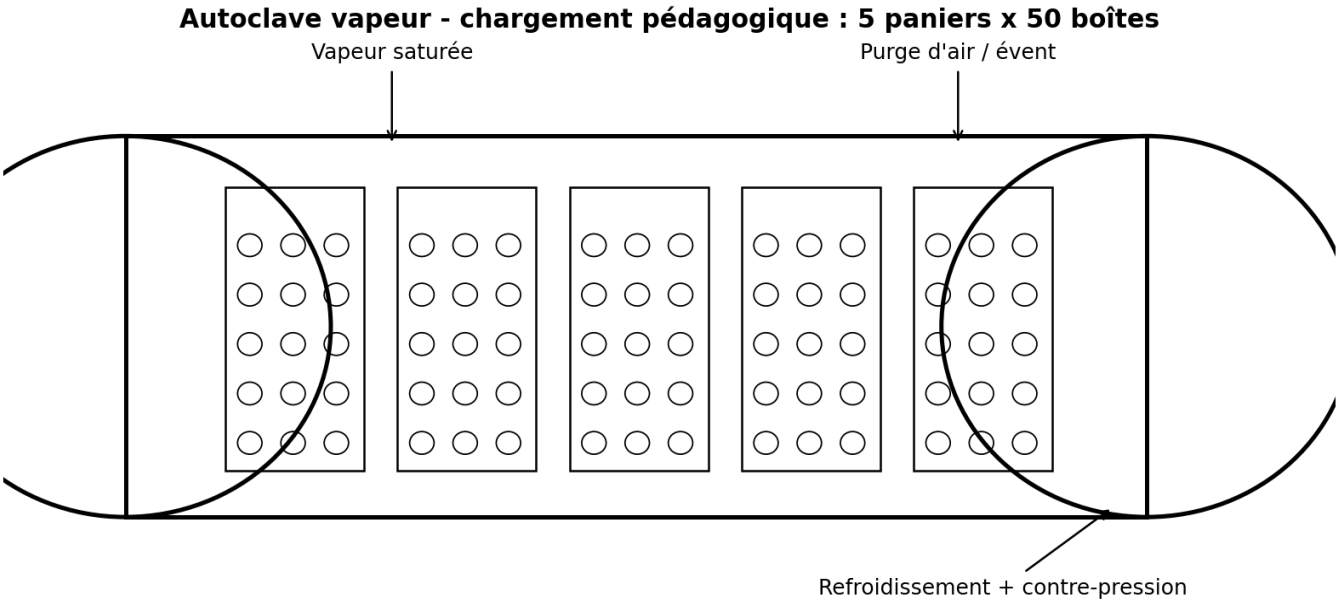
ÉTUDE DE CAS - TRAITEMENT THERMIQUE DE 250 BOÎTES DE HARICOTS VERTS

Stérilisation en autoclave sous pression - boîtes d'environ 500 g



La disposition réelle doit permettre une distribution homogène du fluide de traitement.

1. Contexte et appareil adapté

Le lot étudié comprend 250 boîtes métalliques hermétiques contenant environ 500 g de haricots verts, soit 125 kg de produit. Pour un aliment peu acide comme le haricot vert, l'équipement approprié est un autoclave de stérilisation (retort) sous pression. L'étude ci-dessous porte sur le bilan thermique et sur la méthode de validation du cycle ; elle ne fournit pas un barème sanitaire universel.

Paramètre	Valeur
Nombre de boîtes	250
Masse nette par boîte	≈ 0,500 kg
Masse totale de produit	125 kg
Température initiale retenue	20 °C
Température autoclave de calcul	121,1 °C
Cp moyen produit	3,7 kJ/(kg.K)
Masse indicative des boîtes	13,75 kg
Masse paniers/supports	80 kg
Organisation indicative	5 paniers x 50 boîtes
Volume brut d'autoclave étudié	≈ 653 L

