

RÉSUMÉ

Depuis quelques années, les systèmes de brumisations se développent fortement sur les points de vente afin de créer une ambiance humide à proximité des fruits et légumes. Dans le but d'évaluer les bénéfices en terme de maintien de la qualité de produits sensibles à la déshydratation, Areco, fabricant d'appareil de nébulisation et inventeur du concept Humidifine®, a demandé au Cemagref et au Ctifl de réaliser un test en conditions contrôlées sur laitues et asperges, en comparant l'évolution de ces légumes sous différentes conditions climatiques: conditions courantes d'ambiance de magasin, nébulisation avec et sans réfrigération, et réfrigération modérée.



Dispositif expérimental de la nébulisation d'asperge et de salade en meuble vitrine (type traiteur)

MISTING AND FRESHNESS IN THE RETAIL DISPLAY

Misting systems have experienced sharp growth in retail outlets in the past few years, in order to create a humid atmosphere in the produce section. To assess the benefits in terms of maintaining the quality of produce susceptible to water loss, Areco, the manufacturer of misting systems and inventor of the Humidifine® concept, asked Cemagref and Ctifl to conduct a test of lettuce and asparagus under controlled conditions to compare changes in the vegetables under various climate conditions: the ordinary conditions of the in-store atmosphere, misting with and without cooling, and moderate refrigeration.

Nébulisation et fraîcheur en rayon

Jusqu'à présent, pour maintenir la fraîcheur des fruits et légumes en rayon, les seules possibilités étaient soit d'entretenir une bonne gestion du rayon avec un taux de rotation élevé, soit d'entreposer les produits fragiles dans un endroit réfrigéré pour limiter leur évolution physiologique (climatisation du rayon, meuble réfrigéré...). Or, depuis quelques années en France sont apparus différents systèmes d'humidification d'ambiance adaptés à l'échelle des rayons de fruits et légumes. Cette technologie se développant et faisant la spéci-

ficité de certaines enseignes de produits frais, il devenait intéressant d'analyser les bénéfices apportés aux produits par une telle installation, sachant que le risque de développement des légionnelles reste limité dans ces conditions d'utilisation (zone de températures en magasin inférieure à 25 °C, désinfection de l'eau pour certains systèmes). À la demande du fabricant français Areco, le Cemagref et le Ctifl ont donc conjointement entrepris des travaux sur le maintien de la qualité de légumes dans différentes conditions environnementales.

*Cemagref : Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement



Matériel et méthode

Le système de nébulisation Humidifine® d'Areco est constitué d'un générateur à ultrasons exclusif produisant un fin brouillard d'eau dont le diamètre des gouttes est inférieur à 5 µm (les autres systèmes de brumisation produisent des gouttes de diamètre ≥ 10 µm). Une fois l'eau filtrée, débarrassée de ses germes et micronisée, elle est transportée par un courant d'air pulsé sous forme de brouillard dans des rampes en inox. À la hauteur des produits sur les rayons, les rampes sont percées d'orifices calibrés, tous les 20 cm par exemple, pour que le brouillard s'échappe et forme une nappe qui glisse le long de l'étagère.

L'objectif de l'essai était de déterminer l'allongement de la durée de vie de légumes en conditions favorables (froid et humidité) par rapport aux conditions standard rencontrées en magasin (température ambiante et faible hygrométrie).

Déroulement de l'essai

Le test a consisté à comparer l'évolution des produits dans deux cas d'application, à l'évolution des produits dans deux cas de référence, à savoir : l'exposition directe dans l'ambiance du magasin et l'exposition dans un meuble frigorifique à température modérée. Les deux cas d'application de la nébulisation – sans froid artificiel et avec froid artificiel – ont été expérimentés l'un après l'autre, chacun pendant les cinq jours ouvrables d'une semaine calendaire, comme précisé dans le **TABLEAU 1**.

Les deux meubles étaient placés dans une cellule climatique simulant les conditions d'un magasin à + 22 °C/50 % HR. L'étude des produits s'est faite dans des conditions de conservation stables pendant quatre jours, du lundi après-midi au vendredi matin.

