

L'astrobotanique ou la culture des plantes dans l'espace

Quelques expériences menées sur les plantes dans l'espace

En juillet 1946, les premières graines de coton, de riz et de maïs sont envoyées à 134 km d'altitude, à l'aide d'une fusée de type V2. Quelques années plus tard, en mai 1960, à bord de Spoutnik 4, des graines de maïs, de pois, de blé et des cives ont orbitées autour de la Terre. En juin 1965, l'astronaute Ed White aurait emporté des graines de moutarde lors de sa sortie extravéhiculaire pendant la mission Gemini 4, mais il l'aurait fait à titre personnel, en dehors d'un protocole expérimental. La mission Apollo 14, lancée en janvier 1971, dans le cadre de l'expérience appelée Moon trees, a emporté 500 graines d'arbres appartenant à 5 espèces (*Platanus occidentalis*, *Pinus taeda*, *Liquidambar styraciflua*, *Pseudotsuga menziesii*, *Sequoia sempervirens*) et leur a fait faire le tour de la lune. Par la suite, en 1977, l'une des graines de *Pinus taeda* a été semée dans les jardins de la Maison Blanche.

Les premières expériences en vol ont lieu dans le satellite Orbital Vehicle (OV-1) lancé en 1966 : les échanges gazeux, photosynthétiques et respiratoires d'une plante aquatique (*Spirodela* sp.) et d'une algue d'eau douce (*Chlorella* sp.) y ont été observés.

En décembre 1966 et en septembre 1967, avec les missions Biosatellite I et II, l'influence de la microgravité sur la croissance, le développement et la morphologie a été étudiée. On y a également observé la sensibilité aux radiations ionisantes des graines de blé (*Triticum aestivum*), des plants de piment (*Capsicum annuum*) et de *Tradescantia* sp. La microgravité a ensuite été étudiée en mars 1982 lors de la mission STS-3 et, en juillet 1985, STS-51F, avec son influence sur la lignification des graines de pin (*Pinus elliotii*), d'avoine (*Avena sativa*) et de haricot mungo (*Vigna radiata*). En novembre 1975, la mission Cosmos 782 comparait les effets de la microgravité et de la gravité artificielle sur la croissance et le développement des cellules et des tissus de la carotte (*Daucus carota*).

À bord du Skylab, en 1973, des tests de phototropisme sont conduits sur des grains de riz (*Oryza sativa*) pour tenter de substituer le phototropisme au géotropisme. Des études sur le flux cytoplasmique y ont également été menées. En octobre 1989, la mission STS-34 a étudié les concentrations et les distributions d'hormones de croissance dans les grains de maïs (*Zea mays*).

En 1982, *Arabidopsis thaliana*, à bord de Salyut 7, devient la première plante issue d'une graine à fleurir dans l'espace avec un cycle d'environ 40 jours. En 1995, dans le dispositif SVET, du blé (*Triticum aestivum* cv. 'Super dwarf') germe dans la station MIR : il est récolté au bout de 90 jours. Il faudra attendre novembre 2015 pour qu'une autre espèce arrive à fleurir, un *Zinnia elegans*, à bord de l'ISS dans la serre expérimentale appelée « Veggie ».

En août 2015, les astronautes à bord de l'ISS mangent les laitues (*Lactuca sativa* cv. 'Outredgeous') qu'ils ont fait pousser. En novembre 2020, ce sont des radis (*Raphanus sativus*) et, en décembre 2021, des piments (*Capsicum annuum* cv. 'Española improved'). Les photos des « tacos spatiaux » avaient alors fait la Une de certaines revues.

La Chine avance à grands pas dans le domaine de l'exploration spatiale. En novembre 2016, les taïkonautes à bord de la station spatiale chinoise Tiangong II, en plus de faire germer des variétés de riz, font à leur tour fleurir des *Arabidopsis thaliana* à partir de graines. En décembre 2018, la sonde Chang'e 4, envoyée sur la face cachée de la lune, avait emporté, dans une solution nutritive avec des vers à soie, des graines d'*Arabidopsis thaliana*, de coton (*Gossypium* sp.), de colza (*Brassica napus*) et de pomme de terre (*Solanum tuberosum*). Arrosées après l'alunissage, ces trois dernières espèces ont pu germer. Cependant, la nuit lunaire a eu raison du système de contrôle de chaleur et de l'ensemble de cette expérimentation de type mini-biosphère.

