrait se limiter à 75 cm. Pour ces raisons, un empilement de 3 boîtes contenant 25 cm d'épaisseur d'ail, ou de 2 boîtes de 35 cm d'ail serait l'idéal; et une boîte de 75 cm d'ail serait une limite tolérable.

Ouvertures à travers les parois des boîtes : Les parois verticales des boîtes peuvent être perforées ou imperméables à la circulation de l'air. La surface totale des ouvertures au fond des boîtes doit couvrir au moins 10% de la surface totale couverte par l'ail pour faciliter une circulation verticale de l'air. La largeur maximale de toute ouverture à travers le fond et les parois verticales des boîtes doit

se situer entre 3 et 10 mm. Il faut savoir que plus les ouvertures à travers les parois des contenants sont larges, plus ils génèrent de blessures au produit.

Capacité massique des boîtes : La masse d'ail humide initialement contenue dans une boîte est calculée en considérant une densité volumétrique de 578 kg/m^3 (36.1 lb/pi^3) d'ail à 65% humidité^[9].

POSITION DU CONDITIONNEUR

Le présent conditionneur est conçu pour être utilisé dans un endroit bien ventilé, ou le long d'un mur donnant sur l'extérieur. Dans le cas où ce conditionneur est situé dans un endroit insuffisamment ventilé, des ouvertures à travers le mur adjacent doivent être disponibles pour permettre des échanges d'air frais venant directement de l'extérieur. Il faut savoir que l'air sortant du conditionneur sera à une température beaucoup plus élevée que la température extérieure et sera saturé en vapeur d'eau. Le rejet de cet air usé vers l'intérieur d'un bâtiment pourrait être nuisible en provoquant une détérioration prématurée de celui-ci.

DÉBIT D'AIR À UTILISER

Peu de données sont disponibles pour permettre de déterminer le débit d'air nécessaire pour réaliser un traitement thermique sur l'ail. La multitude de littérature consultée ne présente qu'une seule méthode pour calculer le débit à utiliser : soit en multipliant la vitesse d'approche recommandée^[3] de 0.13 m s^{-1} par la surface de la base d'empilement des boîtes exprimée en m^2 ; ce qui est égale au produit de la longueur par la largeur de cette base ($l \times L$). Le débit d'air sera exprimé en m^3 d'air par seconde. Par contre, cette vitesse d'approche ne tient pas compte de la température de traitement ni de la masse de produit à traiter, ce qui est fonction de la hauteur d'empilement.

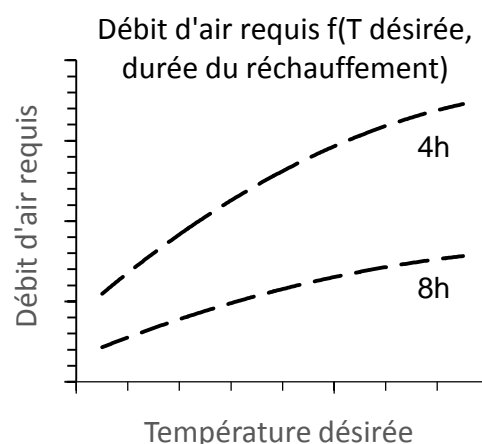
En réalisant des calculs incorporant la masse d'ail à traiter et ses propriétés thermodynamiques, la température de traitement, la durée du traitement, et le temps nécessaire pour atteindre la température désirée; on réalise que cette vitesse d'approche n'est adéquate que pour réaliser un traitement à une température minimum de 22°C ; ce qui correspond à un séchage sur une période d'environ 14 jours pour les conditions météorologiques prévalant au Québec. Cette vitesse d'approche de l'air est donc, à toute fin pratique, nettement insuffisante pour rencontrer les critères minimaux d'un traitement thermique de l'ail, appelé conditionnement post-récolte de l'ail.

Des simulations ont été réalisées en considérant tous les paramètres influençant le débit d'air à utiliser pour effectuer un traitement thermique. Les conditions d'opération sont une durée de 24 et de 48 heures, une période de réchauffement égale au 1/6 de la durée du traitement, soit 4 et 8 heures, une température initiale de l'ail de 20°C et des températures de traitement à chaque 2°C entre 22 à 36°C . D'après la littérature, l'air ambiant est maintenu à une température d'au moins 1°C plus élevée que la température du traitement jusqu'à ce que le produit ait atteint le niveau désirée. Les résultats montrent qu'il est possible de calculer le débit d'air à utiliser à partir de la masse d'ail et de la température de traitement en utilisant les valeurs moyennes des propriétés thermodynamiques de l'air et calorifiques de l'ail (masse spécifique, humidité, capacité thermique, diffusivité thermique).