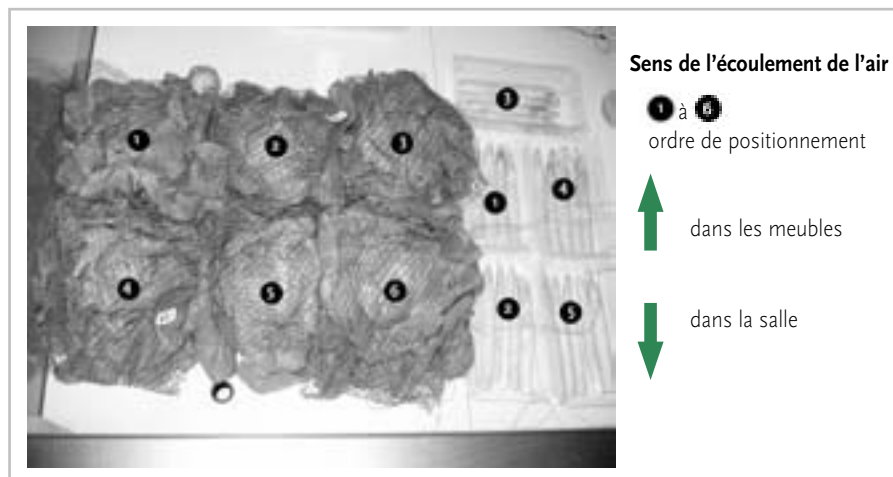
Dans les deux cas expérimentaux, le meuble réfrigéré était en fonctionnement avec un système de soufflage d'air réfrigéré et d'aspiration d'air. Cependant, lors de la première semaine, seul le soufflage a été dévié en dehors du champ des légumes. L'aspiration en marche a permis l'écoulement de la brumisation dans le meuble au cours des deux semaines.

Le débit du nébulisateur a été réglé à 600 g d'eau/h. m linéaire, avec une fréquence de pulvérisation régulière : vingt secondes de fonctionnement toutes les une à deux minutes. Le système de nébulisation fonctionnait jour et nuit.

TABLEAU 1 - Déroulement de l'essai étalé sur deux semaines

Semaine 1	Semaine 2
Cas expérimentaux 1 et 2	
Cas N° 1	Cas N° 2
T = T magasin (22°C) + nébulisation Produits exposés dans un meuble avec nébulisation, mais sans réfrigération	Meuble réfrigéré = T meuble (6°C) + nébulisation Produits exposés dans un meuble avec nébulisation et réfrigération
Cas de référence 1	
T = T magasin = + 22 °C Pratique courante Produits exposés dans la cellule climatique à T = 22 °C	
Cas de référence 2	
Meuble réfrigéré = T soufflage = 6°C Produits exposés dans un meuble avec soufflage de l'air entre + 5 et + 6 °C	

FIGURE 1 - Plan expérimental par modalité



Matériel végétal

L'évolution de la laitue beurre et de l'asperge blanche a été suivie dans ces différentes conditions environnementales. Ces produits sont particulièrement sensibles à la déshydratation et sont d'une certaine importance économique en rayon fruits et légumes en raison des quantités commercialisées pour la salade et de la forte valeur ajoutée pour l'asperge.

Le nombre d'échantillons de chaque produit a été limité en raison de la surface expérimentale disponible dans les meubles de vente relativement faible, à raison de six salades et de cinq barquettes ouvertes d'as-

perges d'environ 250 g. Les produits ont été disposés directement dans le meuble comme le montre la **FIGURE 1**.

D'une semaine à l'autre, il n'a pas été possible de retrouver les légumes venant des mêmes producteurs. Le **TABLEAU 2** indique les provenances et l'état de fraîcheur de chacun.

Même si le délai post-récolte des asperges était vraisemblablement le même pour les deux semaines, de nombreux facteurs peuvent expliquer que leur état initial à Jo n'était pas comparable : la variété, l'âge de l'aspergeraie, les conditions pédo-climatiques et de récolte, le délai avant mise au froid...