Conditions spatiales à surmonter pour faire pousser des plantes dans l'espace

Les conséquences physiques et chimiques d'un long séjour dans l'espace sur les matériaux ont notamment été évaluées avec la récupération du satellite LDEF (*Long Duration Exposure Facility*) lancé en avril 1984 et récupéré un peu plus de cinq ans et demi plus tard. Les principaux facteurs de dégradation sont le rayonnement solaire ultraviolet, le vide thermique, l'oxygène atomique et les débris spatiaux. Ceux-ci ont, entre autres, entraîné des

déformations, de l'érosion, des oxydations et des variations de fluorescence de différents polymères, ainsi que de nombreux impacts.

À ce jour, plus de 400 astronautes ont passé l'équivalent de 45 ans dans l'espace, ce qui a permis d'accumuler une relative bonne connaissance, mais aussi de mieux comprendre les conditions et les adaptations du corps humain à l'impesanteur. Ainsi, on sait qu'en plus de leur perte de masse osseuse et musculaire, de la diminution de leur volume sanguin, d'une déformation de l'hypophyse, deux tiers des astronautes ressentent les symptômes du mal de l'espace : nausées, vertiges, vomissements.

Ce que l'on sait

Les premières observations d'une croissance et d'un développement significativement plus lent dans l'espace que sur terre ont été remises en question, certaines plantes ayant grandi plus vite dans l'espace, tandis que d'autres ont grandi plus lentement et ont montré des variations dans le nombre de cellules ou la production de lignine. Il est maintenant bien établi que les plantes cultivées dans l'espace présentent des changements significatifs par rapport aux individus comparatifs restés sur Terre.

On observe ainsi des adaptations métaboliques générales et récurrentes communes aux plantes et aux tissus végétaux. Les principaux gènes jouant un rôle important dans les réponses aux conditions spatiales ont été identifiés et leurs rôles dans l'adaptation physiologique sont de mieux en mieux compris. De plus, il a récemment été démontré que la réponse adaptative est fortement dépendante du génotype de la plante : c'est pour cela que de nombreux cultivars sont utilisés.

Du point de vue général, les protéines impliquées dans la signalisation, le trafic et le métabolisme des auxines sont influencées par la microgravité. De même, la production de lignine et le métabolisme des parois cellulaires sont modifiés par une diminution de l'activité des peroxydases. Néanmoins, la réponse est très spécifique aux différents organes. En effet, l'analyse des tissus foliaires et racinaires démontre que les gènes stimulés et les productions de protéines constituent des réponses différentes dans ces deux organes. Ainsi, on observe que les racines développent significativement moins de poils absorbants. Les feuilles développent des parois cellulaires plus fines, produisent moins de ribosomes, moins de chlorophylle et stockent moins d'amidon.

Lors d'une expérience menée dans la station MIR, des graines de *Brassica* ont été récoltées à partir de graines semées en vol. Les graines de deuxième génération ont germé et poussé pour produire de nouvelles graines qui contenaient plus d'amidon et moins de protéines et de lipides par rapport aux graines de contrôle au sol. Au contraire, les analyses de la teneur en éléments nutritifs de la laitue (*Lactuca sativa* cv. 'Red Romane') cultivée dans le système Veggie n'ont révélé aucune différence significative entre le contrôle au sol et le traitement en vol spatial.

Il apparaît toutefois que les plantes semblent plus sensibles aux pathogènes et aux interactions microbiennes dans l'espace. De plus, les méthodes et la fréquence des récoltes influencent la numération bactérienne de la phyllosphère.

Les quatre principaux tropismes influençant la croissance des plantes sont l'eau, la lumière, la gravité et la réponse mécanique au contact d'une surface (le thigmotropisme). Ils jouent un rôle prépondérant dans le développement, depuis la germination jusqu'au positionnement des organes floraux. L'évolution des connaissances relatives aux réponses des plantes à deux d'entre eux, la gravité et à la lumière, seront synthétisés ici, ainsi que l'effet des radiations.

La gravité

Observée par Darwin, dans son ouvrage « La faculté motrice dans les plantes », la question de la gravité est celle qui vient naturellement à l'esprit quand on traite de culture dans l'espace. Cette force constante joue un rôle primordial tout au long de l'ontogénie des plantes. Ainsi, le gravitropisme positif oriente le développement des racines dans la terre, pour l'ancrage et l'acquisition d'eau et de nutriments, alors que le gravitropisme négatif voit

le développement des tiges dans la direction opposée, pour une optimisation de l'absorption de la lumière. On sait dorénavant que c'est la sédimentation des statolithes qui, par effet indirect, induit une modification de la concentration d'auxine et donc l'orientation de la croissance.