2. Bilan énergétique de la montée en température

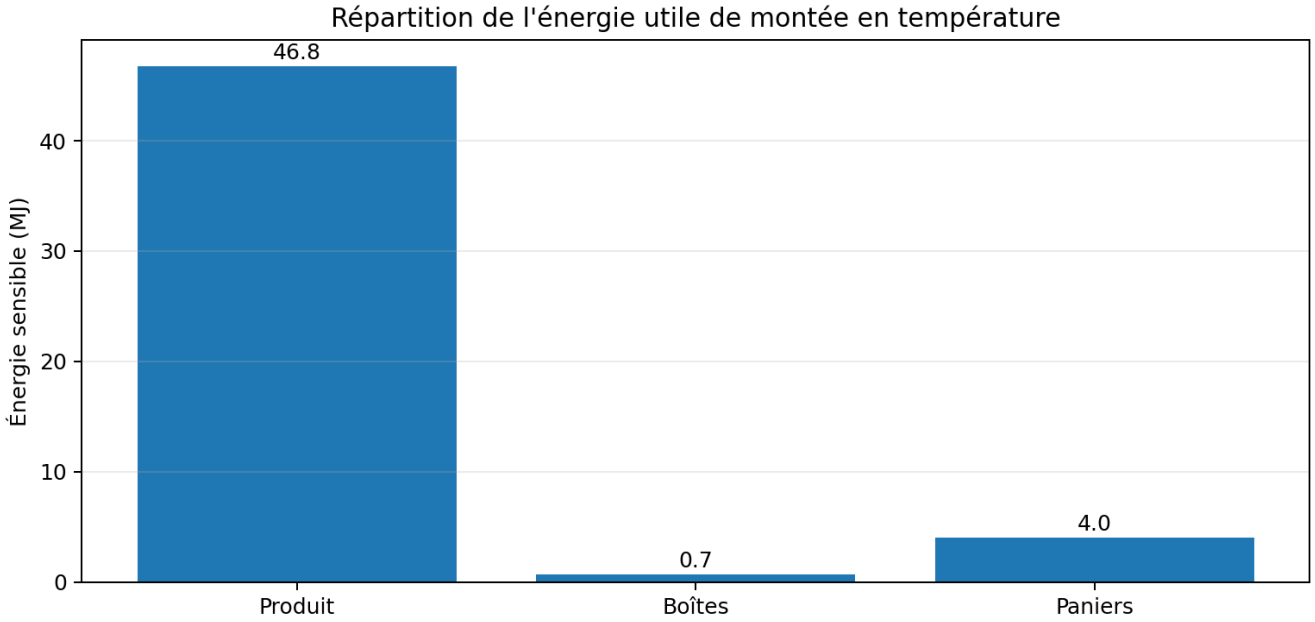
Pour le produit :

$$Q = m\ Cp\ \Delta T = 125 \times 3{,}7 \times (121{,}1 - 20) = 46.8\ MJ$$

L'énergie sensible des boîtes vaut environ 0.70 MJ, et celle des paniers environ 4.04 MJ.

L'énergie utile minimale du chargement est donc :

$$Q_{utile} \approx 51.5 \text{ MJ} = 14.3 \text{ kWh thermiques}$$



Ce bilan ne comprend pas le chauffage de la masse propre de l'autoclave, les tuyauteries, la purge de l'air et les pertes vers l'ambiance. Ces contributions doivent être ajoutées pour dimensionner l'installation réelle.

3. Besoin en vapeur et puissance

Avec une chaleur latente de condensation prise à environ 2 200 kJ/kg, le besoin idéal en vapeur pour le chargement vaut :

$$m_{v,idéal} = Q_{utile}/r \approx 23.4 \text{ kg}$$

En utilisant uniquement pour le pré-dimensionnement un rendement thermique global de 65 %, on obtient environ 36.0 kg de vapeur pour la montée du chargement. Une consommation réelle doit être mesurée ou calculée avec la masse de l'autoclave et sa séquence de purge.