TABLEAU 2 - Origine et aspect des légumes à Jo

Semaine 1		Semaine 2	
Laitues	Asperges	Laitues	Asperges
Récolte du jour	Récolte fin de semaine précédente - Ø 10-16	Récolte du jour	Récolte fin de semaine précédente - Ø 16-22
Île de France	Val-de-Loire	Île-de-France	Hollande
Aspect frais	Stade de brunissement avancé	Aspect frais	Aspect frais

Principes de l'évaluation

Afin d'estimer la durée de vie des produits, différentes notations sur l'aspect qualitatif ont été effectuées. Pour les laitues, le poids, l'oxydation du pivot, le flétrissement et le niveau de commercialisation étaient mesurés deux fois par jour (matin et soir). De la même manière, le poids, le brunissement, l'ouverture du bourgeon, l'aspect de la coupe et la commercialisation ont été notés sur les asperges. Des échelles de défauts avaient été pré-établies évaluant les pertes qualitatives selon des notes allant de 1 à 4 (4 étant donné pour un état extrême de dégradation). Seuls les critères les plus représentatifs de l'évolution des produits seront présentés dans les résultats de cet article.

Les principaux résultats

Les conditions environnementales

Les températures mesurées au niveau des produits et de la sortie d'air (soufflage) et de l'aspiration sont résumées dans le **TABLEAU 3**.

D'après ces résultats, on constate que les conditions climatiques ont été identiques d'une semaine à l'autre, dans le cas du meuble réfrigéré et de l'ambiance de la salle. Il est surprenant de constater que, malgré l'évaporation d'eau, la température des légumes dans la salle est en l'équilibre avec celle de l'ambiance.

Dans le meuble réfrigéré, les produits ont une température supérieure de 4,5 °C à celle de l'air soufflé par le meuble. Cet écart de température s'explique par le fait qu'il existe un réchauffement du rideau d'air froid par mélange avec l'ambiance à 23 °C (en plus d'un échauffement des produits par la chaleur rayonnée par l'environnement lointain). Au cours de la deuxième semaine, l'aspiration d'air froid par le nébulisateur (T soufflage ≈ + 6 °C) et le rafraîchissement de l'eau, n'entraînent qu'un effet frigorigène négligeable, de l'ordre de 1 °C pour certains produits, par rapport à la semaine précédente.

Dans nos conditions expérimentales, la nébulisation entraîne un abaissement de température compris entre quatre et cinq degrés pour les laitues et les asperges par rapport à celles placées dans l'ambiance de la salle. Cet abaissement de température correspond au déficit d'humidité de l'air ambiant qui, grâce à la nébulisation, se refroidit (à la température du bulbe humide). La surface des produits participe aux échanges de chaleur et l'écoulement de l'ambiance est nécessaire pour garantir

TABLEAU 3 - Températures locales enregistrées au cours des deux semaines d'essais (en °C)

	T Soufflage	T Aspiration	T Asperge	T Salade
Meuble réfrigéré				
Semaine 1	5,9	9,8	10,4	9,7
Semaine 2	5,9	9,2	10,4	9,8
Meuble nébulisé				
Semaine 1*	6,0	18,2	16,3	18,4
Semaine 2**	6,3	17,6	16,7	17,5
Salle climatisée				
Semaine 1	21,7	–	21,7	22,7
Semaine 2	21,2	–	21,0	22,2

T Soufflage = Température au niveau du soufflage de l'air dans le meuble ou la salle

T Aspiration = Température au niveau de l'aspiration

*Sans refroidissement du brouillard

**Avec refroidissement du brouillard

l'efficacité du procédé.

Des tests complémentaires, avec arrêt total du système de circulation d'air du meuble, ont montré que sans aspiration, le brouillard avait tendance à stagner et l'ambiance à se réchauffer. Le meuble à fond plat - de type traiteur - utilisé pour les essais n'était pas adapté à la vente des légumes. Dans la pratique l'écoulement de la brume sur un meuble à fond incliné traditionnel est assuré naturellement par la pente du présentoir, sans qu'il soit nécessaire de lui adjoindre une ventilation particulière.