On sait que la gravité joue un rôle clé dans l'orientation spatiale de la plante. Par répercussion, le gravitropisme va notamment affecter la morphologie, la physiologie, le développement, dont le succès reproductif, et le métabolisme.

Toutefois, des expériences menées en 1981 ont démontré que la gravité n'est pas nécessaire pour le maintien de la circumnutation dans les hypocotyles ainsi que pour les racines. De plus, en 2006, l'expérience GRAVI-1 a montré que les plantes pouvaient sentir la direction de la gravité même à des niveaux très bas. L'expérimentation TROP-2 a, quant à elle, montré qu'au moins 280 gènes sont régulés de façon différente lorsque qu'on les compare aux échantillons de référence restés au sol.

Par définition, l'accélération gravitationnelle à la surface de la Terre est de 1 g (en unités SI, $9,8 \text{ m/s}^2$), et les conditions de microgravité peuvent être définies dans la plage de 10^{-6} – 10^{-4} g. L'effet de l'environnement de microgravité varie selon les espèces végétales et même entre les cultivars de la même espèce. Ainsi, en orbite et en l'absence de lumière, les racines du cultivar 'Landsberg erecta' d'*Arabidopsis* montrent un biais inhérent vers la droite, tandis que le cultivar 'Columbia' semble croître aléatoirement.

En microgravité, des changements qualitatifs dans le développement des anthères et des pistils ont été mis en évidence, de même qu'avec les dépôts d'amidon lors du développement des graines. Outre leur importance biologique intrinsèque, ces résultats révèlent une conséquence sur la diminution de la qualité des semences à long terme.

De plus, la gravité n'a pas seulement un effet sur les organismes mais également sur les autres éléments environnants. Ainsi, elle a des répercussions directes sur les mouvements de l'eau et des solutés dans la solution nutritive et sur les échanges gazeux, notamment l'évapotranspiration foliaire. Par répercussion, cette dernière influe sur les mouvements de l'eau et des nutriments dans la plante.

Le phototropisme

À bord du Skylab, en 1973, des tests de phototropisme menés sur des grains de riz ont tenté de substituer le phototropisme au géotropisme. En 2013, cette hypothèse de travail a été confirmée et il a été observé que la lumière pouvait être utilisée comme substitut à la gravité. La manipulation de la lumière en l'absence de gravité peut révéler des nuances de phototropisme qui sont normalement masquées sur terre. Des expériences récentes, dans la Station spatiale internationale, ont montré que l'atténuation du phototropisme dans certaines plantes supérieures se produit à des niveaux allant de 0,1 g à 0,3 g. La lumière rouge et la lumière bleue améliorent la photosynthèse et la croissance des plantes. En l'absence de gravité, les photorécepteurs accordés respectivement à la lumière rouge et bleue étaient différenciellement sensibles aux changements de force gravitationnelle introduits par une centrifugeuse orbitale. Des études avec des diodes électroluminescentes ont également révélé des rôles importants pour la lumière verte et la lumière rouge lointaine (juste avant l'infrarouge).

Il y a un phototropisme, à base de lumière rouge, dans les hypocotyles et les tiges des semis cultivés en microgravité et il a été démontré que cette réponse phototropique est masquée par la gravité normale de 1 g sur Terre. De plus, les réponses à la lumière rouge directionnelle se produisent également dans les lignées végétales plus anciennes, comme les mousses et les fougères.

Les radiations et leurs effets sur l'ADN

Sur Terre, l'atmosphère et la magnétosphère absorbent et filtrent le rayonnement cosmique. Dans l'espace, on compte trois types de rayonnement : les rayons cosmiques galactiques provenant de l'extérieur du système solaire, les particules solaires éjectées lors d'éruptions solaires et les rayons piégés par le champ magnétique terrestre.

Chez les êtres vivants, les radiations peuvent modifier ou briser les molécules d'ADN, ce qui peut endommager les tissus et provoquer des mutations de cellules. À long terme, on peut notamment observer, chez les animaux, des cataractes, des cancers et une stérilité. De plus, les individus exposés peuvent transmettre des gènes mutés à leurs descendants.