Les équations 1 et 2 présentent respectivement le débit d'air (Q) en litres par minute par kg (l/min-kg), et en pieds cubes par minute par livre d'ail (cfm/lb), en fonction des températures en $^\circ\text{C}$ et $^\circ\text{F}$. Ces équations sont utilisables pour des températures (T) entre 22 et 36°C , ou 72 et 96.8°F .

$$Q = -0,0706 T^2 + 5,78 T - 80,1 \quad (1)$$

$$Q = -0,000349 T^2 + 0,0738 T - 3,29 \quad (2)$$



Par exemple, pour obtenir le débit d'air du présent conditionneur qui peut traiter 30 boîtes de 30 kg chacune, soit 900 kg d'ail, à une température 30°C, il faut multiplier 900 kg par la valeur résultant de l'équation 1 lorsque T est remplacé par 30, soit la température de traitement. Ce qui donne :

$$Q = (-0,0706 \times 30^2) + (5,78 \times 30) - 80,1 = 29.8 \text{ l/min-kg}$$

Et le débit est égale à 900 kg x 29.8 l/min-kg, soit 26 784 l/min, ou 26.8 m³/min, ou 1 607 m³/h.

Comme 1 m³/h = 0,5886 cfm, on aurait besoin de 946 cfm pour conditionner les 1980 lb à 86°F.

Ces résultats montrent que le débit d'air nécessaire pour traiter une masse d'ail à 30°C est 2.9 fois celui recommandé ^[3] pour sécher à 21°C en 14 jours la même masse d'ail.

PERTE DE PRESSION

La perte de pression de l'air à travers une masse de produit dépend d'abord de la distance que l'air doit parcourir pour traverser le produit. Comme l'air circule verticalement à travers ce conditionneur, c'est la hauteur totale de produit qui doit respecter la limite recommandée qui est de 0.75 m d'ail ^[3].

L'empilement de 30 boîtes de 25 cm d'ail ne pourrait donc pas dépasser les 3 rangs de haut; ce qui résulte en deux blocs de 3 rangs de 5 boîtes. Ces deux blocs d'empilement pourront être juxtaposés ou superposés. Dans ce dernier cas, un espace entre les deux blocs superposés devra être aménagé pour permettre de faire circuler l'air dans chaque bloc de façon indépendante.

Même si la distance que l'air doit parcourir à travers l'ail est le principal facteur affectant la pression requise pour la faire circuler, plusieurs autres facteurs doivent être pris en considération pour calculer la pression totale requise. Parmi ces facteurs, on retrouve la vitesse de l'air dans chaque conduit, les dimensions de ces conduits, le pourcentage d'ouverture au fond des boîtes, les changements de vitesse et de direction que l'air à travers chaque section du conditionneur que l'air doit traverser pour compléter un cycle complet.

En considérant tous ces facteurs, les présentes dimensions de ce conditionneur, il a été possible de calculer la pression que le ventilateur devra construire pour forcer l'air à circuler à travers le circuit de conduits et de la couche d'ail à traverser. Le ventilateur à choisir devra être capable de bâtir cette pression et fournir le débit calculé. Les tableaux 1 et 2 présentent respectivement les valeurs Métriques et Impériales calculées pour un conditionneur traitant de l'ail à 65% d'humidité réparti dans des boîtes de telle sorte que l'air n'ait pas plus de 0.75 m d'ail à traverser à chaque cycle. Il est important de comprendre que les valeurs présentées sont des valeurs minimum à respecter. Dans le cas où il n'est pas possible de trouver une pièce d'équipement de capacité égale à la valeur calculée, il est toujours préférable de choisir un équipement de capacité supérieure qu'inférieure à celle calculée. Le surdimensionnement d'un conditionneur est rarement problématique; alors qu'un sous-dimensionnement l'est souvent.

CAPACITÉ DU SYSTÈME DE CHAUFFAGE

Le choix de la capacité d'un système de chauffage d'un conditionneur dépend de la température du conditionnement, de la durée de la période allouée pour atteindre cette température, de la température initiale du produit et de la température de l'air utilisé pour réaliser ce conditionnement. À partir des résultats de la simulation réalisée pour déterminer les débits d'air en fonction de la température désirée et du temps accordé pour atteindre cette température, il a été possible de calculer la capacité d'un système de chauffage d'un conditionneur. Ces valeurs sont aussi présentées aux tableaux 1 et 2 dans les systèmes de mesure SI et Impérial pour chaque 2°C.

CONTRÔLE DES CONDITIONS AMBIANTES POUR LE TRAITEMENT THERMIQUE

Un thermostat (T1) situé dans le plenum du haut (se référer au plan pour bien situer chaque composante) et un autre (T2) dans celui du bas pour contrôle respectivement le fonctionnement du

système de chauffage du haut et du bas. Ces deux thermostats doivent être ajustés pour maintenir l'air sortant des systèmes de chauffage à 38.2°C pendant les 24 premières heures du conditionnement; puis pour les heures suivantes, à une température de 1°C plus élevée que celle pour conditionnement du produit.

Un troisième thermostat (T3) situé dans le plenum central où l'air froid sortant de la masse d'ail circule. Ce thermostat proportionnel (T3) contrôle la vitesse de fonctionnement du ventilateur de renouvellement de l'air pour maintenir l'air sortant de la masse d'ail à la température de conditionnement du produit. Ainsi, l'air ne sera renouvelé que lorsque la température du produit aura atteint la température de conditionnement.