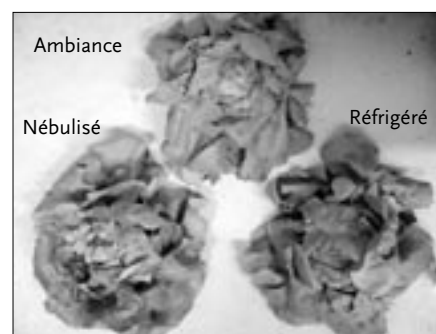
L'écoulement de la brume permet donc un bon fonctionnement de l'échangeur de chaleur constitué par la surface des produits et le mélange des deux fluides que sont le brouillard et l'ambiance du local.

Évolution des laitues

■ Les pertes de poids

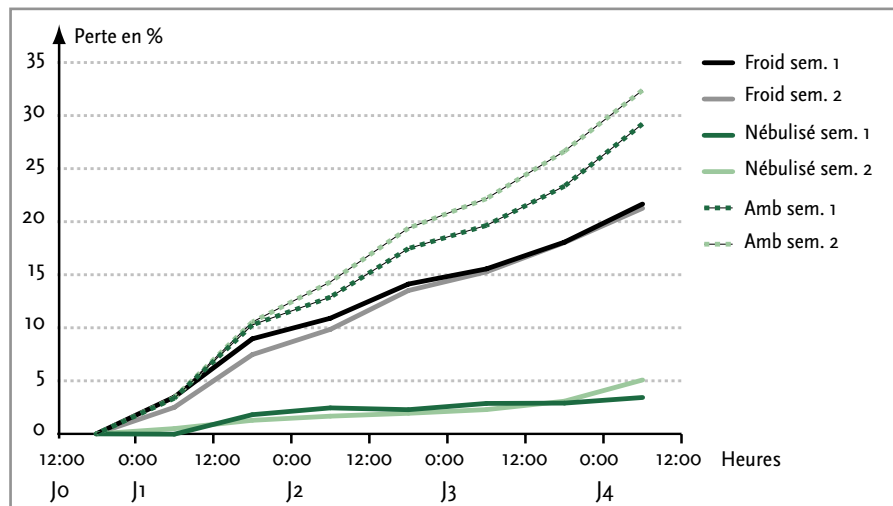
Malgré les différences des salades entre les deux semaines (en moyenne 475 g la se-

maine 1 contre 675 g la semaine 2), les pertes de poids exprimées en pourcentage du poids initial, restent du même ordre. Comme attendu (**FIGURE 2**), les salades qui ont perdu le plus de poids ont été celles placées à température ambiante, aux alentours de 30 % à J4 (5^e jour après récolte). Celles conservées au froid ont perdu un peu plus de 20 % à la même date. Pour assurer la réfrigération, il est nécessaire de créer un flux



Flétrissement à J2, en semaine 1

FIGURE 2 - Pertes de poids des laitues selon l'environnement dans lequel elles étaient placées





d'air avec une vitesse comprise entre 0,4 et 0,8 m/s. Vitesse d'air et apport de chaleur par rayonnement transforment le meuble en déshydrateur à basse température, d'autant plus « efficace » que le mélange avec l'ambiance du magasin en abaisse encore l'hygrométrie. En revanche, les légumes soumis à la nébulisation n'ont perdu en moyenne que 5 % de leur poids d'origine à J4.

Autant les valeurs de la perte de poids des six laitues à température ambiante et sous froid ont un écart-type faible (proche de 2), autant celles des salades nébulisées ont un écart-type très élevé (jusqu'à 12 en semaine 1). Ceci traduit une hétérogénéité de traitement en fonction de l'emplacement des laitues (FIGURE 3 A ET B). En raison de la configuration de la rampe, le flux de nébulisation horizontal, glissait dans une direction légèrement oblique, alimentant ainsi les végétaux plus ou moins intensément.

Ainsi, en fonction du positionnement des salades et du réglage du nébulisateur, certaines pouvaient perdre jusqu'à 15 % de poids tandis que d'autres pouvaient en gagner.