Chez les plantes, des anomalies chromosomiques ont été observées dans certaines cellules, aussi bien chez des angiospermes que chez des ptéridophytes. Par exemple, lors des missions STS-2 et STS-3, respectivement en 1981 et 1982, une proportion importante des cellules présentaient des traces de fragmentations, de ponts chromosomiques et d'aneuploïdie. De même, les noyaux cellulaires étaient significativement plus petits.

Dans la plante, la dégradation de l'ADN a un effet direct sur la germination, la croissance et la reproduction. Il a également été montré que le rayonnement ionisant peut avoir un effet sur la fonction PSII et peut causer une perte de fonction et de la génération des radicaux responsables de la photo-oxydation et, par répercussion, une diminution de l'efficacité de la photosynthèse. Par ailleurs, une corrélation a été observée entre l'augmentation des niveaux de lésions chromosomiques lors de la prophase et de la métaphase et une réduction substantielle du nombre de cellules en division. Enfin, les mécanismes de réparation de l'ADN sont affectés négativement.

Toutefois, certains auteurs émettent l'hypothèse que ces aberrations pourraient aussi refléter les perturbations et l'adaptation/la réadaptation à la gravité terrestre subies lors de la rentrée sur Terre. De plus, les fortes perturbations hormonales pourraient également mener à des aberrations chromosomiques.

Limites et contraintes des expérimentations spatiales

La difficulté de la recherche avec les vols spatiaux résulte de plusieurs facteurs. Il est parfois difficile d'isoler les effets indirects de l'environnement des vols spatiaux et les différents facteurs environnementaux influençant les expérimentations, tels que les vibrations, la composition atmosphérique à l'intérieur du satellite, le niveau de radiation, mais également le traumatisme et les perturbations subis par le matériel scientifique lors du vol et de l'entrée dans l'atmosphère terrestre.

Une autre lacune provient du fait que le début de l'expérience se déroule sur Terre dans un laboratoire (sélection des semences, positionnement dans son milieu nutritif) et à l'autre extrémité, la fixation ou la fin de l'expérience ne pouvant pas se faire dans l'espace, s'effectue peu de temps après le retour sur Terre.

Le projet est loin du laboratoire, et une fois qu'il est lancé, l'équipe de chercheurs a très peu de contrôle sur son sort. Le défaut d'échange direct entre les chercheurs et les astronautes a été plusieurs fois souligné, ce manque pouvant entraîner des erreurs de manipulations. Par exemple, une partie des échantillons de l'expérimentation TROPIC-1 a été endommagée car ils ont été transférés d'un congélateur à -80°C dans l'ISS à un sac de congélation pour le transfert à terre : les échantillons se sont réchauffés et ont repris leur croissance et leur développement avec un environnement modifié.

Les expériences de vol spatial peuvent être difficiles à reproduire et à peaufiner, comme c'est possible dans un environnement de laboratoire typique sur Terre. Le nombre d'échantillons et de répétitions est très limité lors des expériences spatiales. En plus du manque de disponibilités des vols, il y a des contraintes sur les types de matériel disponible (matières corrosives ou radioactives couramment utilisés dans les expériences au sol peuvent poser des limites supplémentaires pour les astronautes), sur la quantité de ressources disponibles, les techniques et l'expertise du personnel.

Enfin, les expérimentations menées dans les boîtes de Pétri ne doivent pas durer plus de 14 jours pour éviter que les propagules ne touchent les parois du récipient. En effet, le thigmotropisme deviendrait un élément perturbant l'expérimentation. Jusqu'à présent, les possibilités de mener des expériences de longue durée et de contrôler adéquatement l'environnement spatial ont été relativement rares. Il y a ainsi une « courbe d'apprentissage » à chaque utilisation d'un nouveau matériel, d'une nouvelle méthode et d'un nouveau domaine de recherche.

Continuer ensemble à imaginer, inventer, innover et découvrir

La convergence d'intérêts pour l'exploration (conquête ?) spatiale n'est plus à démontrer. Le Comité des utilisations pacifiques de l'espace extra-atmosphérique (COPUOS) promeut le partage des technologies, des ressources et des résultats scientifiques pour toute l'humanité. Cependant, née du militarisme et du nationalisme, l'exploration spatiale continue à poser des questions stratégiques, géopolitiques, économiques et militaires.