DESCRIPTION DU CONDITIONNEUR À LA FIN DE SA RÉALISATION

À la fin de sa construction, des cinq composantes du conditionneur : le plenum du bas, du centre et du haut, le conduit vertical et le séparateur de blocs; seuls les plenums du haut, du bas et le séparateur de blocs ont une partie ouverte en permanence pour permettre la circulation de l'air. Le plenum du bas est ouvert dans sa partie supérieure située sous les contenants de produit pour distribuer uniformément l'air sortant du système de chauffage à travers la masse de produit du bloc du bas. Le plenum du haut est ouvert dans sa partie inférieure située au-dessus des contenants pour distribuer l'air sortant du système de chauffage à travers le bloc du haut. Le séparateur de blocs est ouvert sur ses deux surfaces horizontales pour diriger l'air sortant des deux blocs de contenants vers le plenum central, puis le ventilateur dédié à la circulation de l'air. L'espace d'empilement des contenants est fermé sur ses quatre faces verticales. Deux des faces sont fermées en permanence par des parois rigides. Ses deux autres faces sont fermées par une toile flexible fixée à l'aide de velcro, ou par toute autre méthode permettant de retirer la toile au besoin. Le conduit vertical situé à l'arrière de l'espace pour les boîtes comprend deux ouvertures vers l'extérieur. Le conditionneur doit donc être situé à l'extérieur ou, s'il est à l'intérieur d'un bâtiment, le long d'un mur donnant sur l'extérieur du bâtiment. Ce mur doit alors être muni de deux ouvertures, soit une permettant d'expulser de l'air du bâtiment; et l'autre permettant à l'air extérieur d'entrer dans le conditionneur. Ces deux ouvertures ont avantage à être les plus distantes que possible l'une de l'autre pour éviter qu'une partie de l'air usé expulsé à l'extérieur ne revienne dans le conditionneur.

CONFIGURATION ET DESCRIPTION DES MATÉRIAUX

La configuration d'un conditionneur peut prendre plusieurs formes en autant que l'empilement de l'ail ne dépasse pas les 750 mm et que le débit d'air utilisé soit capable de transporter l'énergie calorifique nécessaire au réchauffement de l'ail dans le temps voulu. Ce document définit les dimensions d'un conditionneur pouvant traiter 900 kg d'ail humide traité à une température de 30°C réalisée sur deux jours et dont la période de réchauffement est de 8 heures. Par économie de surface de plancher, les deux blocs de 15 boîtes d'ail ont été superposés. Ils peuvent aussi être juxtaposés pour faciliter l'accès et la manipulation des produits. C'est l'utilisateur qui fera ce choix en fonction des contraintes physiques des lieux où sera utilisé son conditionneur.

Il faut aussi penser que les mesures présentées doivent être ajustées aux dimensions des équipements utilisés. Il est fréquent que pour un même équipement, les dimensions changent d'un fabricant à l'autre. Il est donc préférable de se procurer tous les équipements nécessaires avant d'en commencer la construction du conditionneur.

Comme le conditionneur présenté ici est de petites dimensions, toute la construction est basée sur le même type de matériel; soit un contre-plaqué de 19 mm d'épaisseur. Les joints permanents doivent être collés et vissés. L'utilisation de contre-plaqué marin ou traité pour résister à l'humidité et à l'eau est recommandable pour augmenter la longévité du conditionneur et permettre un nettoyage adéquat de cet appareil. Par contre, la configuration du conditionneur doit être telle qu'elle ne permet pas au produit alimentaire d'entrer en contact direct avec ce type de contre-plaqué.

Tableau 1: Paramètres (valeurs selon le système de mesure SI) de conception d'un conditionneur pour 30 boîtes de 250 mm d'ail chacune pour une masse totale de 900 kg d'ail humide à 20°C empilé sur une hauteur maximum de 750 mm selon la température désirée atteinte sur une période de 4 ou 8 heures

Durée du réchauffement		4 h				8 h			
$^{\circ}\text{T}_{\text{Trt}}$	$^{\circ}\text{T}_{\text{air}}$	Q_{air}	Ø_{vent}	$\Delta\text{P}_{\text{vent}}$	P_{chauf}	Q_{air}	Ø_{vent}	$\Delta\text{P}_{\text{vent}}$	P_{chauf}
22	23	696	250	3,20	0,62	340	200	1,16	0,229
24	25	970	315	4,89	1,63	469	200	2,16	0,579
26	27	1213	315	7,47	2,75	585	200	3,30	0,966
28	29	1425	315	10,1	3,99	686	200	4,50	1,389
30	31	1607	315	12,8	5,35	774	250	3,92	1,848
32	33	1759	315	15,1	6,83	848	250	4,67	2,343
34	35	1880	315	17,2	8,42	908	315	4,31	2,874
36	37	1970	355	17,6	10,1	954	315	4,74	3,440