Les salades nébulisées ayant perdu le plus de poids étaient situées à la marge de la zone de nébulisation (n° 1 et 4), comme le montre la FIGURE 3 A ET 3 B. Celles qui ont gagné du poids (n° 6 et 5) montraient une certaine humidité sur les feuilles (gain de 50 g pour la salade 6 en semaine 1 et de 5 g en semaine 2). On peut supposer que cette augmentation de masse est due à la présence d'eau en excès sur les feuilles, la quantité captée ayant dépassé la quantité mobilisable par l'évaporation.

Ce résultat confirme la grande influence de la nébulisation sur les produits, mais aussi la capacité du système à délimiter des zones sur le rayon. On peut ainsi placer à proximité des produits nécessitant une forte humidité et des produits moins sensibles, simplement en bouchant les trous de la rampe.

■ Les niveaux de commercialisation

Le niveau de commercialisation a été évalué à la fois en combinant le niveau de flétrissement des laitues et l'apparition de pourritures, rendant le produit impropre à la consommation.

L'évaluation du développement des pourri-

0	absence
1	Présence jusqu'à 5 cm ²
2	Présence jusqu'à 10 cm ²
3	Présence jusqu'à 50 cm ²
4	Présence plus de 50 cm ²

FIGURE 3A - Pertes de poids des salades nébulisées en fonction de leur position dans le meuble

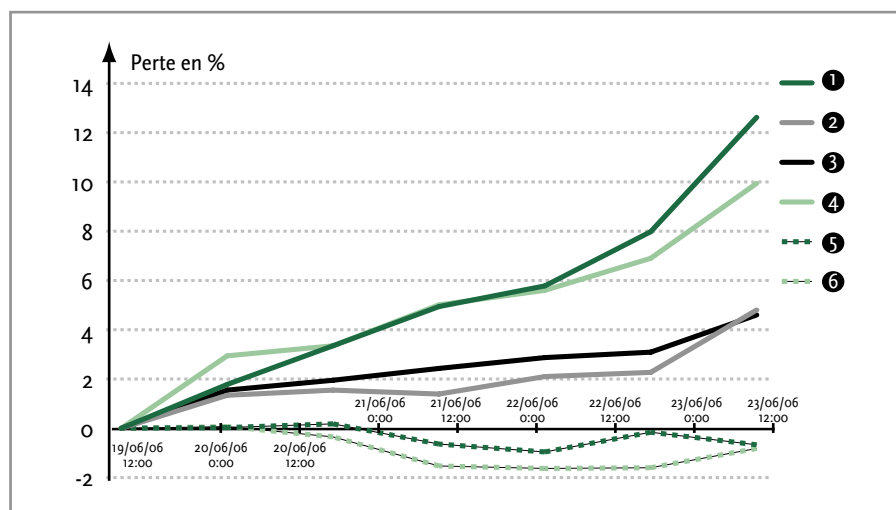
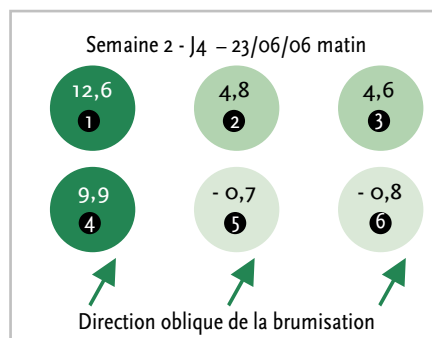
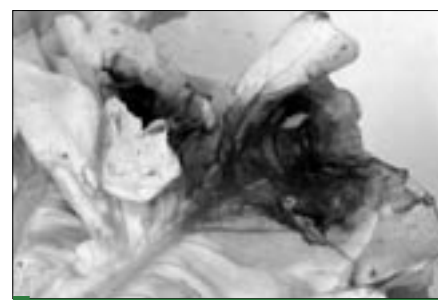


FIGURE 3B - Pertes de poids des laitues à J4, selon leur positionnement dans le meuble (en %)



Salade n° 1: pourritures brunes développées sur le pivot et sur les nervures



Salade n° 2: pourritures noire sur une feuille - Tissus effondrés

tures a été effectuée de façon visuelle pour chaque salade à l'aide de la grille de notation suivante allant de 0 à 4.