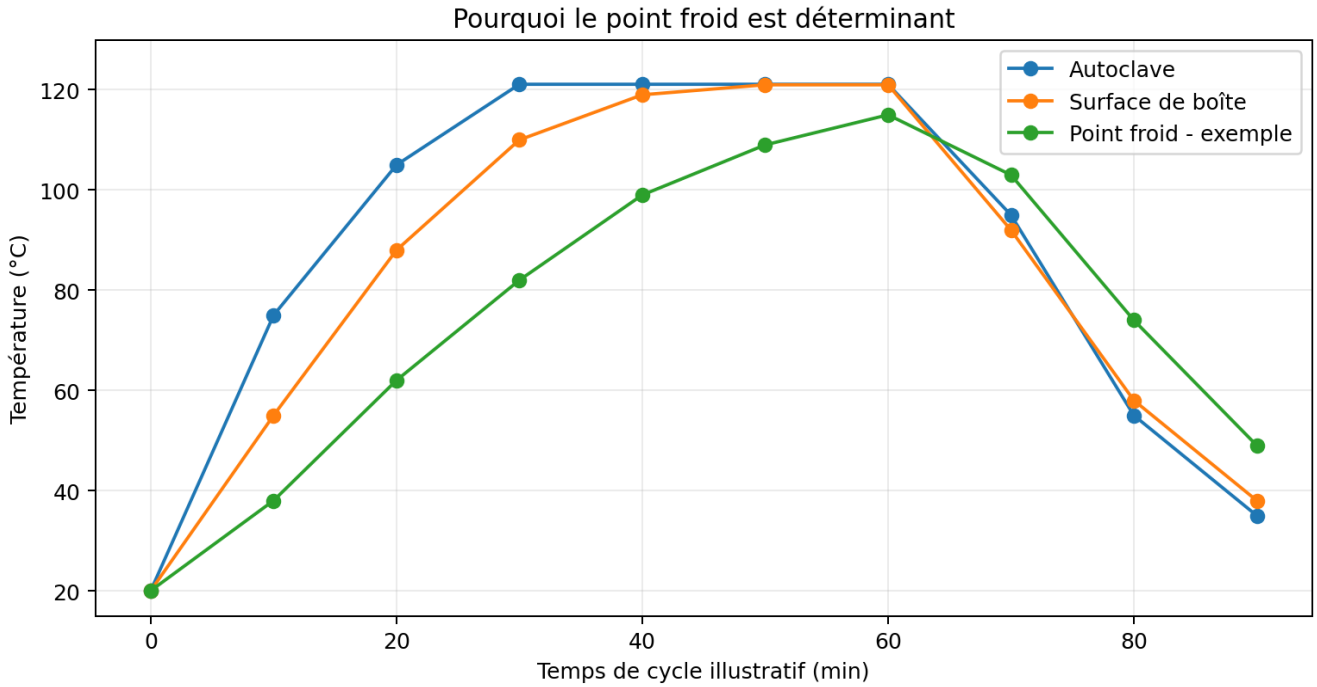
Pour une montée énergétique du chargement en 25 min, la puissance utile moyenne correspondante est d'environ 34331.9 kW. Une puissance installée de l'ordre de 50 à 70 kW peut servir de première base d'étude, sans constituer une spécification d'équipement.

4. Séquence fonctionnelle de l'autoclave

Phase	Fonction
Chargement	Introduire les paniers et vérifier le chargement.
Fermeture	Fermer et sécuriser l'autoclave.
Purge / ventilation	Évacuer l'air pour obtenir un milieu de traitement homogène.
Montée en température	Apporter la vapeur et amener l'autoclave aux conditions du procédé validé.
Traitement programmé	Maintenir les conditions définies par le procédé établi.
Refroidissement	Refroidir le produit ; une contre-pression peut être nécessaire pour protéger les contenants.
Déchargement	Décharger après retour aux conditions sûres d'ouverture.

5. Température autoclave et point froid

La température de l'autoclave ne représente pas directement la température au cœur de la boîte. Pendant la montée, la surface du contenant chauffe d'abord, puis la chaleur progresse vers le point froid. Pour les aliments solides ou particulaires, cette pénétration thermique peut être nettement plus lente que la montée de l'autoclave.



La courbe ci-dessus est volontairement illustrative : elle sert à montrer le décalage entre la température de l'autoclave et celle du point froid. Elle ne doit pas être utilisée comme cycle de production.