Tableau 2: Paramètres (valeurs selon le système de mesure impérial) de conception d'un conditionneur pour 30 boîtes de 10 po d'ail chacune pour une masse totale de 1 980 lb d'ail humide à 68°F empilé sur une hauteur maximum de 30 po selon la température désirée atteinte sur une période de 4 ou 8 heures

Durée du réchauffement		4 h				8 h			
$^{\circ}\text{T}_{\text{Trt}}$	$^{\circ}\text{T}_{\text{air}}$	Q_{air}	Ø_{vent}	$\Delta\text{P}_{\text{vent}}$	P_{chauf}	Q_{air}	Ø_{vent}	$\Delta\text{P}_{\text{vent}}$	P_{chauf}
71,6	73,4	410	9,84	0,126	2 126	200	7,87	0,05	780
75,2	77	571	12,4	0,192	5 561	276	7,87	0,08	1 977
78,8	80,6	714	12,4	0,294	9 397	344	7,87	0,13	3 298
82,4	84,2	839	12,4	0,400	13 634	404	7,87	0,18	4 741
86	87,8	946	12,4	0,502	18 272	455	9,84	0,15	6 307
89,6	91,4	1 035	12,4	0,596	23 311	499	9,84	0,18	7 995
93,2	95	1 106	12,4	0,676	28 750	534	12,40	0,17	9 807
96,8	98,6	1 160	14,0	0,692	34 590	561	12,40	0,19	11 742

$^{\circ}\text{T}_{\text{Trt}}$	=	Température du traitement	Tableau 1	$^{\circ}\text{C}$	Tableau 2	$^{\circ}\text{F}$
$^{\circ}\text{T}_{\text{air}}$	=	Température de l'air		$^{\circ}\text{C}$		$^{\circ}\text{F}$
Q_{air}	=	Débit d'air		m^3/h		cfm
Ø_{vent}	=	Diamètre du ventilateur		mm		po
$\Delta\text{P}_{\text{vent}}$	=	Différence de pression au ventilateur		mm d'eau		po d'eau
P_{chauf}	=	Puissance de chauffage requis		kW		BTU/h

RÉFÉRENCES

- [1] Ellerbrock L.A., J.W. Lorbeer. 1976. Survival of Sclerotia and Conidia of *Botrytis squamosa*. Phytopathology. 62:870-876.
- [2] Magarey, R. D., Sutton, T. B., and Thayer, C. L. 2005. A simple generic infection model for foliar fungal plant pathogens. Phytopathology. 95:92-100.
- [3] Erard, P., F. Villeneuve. 2012. L'ail. Le Centre technique au service de la filière fruits et légumes (Ctifl). 192p.
- [4] Peter, KV. 2001. Handbook of herbs and spices. CRC Press. 318 pp.
- [5] Schulz, Hänsel and Tyler. 2001. Rational Phytotherapy. Springer. 391 pp.

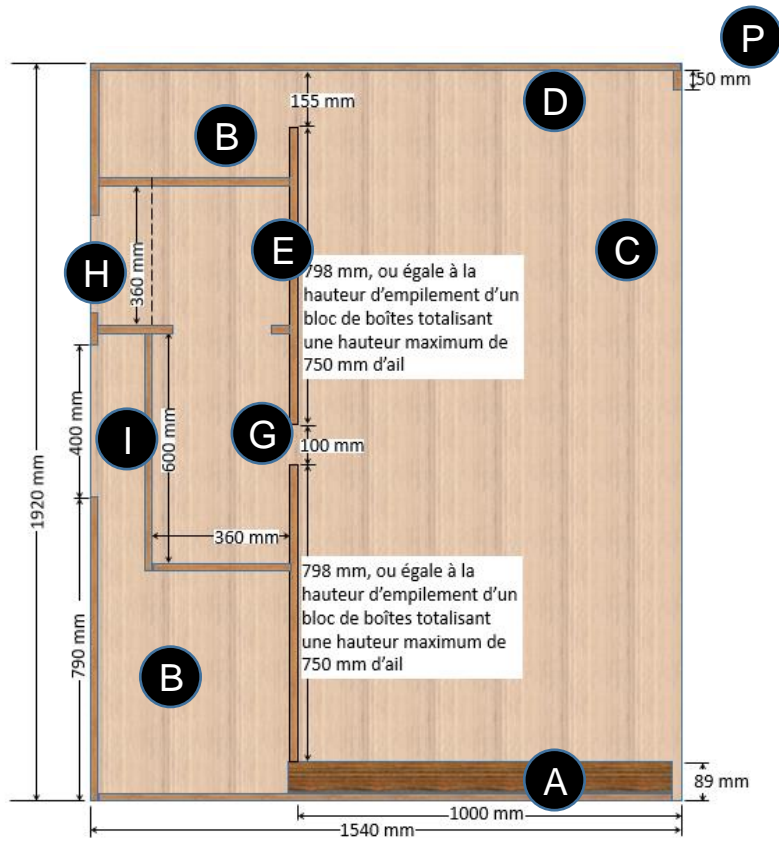
- [6] Standard Nord-Américain : ANSI/ASABE S600 OCT2011, Manually Handled Collapsible Reusable Plastic Containers for Handling of Fruits and Vegetables
- [7] Anonym. 2016. Crop Module: Garlic. Red tractor assurance for farm. 1 June 2016. 16pp.
- [8] Bahnasawy, A.H. 2007. Some Physical and Mechanical Properties of Garlic. International Journal of Food Engineering. 3(6): 7, 1-18
- [9] Bakhtiari, M.R., D. Ahmad. 2015. Determining physical and aerodynamic properties of garlic to design and develop of a pneumatic garlic clove metering system. 17(1): 59-67.