L'amélioration des connaissances issue de l'astrobotanique a permis des avancées dans la biologie végétale fondamentale et la science de l'exploration spatiale. Avec un fort développement depuis le milieu du XX^e siècle, les recherches menées à ce jour permettent de conclure que des végétaux supérieurs sont capable de s'adapter aux conditions spatiales mais uniquement sur une seule génération, de la graine à la graine. Force est de constater qu'il nous reste encore beaucoup à apprendre sur la façon de fournir un environnement rigoureusement contrôlé pour une croissance et un développement optimisés des plantes sur plusieurs générations.

À court terme, prévue en 2024, la prochaine étape de la NASA vers la production de cultures spatiales sera la chambre Ohalo III. Ce système de production agricole sera fermé en atmosphère pour recycler l'humidité transpirée et contiendra diverses capacités d'automatisation et de détection. Ohalo III est conçu pour être évolutif et extensible, et il testera différents concepts de livraison d'eau et d'optimisation du volume pour les plantes en microgravité. En tant qu'ajout permanent à l'ISS, ce matériel devrait atteindre l'unité de « production de légumes » souhaitée depuis longtemps. Concernant les espèces, la prochaine étape consistera à faire pousser et récolter des tomates-cerises ainsi que des plants de coton.

À plus long terme, le retour de l'homme sur la lune, plus de cinquante ans après Appolo 11, constituera le point de départ vers des missions habitées sur Mars. De même que Wernher von Braun en son temps, la NASA et la société privée Space X ont les yeux rivés vers la planète rouge, qui n'a connu, pour le moment, que des atterrisseurs robotisés comme Curiosity ou Persévérance. D'ailleurs, en 2014, une étude néerlandaise avait montré que le régolite lunaire était moins adapté à l'agriculture que le substrat martien.

Liste des plantes envoyées dans l'espace

| Nom scientifique | Nom vernaculaire |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <i>Arabidopsis thaliana</i> (L.) Heynh. | Arabette des dames |
| <i>Arabidopsis thaliana</i> (L.) Heynh. cv. 'Columbia' | Arabette des dames |
| <i>Arabidopsis thaliana</i> (L.) Heynh. cv. 'Landsberg erecta' | Arabette des dames |
| <i>Avena sativa</i> L. cv. 'Garry' | Avoine |
| <i>Brassica carinata</i> A.Braun | Moutarde d'Abyssinie |
| <i>Brassica juncea</i> (L.) Czern. cv. 'wasabi' | Moutarde brune 'wasabi' |
| <i>Brassica rapa</i> subsp. <i>nipposinica</i> (L.H.Bailey) Kitam. | Salade Mizuna |
| <i>Brassica napus</i> L. | Colza |
| <i>Brassica napus</i> L. cv. 'Red russian kale' | Chou 'Red kale' de Russie |
| <i>Brassica rapa</i> L. | Navet potager |
| <i>Brassica rapa</i> L. var. <i>chinensis</i> | Navet de Chine |
| <i>Brassica rapa</i> L. var. <i>chinensis</i> cv. 'Extra dwarf' | Navet nain |
| <i>Brassica rapa</i> L. var. <i>chinensis</i> cv. 'Tokyo Bekana' | Navet 'Tokyo Bekana' |
| <i>Capsicum annuum</i> L. cv. 'Española Improved' | Piment 'Española amélioré' |
| <i>Capsicum annuum</i> L. var. <i>annuum</i> cv. 'Yolo Wonder' | Piment 'Yolo Wonder' |
| <i>Ceratodon purpureus</i> (Hedw.) Brid. | Cératodon pourpre (mousse) |
| <i>Ceratopteris richardii</i> Brongn. | Fougère de Richard |
| <i>Chlorella</i> sp. | Chlorelle |
| <i>Crepis capillaris</i> (L.) Wallr. | Crépide capillaire |
| <i>Dactylis glomerata</i> L. | Dactyle aggloméré |
| <i>Daucus carota</i> L. var. <i>carota</i> | Carotte |