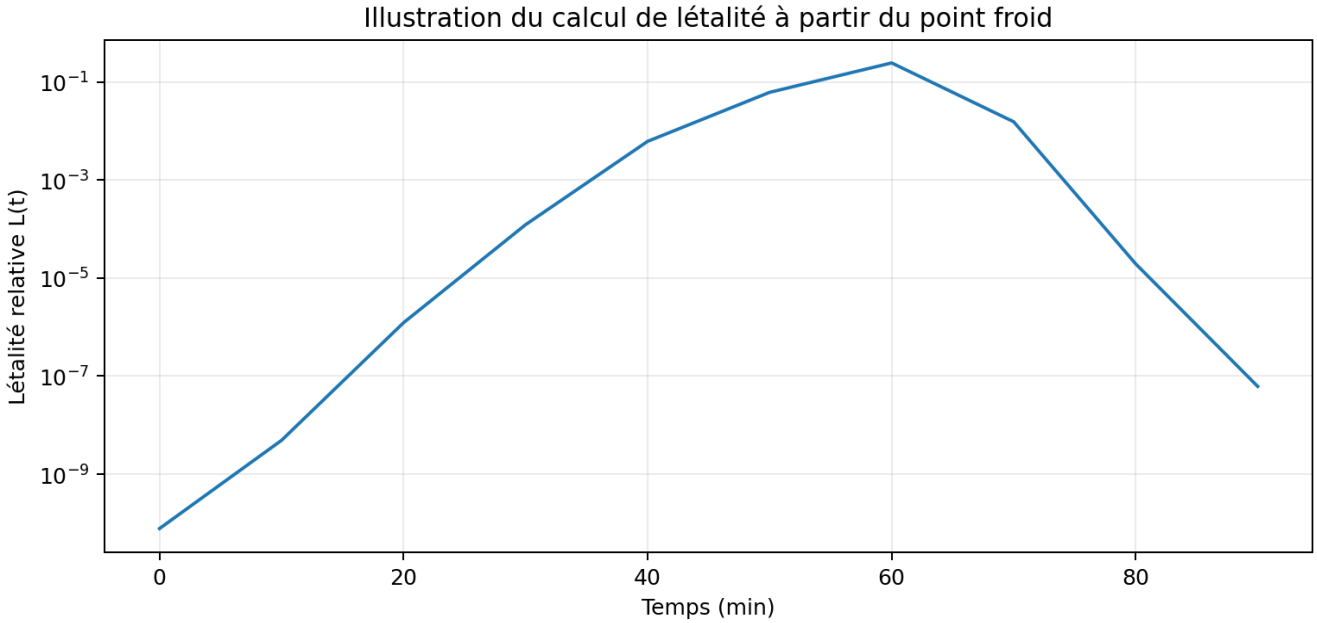
6. Valeur stérilisatrice et F_0

Une étude de pénétration thermique enregistre T(t) au point froid. La létalité instantanée peut ensuite être calculée par :

$$L(t) = 10^{[(T(t)-Tref)/z]}$$

et la valeur stérilisatrice par :

$$F = \int 10^{[(T(t)-Tref)/z]}\, dt$$



Le graphique montre uniquement la méthode de calcul à partir de la courbe pédagogique précédente. La valeur obtenue ne constitue pas une cible F_0 recommandée pour les haricots verts. Le F_0 requis et les facteurs critiques doivent être établis par une autorité de procédé compétente pour le produit, le format de boîte, le remplissage et l'autoclave considérés.

7. Facteurs critiques à contrôler

Facteur	Pourquoi il compte
Température initiale	Une boîte plus froide reçoit une létalité plus faible à cycle identique.
Poids de remplissage	Modifie la masse à chauffer et la position du point froid.
Taille / disposition des haricots	Influence les transferts par conduction et convection interne.
Liquide de couverture / espace de tête	Modifie la circulation interne et la pénétration thermique.
Disposition des boîtes	Peut modifier la distribution du fluide de traitement.
Purge d'air	Un mélange air-vapeur peut conduire à une température réelle différente de celle attendue
Débit / pression de refroidissement	Influence le refroidissement et l'intégrité mécanique des boîtes.

8. Synthèse du pré-dimensionnement

Grandeur	Résultat indicatif
Produit total	125 kg
Énergie produit	46.8 MJ
Énergie boîtes + paniers	4.7 MJ
Énergie utile minimale	51.5 MJ
Vapeur idéale	23.4 kg
Vapeur avec rendement pédagogique 65 %	36.0 kg
Puissance utile pour 25 min	34331.9 kW
Puissance installée à étudier	≈ 50 - 70 kW
Capacité d'autoclave indicative	≈ 600 - 800 L

Grandeur	Résultat indicatif
Barème sanitaire	À établir et valider par essais de pénétration thermique

Conclusion : le dimensionnement énergétique permet d'estimer la vapeur, la puissance et la capacité de l'autoclave, mais la sécurité microbiologique repose sur un procédé programmé validé. Pour les conserves peu acides, la température, le temps, le point froid, le F_0 et les facteurs critiques ne doivent pas être déduits d'un simple bilan thermique.

Références : FDA - Low-Acid Canned Foods inspection guidance, notamment les sections relatives au procédé programmé, à la distribution de température et aux études de pénétration thermique ; USDA/FSIS - information sur le botulisme et la nécessité du traitement sous pression pour les aliments peu acides tels que les haricots verts.