DESCRIPTION DES COMPOSANTES DU CONDITIONNEUR

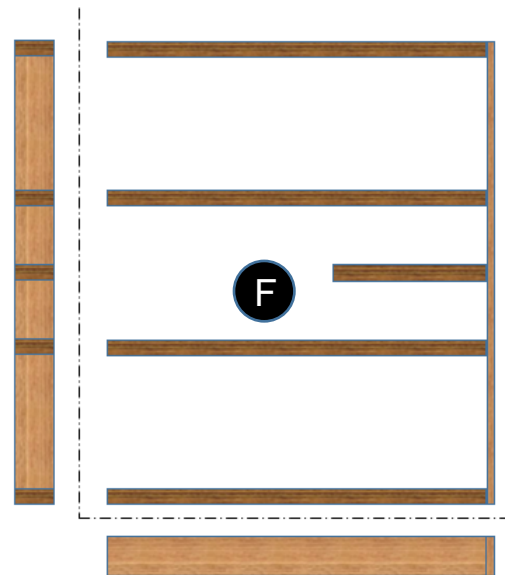
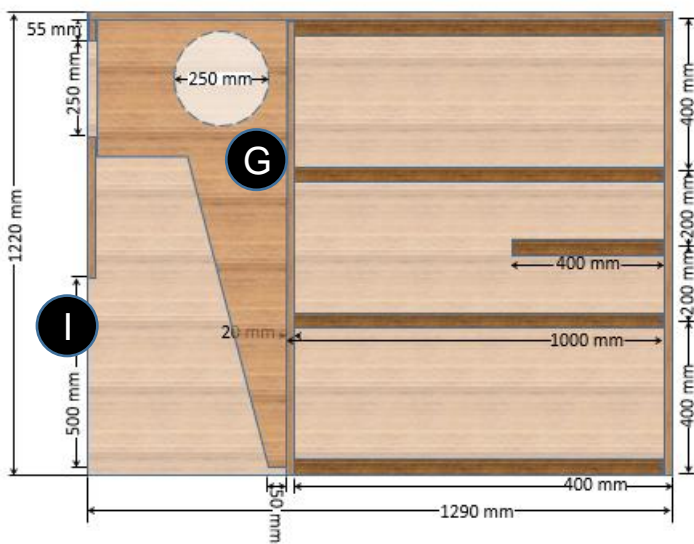
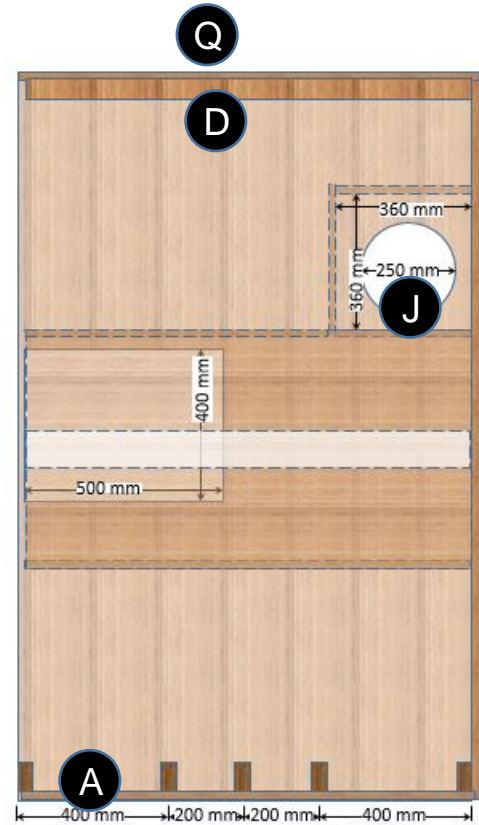
- A. Espace pour l'empilement des boîtes formant le plenum du bas et permettant de supporter suffisamment chaque boîte
- B. Conduit vertical situé à l'arrière de l'espace des boîtes : Il contient l'équipement et permet la recirculation de l'air.
- C. Paroi latérale fermée : Elle sert à la fois comme structure du conditionneur, à confiner la circulation de l'air à l'intérieur du conditionneur, et à l'alignement des boîtes lors de leur empilement. Il est très important que les boîtes latérales de l'empilement soient bien en contact contre cette paroi pour éviter toute circulation de l'air entre elle et les boîtes de produit.
- D. Plenum du haut : Espace de 155 mm servant à diriger l'air chaud vers les boîtes.
- E. Paroi amovible donnant accès à l'équipement contenu dans le conduit vertical
- F. Séparateur de blocs de produit : Il sert à diriger l'air sortant du produit vers le ventilateur. Le séparateur de blocs peut être amovible ou fixé à l'aide de penture permettant de le soulever pour placer les boîtes de produit.
- G. Plenum central : il sert à diriger l'air sortant du séparateur des blocs de produit vers le ventilateur.
- H. Ouverture dans la paroi arrière du conditionneur permettant l'évacuation d'air à l'aide d'un ventilateur actionné au besoin
- I. Ouverture dans la paroi arrière du conditionneur permettant de compenser l'air évacué. Il est muni d'un volet gravitaire
- J. Ventilateur de renouvellement d'air
- K. Ventilateur dédié à la circulation de l'air à travers de la masse de produit
- L. Systèmes de chauffage
- M. Thermostats contrôlant le fonctionnement de chaque système de chauffage (T1 et T2)
- N. Thermostat contrôlant le fonctionnement du ventilateur de renouvellement de l'air à partir de la température de l'air sortant du produit (T3)
- O. Empilement des boîtes de produit
- P. Fermeture frontale du plenum du haut
- Q. Fermeture du haut
- R. Fermeture latérale du conduit vertical
- S. Toile de fermeture de l'enceinte des boîtes : En fonctionnement sous pression négative, cette toile devrait se coller contre les boîtes empêchant ainsi l'air de passer à côté des boîtes et le forçant à circuler à travers le produit.