Au vu de ces résultats, il est clair que le froid sec inhibe toute multiplication microbienne et par voie de conséquence tout développement de pourriture (TABLEAU 4). À température ambiante, cette croissance reste très faible et se situe principalement dans des zones qui restent humides, entre deux

TABLEAU 4 - Notations des pourritures observées sur les six salades par modalité

	J0		J1		J2		J3	J4
	midi	apr.-midi	matin	apr.-midi	matin	apr.-midi	matin	matin
Semaine 1								
Ambiance	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3
Nébulisé	0	0	0	0	0	0,2	0,7	0,8
Froid	0	0	0	0	0	0	0	0
Semaine 2								
Ambiance	0		0,2		0,5	0,5	0,7	1
Nébulisé	0		0,3		1	1,3	1,3	1,8
Froid	0		0,3		0	0	0	0

feuilles. En revanche, les salades nébulisées présentent plus ou moins rapidement (dès J1 semaine 1, à J2 semaine 2) des pourritures fines sur les bords déchirés des feuilles ainsi qu'une extension rapide des zones blessées de façon plus importante, au niveau des parties en contact avec le meuble. Ce phénomène a été vraisemblablement favorisé par la forme spécifique du meuble réfrigéré. D'une part, les produits sont en contact direct avec un fond plat à faible pente ne permettant pas à l'eau condensée de s'écouler facilement, et d'autre part, la cuve est profonde et étanche par rapport à celle d'un meuble pour fruits et légumes, ce qui en limite l'aération.

Malgré un nettoyage du fond du meuble tous les deux jours environ, ce confinement au niveau du fond de la cuve a favorisé le développement bactérien.

Il est à souligner qu'un tel traitement des produits, pendant quatre jours, 24 heures sur 24, sans rotation n'est pas observable en rayon.

Au final, pour les niveaux de commercialisation, dès J1 en semaine 1, les salades à température ambiante et sous froid, étaient limite commercialisables et ceci, uniquement à cause du flétrissement. Quant aux salades nébulisées, elles ont été jugées limite commercialisables à J3, essentiellement à cause du développement des pourritures. Un paragraphe des feuilles externes les plus touchées et un rafraîchissement du pivot dès le 2^e jour auraient freiné ces développements microbiens, dans la limite d'une coupe raisonnable (échelle de notation à trois niveaux: commercialisable, limite commercialisable, non commercialisable).

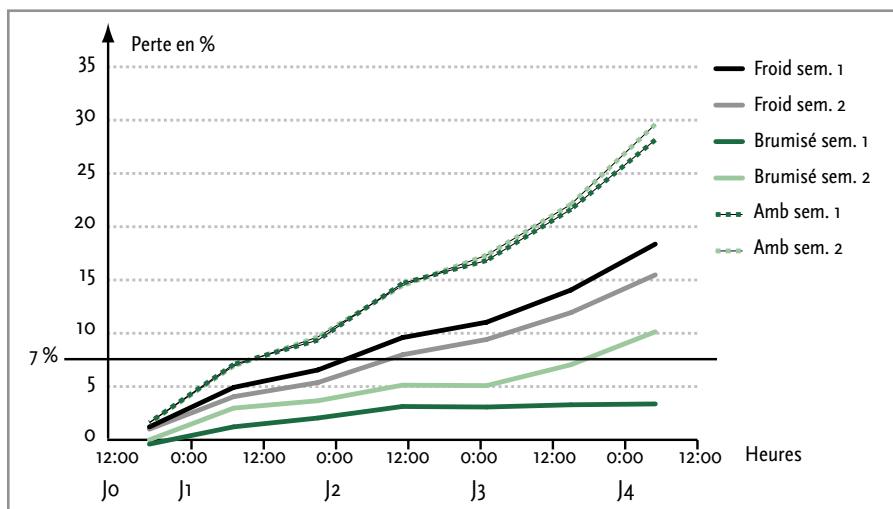
Évolution des asperges

■ Perte de poids

Comme le montre la **FIGURE 4**, le classement des trois dispositifs est le même que celui obtenu avec les salades. Les pertes de poids les plus extrêmes sont observées pour les asperges dans l'ambiance de la salle, avec une perte moyenne de 28 % de leur poids initial à J4. Les asperges nébulisées ont perdu quant à elles, 7,5 % de leur poids après quatre jours, soit près de quatre fois moins que les précédentes. Le dispositif « meuble réfrigéré » a permis aux asperges d'évoluer vers une situation intermédiaire, avec 17 % de perte de poids à la même date.