| | |
|------------------------------------------------------|----------------------------------|
| <i>Echinacea</i> sp. | Échinacée |
| <i>Epidendrum</i> sp. | Épidendron |
| <i>Gossypium</i> sp. | Coton |
| <i>Haplopappus gracilis</i> (Nutt.) A. Gray | Aster grêle |
| <i>Helianthus annuus</i> L. | Tournesol |
| <i>Helianthus annuus</i> L. cv. 'Teddy Bear' | Tournesol 'Teddy Bear' |
| <i>Hemerocallis</i> sp. | Hemerocalle |
| <i>Hordeum vulgare</i> L. cv. 'Haruno Nijo' | Orge 'Haruno Nijo' |
| <i>Kalanchoe</i> sp. | Kalanchoé |
| <i>Lactuca sativa</i> L. cv. 'Dragoon' | Laitue 'Dragoon' |
| <i>Lactuca sativa</i> L. cv. 'Moskovskiy' | Laitue 'Moskovskiy' |
| <i>Lactuca sativa</i> L. cv. 'Outredgeou's | Laitue 'Outredgeous' |
| <i>Lactuca sativa</i> L. cv. 'Red Romane' | Laiture 'Red Romane' |
| <i>Lactuca sativa</i> L. cv. 'Sierra' | Laitue 'Sierra' |
| <i>Lactuca sativa</i> L. cv. 'Waldmann's Green' | Laitue 'Waldmann's Green' |
| <i>Lens culinaris</i> Medik. | Lentille |
| <i>Lepidium sativum</i> L. | Cresson alénois |
| <i>Linum usitatissimum</i> L. | Lin cultivé |
| <i>Liquidambar styraciflua</i> L. | Copalme d'Amérique |
| <i>Muscari neglectum</i> (L.) Mill. | Muscari à grappe |
| <i>Ocimum basilicum</i> L. cv. 'cinnamon' | Basilic 'cannelle' |
| <i>Oryza sativa</i> L. cv. 'Koshihikari' | Riz 'Koshohikari' |
| <i>Oryza sativa</i> L. cv. 'Tan-ginbozu' | Riz 'Tan-ginbozu' |
| <i>Pimpinella anisum</i> L. | Anis vert |
| <i>Pinus elliotii</i> Engelm. | Pin d'Elliott |
| <i>Pinus sylvestris</i> L. | Pin sylvestre |
| <i>Pinus taeda</i> L. | Pin à l'encens |
| <i>Pisum sativum</i> L. cv. 'Weibul's Apollo' | Pois cultivé 'Weibul's Apollo' |
| <i>Pisum sativum</i> L. cv. 'Ageotropum' | Pois cultivé 'Ageotropum' |
| <i>Pisum sativum</i> L. cv. 'Greytukay' | Pois cultivé 'Greytukay' |
| <i>Pisum sativum</i> L. cv. 'Gribovskiy rannyj' | Pois cultivé 'Gribovskiy rannyj' |
| <i>Pisum sativum</i> L. cv. 'Pioneer' | Pois cultivé 'Pioneer' |
| <i>Platanus occidentalis</i> L. | Platane d'Amérique |
| <i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco | Douglas |
| <i>Raphanus sativus</i> L. | Radis |
| <i>Salvia</i> sp. | Sauge |
| <i>Sequoia sempervirens</i> (D. Don) Endl. | Séquoia |
| <i>Solanum lycopersicum</i> Dunal | Tomate |
| <i>Solanum tuberosum</i> L. | Pomme de terre |
| <i>Spinacia oleracea</i> L. | Epinard |
| <i>Spirodela</i> sp. | Spirodèle |
| <i>Tradescantia paludosa</i> E.S. Anderson & Woodson | Tradescantia des marais |
| <i>Tradescantia</i> sp. | Tradescantia |
| <i>Trifolium repens</i> L. | Trèfle banc |
| <i>Triticum aestivum</i> L. | Blé tendre |
| <i>Triticum aestivum</i> L. cv. 'Super Dwarf' | Blé tendre nain |
| <i>Triticum aestivum</i> L. cv. 'USU-Apogee3' | Blé tendre 'USU Apogée 3' |
| <i>Triticum aestivum</i> L. var. 'Georgia 1123' | Blé tendre 'Georgia 1123' |
| <i>Tulipa</i> sp. | Tulipe |

| | |
|------------------------------------------------------|----------------------------|
| <i>Vigna radiata</i> (L.) R. Wilczek | Haricot mungo |
| <i>Vinca</i> sp. | Pervenche |
| <i>Zea mays</i> L. cv. 'Silver Queen' | Maïs 'Silver Queen' |
| <i>Zea mays</i> L. cv. 'Sterling' | Maïs 'Sterling' |
| <i>Zinnia elegans</i> Jacq. | Zinnia élégant |
| <i>Zinnia hybrida</i> Roem. & Usteri cv.' Profusion' | Zinnia hybride 'Profusion' |