Étape 1: Intérieur du conditionneur

Vue de côté du conditionneur



Vue de face du conditionneur



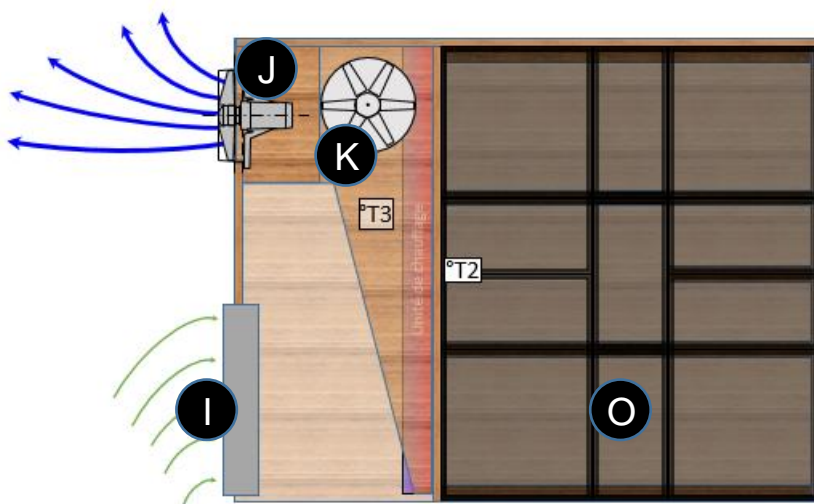
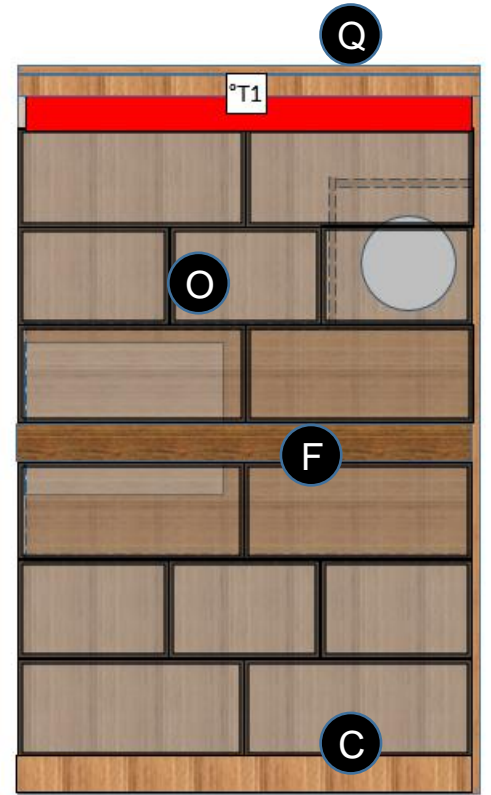
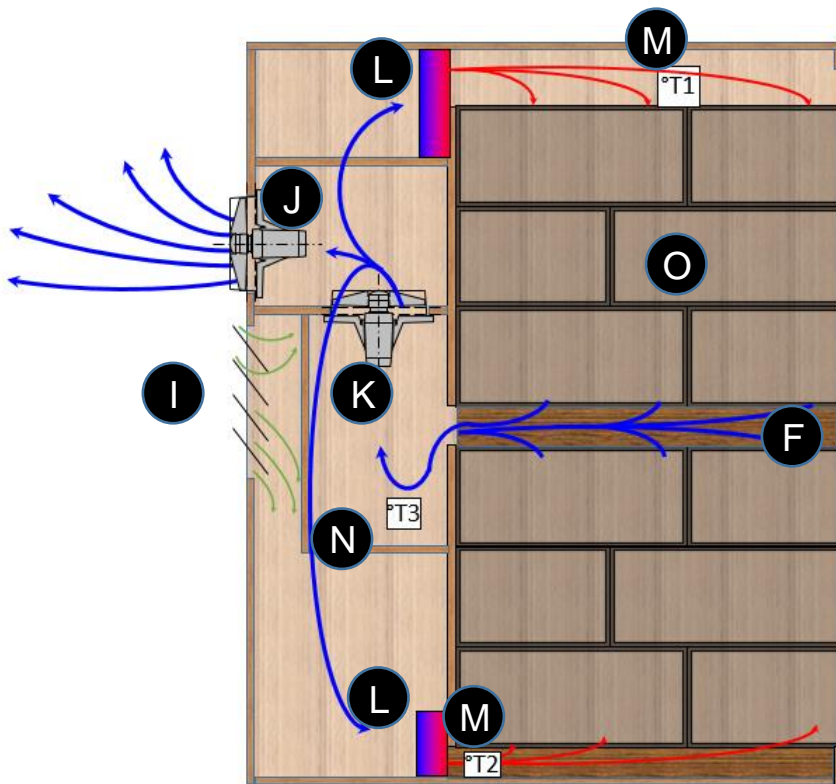
Vue du dessus du conditionneur