Le seuil critique des 7 % de perte de poids est atteint dans l'ambiance après 24 heu-

FIGURE 4 - Évolution des pertes de poids moyen des barquettes d'asperges par type de dispositif environnemental, sur les 2 semaines d'étude



res, au froid après 42 heures et sous nébulisation au bout de 96 heures.

Malgré les différences notables d'aspect des asperges entre les deux semaines, les évolutions de pertes de poids d'une semaine à l'autre sont assez similaires pour les modalités dans l'ambiance et en meuble réfrigéré. Cependant une certaine différence de comportement s'observe au niveau des asperges nébulisées.

■ Brunissement/dessiccation

D'après la **FIGURE 5**, on observe tout d'abord que les asperges de la semaine 1 ont été bien plus sensibles à la dessiccation que les asperges de la semaine suivante, surtout à cause de la différence d'état de fraîcheur initial.



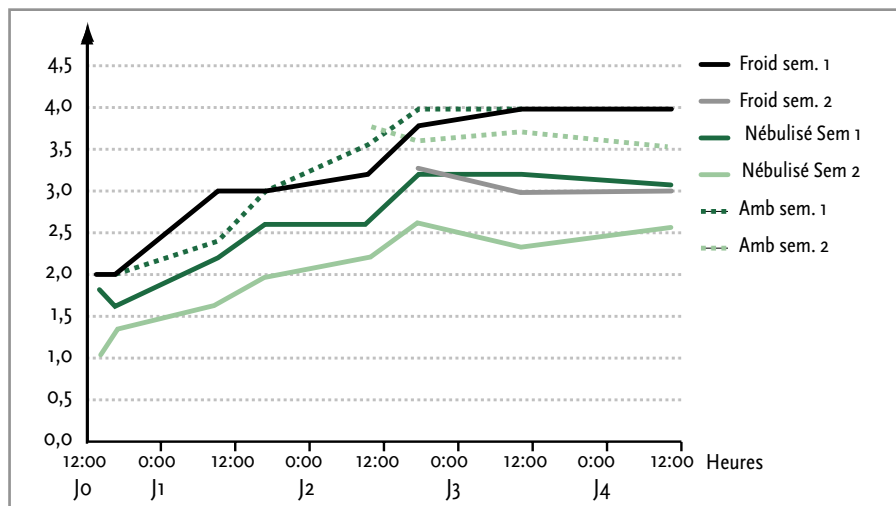
Asperges notées 4 en brunissement/dessiccation

Échelle de notations

- 1 - Turion blanc et brillant
- 2 - Apparition de taches brunâtres
- 3 - Début de dessiccation sur 1/4 du turion
- 4 - Stade avancé de dessiccation, aspect ligneux

Échelle de notation

FIGURE 5 - Évolution des notations de brunissement/dessiccation au cours des deux semaines, pour les trois dispositifs environnementaux





On peut par ailleurs constater que pour chacune des semaines d'étude, le phénomène de dessiccation se développe moins sur les asperges nébulisées comme on pourrait s'y attendre. En semaine 2, après trois jours, les asperges nébulisées ont un état de dessiccation moyen comparable à celui du 1^{er} jour pour les asperges placées dans l'ambiance de la salle. Si on ne considère que les asperges véritablement sous le brouillard d'eau (barquettes 1 et 2) à J4, les résultats sont égaux, voire meilleurs que ceux obtenus en moyenne, après un jour en conditions réfrigérées ou en « ambiance magasin ».

Réduction de la perte de poids

Les essais ont permis de définir les durées de vie de laitues et d'asperges sous nébulisation et de les comparer avec celles de ces mêmes produits placés en conditions simulées d'ambiance estivale de magasin et en meuble réfrigéré. Le test a été réalisé dans des conditions reproductibles et maîtrisées d'une semaine à l'autre. En effet, les produits situés dans les deux conditions – ambiance magasin et meuble réfrigéré – ont perdu du poids de façon similaire durant ces deux semaines. Les critères physiologiques mesurés montraient parfois quelques différences d'évolution imputables aux produits : différences de variétés, de conduites culturales et de conditions post-récoltes.