Vue orthogonale du séparateur centrale servant de plenum pour le retour d'air

Étape 2: Instrumentation et équipement

Vue de côté du conditionneur

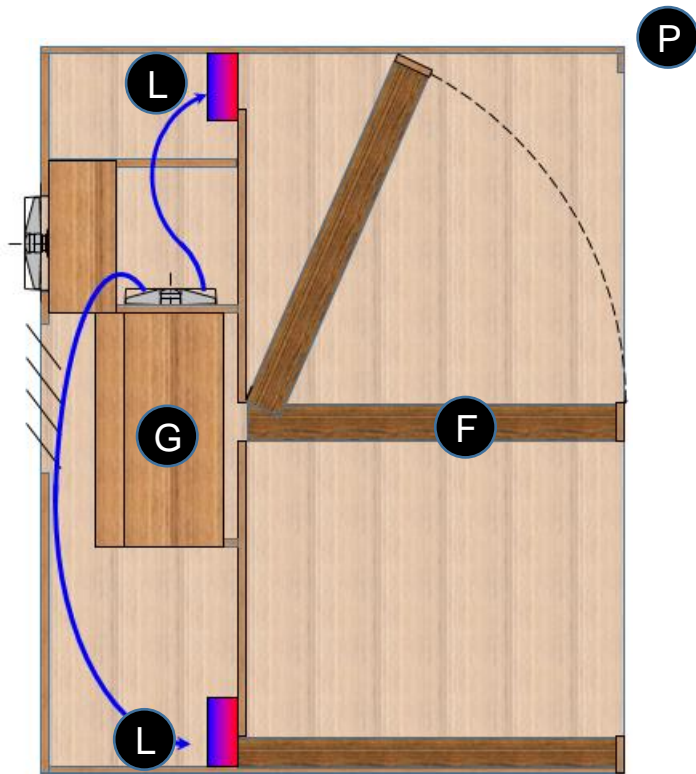
Vue de face du conditionneur



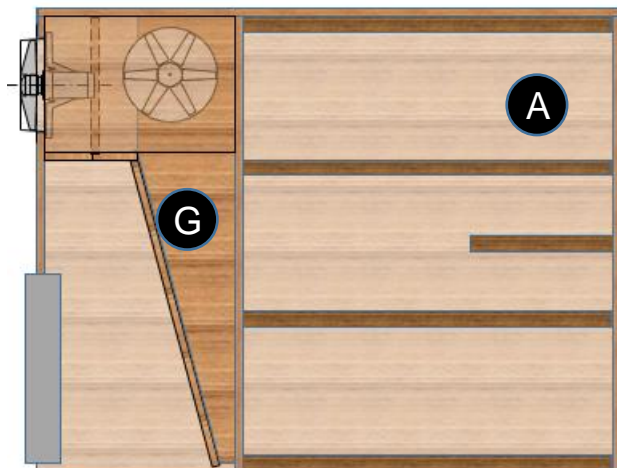
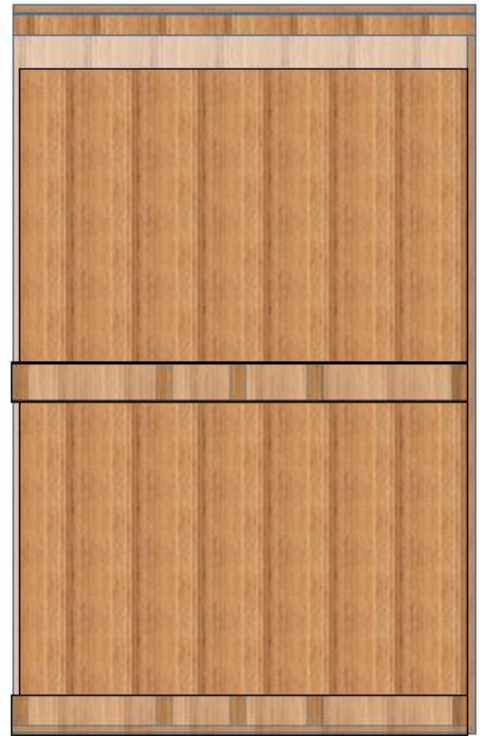
Vue du dessus du conditionneur