Le froid apporte quelques avantages par rapport à la température ambiante, notamment en réduisant la perte de poids et en inhibant pratiquement les pourritures. Cependant, le flétrissement sur le dessus des laitues et la dessiccation des asperges leur confèrent un aspect aussi rapidement dégradé que celles conservées à température ambiante. Les salades conservées dans ces deux conditions de vente ont une durée de vie d'une journée, voire deux selon l'état à l'arrivée (voir **TABLEAU 5**).

La nébulisation, quant à elle, limite considérablement la perte de poids et permet de ralentir ainsi le flétrissement des laitues et la dessiccation des turions. Par contre, elle favorise l'apparition et le développement des pourritures chez les laitues dans les conditions du meuble expérimental. Ce critère, rédhibitoire pour la commercialisation, limite leur durée de vie à deux jours, éventuellement prolongée à 3-4 jours après un parage. La durée de vie des asperges les

TABLEAU 5 - Durées de vie et symptômes des légumes étudiés dans les trois conditions climatiques testées

	Perte de poids à J4 (par rapport au poids à J0)	Durée de vie des produits en nombre de jours	Cause de démarque
Ambiance magasin			
Salade	30 %	1 à 1,5	Flétrissement
Asperge	28 %	1 à 1,5	Dessiccation
Meuble réfrigéré			
Salade	22 %	1 à 1,5	Flétrissement
Asperge	17 %	1 à 1,5	Dessiccation
Meuble nébulisé avec ou sans froid			
Salade	4 %	2 en l'état ou 3-4 avec parage	Pourritures
Asperge	7 %	4	Dessiccation

mieux traitées atteignent quatre jours.

Au cours des deux semaines, le fond du meuble nébulisé a été nettoyé et asséché deux fois au moment des contrôles, ce qui a certainement limité le développement bactérien. En magasin, cette précaution est difficilement envisageable, car le personnel n'en aurait pas le temps.

Par contre, l'utilisation d'un meuble ouvert (par opposition au meuble utilisé ici de type vitrine, avec confinement de l'ambiance), une inclinaison du plan de chargement, ainsi que pourquoi pas, des orifices au fond (aération, évacuation d'eau) rendraient plus efficace l'écoulement de l'eau.

D'après Areco, la conception du meuble est très importante pour l'optimisation du système. Même si un tel système s'adapte sur n'importe quel meuble les résultats ne sont pas identiques d'une conception à l'autre. Ces données sont prises en compte lors de l'étude d'adaptation au meuble. Il en est de même en ce qui concerne l'ambiance du magasin, sa surface, l'environnement climatique extérieur, etc.

Autre point important, le débit des nébulisateurs est réglable et la puissance d'humidification peut se moduler. Ce réglage est en général manuel, mais il peut être facilement automatisé.

Il est à noter que, dans nos conditions d'expérimentation, les produits étaient placés en conditions idéales avec nébulisation 24 heures sur 24. Les valeurs données dans le **TABLEAU 5** sont donc à relativiser. En réalité, dans les magasins, il peut y avoir des difficultés pratiques ne permettant pas de laisser le système en fonctionnement pendant la nuit. C'est un choix de gestion qui remet en cause les habitudes du magasin. D'après Areco, 20 à 30 % de ses clients conservent les salades en rayon la nuit.



Systeme de nébulisation installé en magasin

La simple nébulisation des légumes au cours de leur présentation à la vente – sans recours au froid artificiel – semble techniquement réalisable de façon relativement simple et s'intègre sans modification fondamentale dans le mode de commercialisation traditionnelle. Le réglage du débit d'eau nébulisée est un paramètre très important puisqu'en cas d'apport d'eau trop faible, les produits flétrissent et se dessèchent, et à l'inverse, en cas d'excès d'eau, les produits développent des pourritures. Ce réglage est à adapter aux conditions d'ambiance de chaque lieu de vente. ■