Étape 3: Fermeture des compartiments

Vue de côté du conditionneur



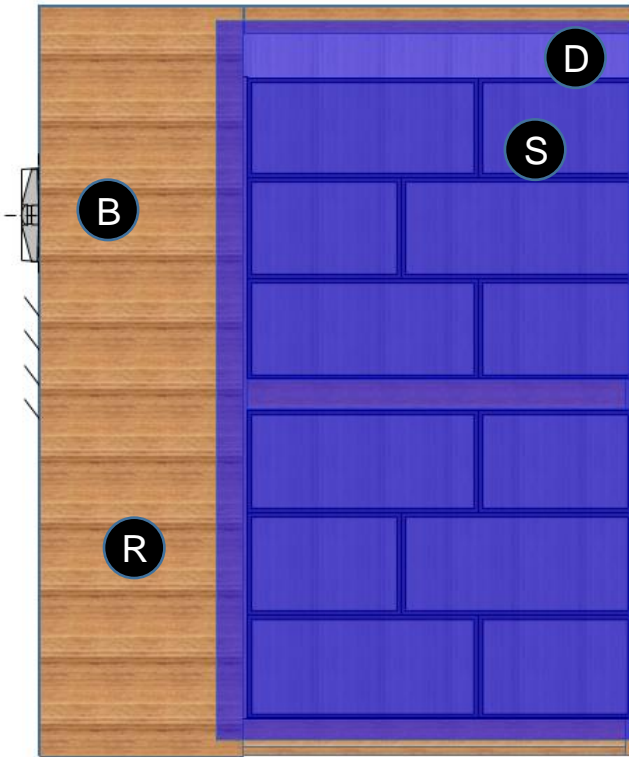
Vue de face du conditionneur



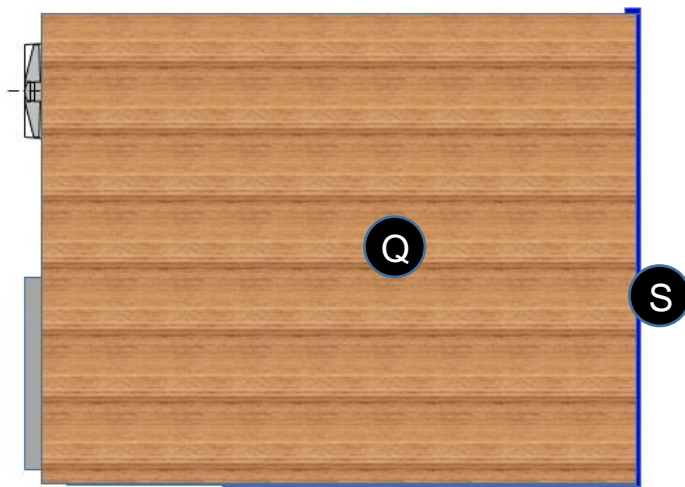
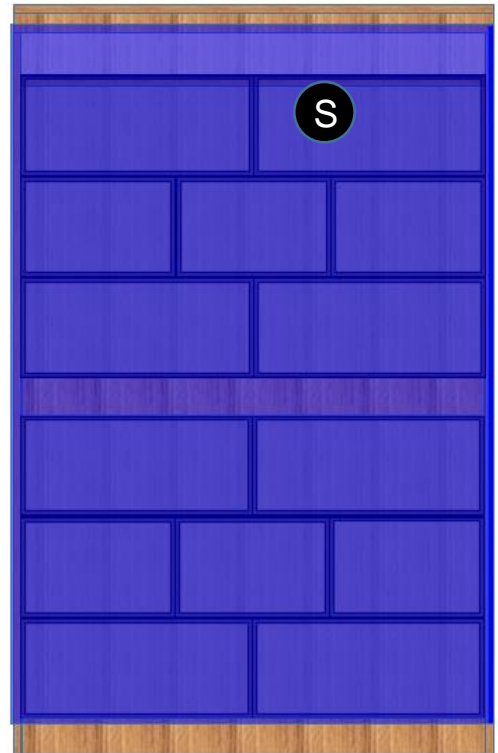
Vue du dessus du conditionneur

Étape 4: Fermeture des plenums, des conduits et du conditionneur

Vue de côté du conditionneur



Vue de côté du conditionneur



Vue du dessus du conditionneur