



Mise en place d'un dispositif expérimental

Plantes potagères :

- Plante principale : Tomates de Quimper
- Plantes de services : Basilics Cannelle et Oignons ciboules

Identification des freins techniques et challenges agronomiques/climatiques/paysagers liés au lancement de la production en bacs sur le toit de Saclay.

Acquis opérationnels issus d'expérimentation en conditions de production

Expérimentation issue du lancement du toit expérimental de Saclay- SADAPT Plateau de Saclay

Culture et contexte pédoclimatique

Climat océanique doux et modéré.

Productions maraichères en bacs sur 79cm*79cm*35/40cm.

Cultures annuelles / vivaces. Sans utilisation de produits phytosanitaires ou d'engrais chimiques.

Association Tomates de Quimper / Basilics Cannelle / Oignons ciboules.

Caractéristiques des plantes potagères utilisées

- Plantes potagères annuelles
- Légumes fruits, feuilles et bulbes
- Associations positives pour du bio intensif.

Lieu(x) et pilote de l'expérimentation

INRAE sur le plateau de Saclay à Palaiseau (91120)
Au sein du campus AgroParisTech
Bâtiment de service F



Contacts

Eva Goyat
eva.goyat@inrae.fr
Caroline Petit
caroline.petit@inrae.fr
Antoine Tardif
antoine.tardif@agroparistech.fr



Dispositif : En 2012, Agroparistech et INRAE ont développé sur l'ancien site de Claude Bernard dans le 5ème arrondissement de Paris, un toit expérimental, initiative née de l'intérêt croissant de la production sur toit notamment dans les villes denses, et du manque de données concrètes sur ces sujets. Ceci a donné lieu aux travaux de Baptiste Grard sur les Technosols avec Christine Aubry ainsi que de nombreux stages (B.Grard, 2017). Ce projet a été mené par la collaboration de plusieurs unités de recherche associant de nombreuses expertises : UMR SADAPT (INRAE-AgroParisTech), UMR ECOSYS (INRA-AgroParisTech), UMR GENIAL (INRAE-AgroParisTech) et UMR ESE (CNRS-UPS-AgroParisTech). Le dispositif était composé de plusieurs zones de production en fonction des projets qui se sont succédés. Suite au déménagement, le matériel des dispositifs a été mobilisé en partie sur le nouveau toit du campus de Saclay. Aujourd'hui le toit est consacré aux recherches d'ECOSYS (S.Joimel responsable scientifique du toit, A.Tardif technicien et C. Boyer doctorant) et de SADAPT (E.Goyat IR). Nous décrivons ici le dispositif entretenu par SADAPT.

Expérimentation(s) : Le dispositif traité dans cette étude n'est pas dédié à un projet financé sur contrat mais permet à SADAPT un premier lancement de production pour identifier les conditions climatiques, environnementales, techniques et paysagères de ce nouveau site. Cette première année de production basée sur de l'observation et du suivi de données est réalisée par SADAPT avec l'aide d'ECOSYS (Antoine Tardif) dans la mise en place technique du dispositif. L'année 1 nous permet donc de réaliser un test d'homogénéité pour l'implantation de futures expérimentations en identifiant de potentielles zones de variations.

Le but pour la suite est de mettre en place de nouveaux projets et de définir des modalités innovantes de production sur toit.

Objectifs de cette (ces) expérimentation(s) :

Pour la saison d'été 2023 l'objectif a été d'étudier les conditions du site expérimental et d'y installer un premier cycle de production pour suivre les étapes d'un itinéraire technique dans les conditions réelles de terrain. Nous avons suivi la production de variétés communément produites en Agricultures Urbaines et Périurbaines (AUP) pour observer l'évolution du développement des plantes dans ce nouvel environnement et paysage. Nous avons noté chaque **étape du cycle des plantes**, ainsi que **leur santé en fonction des conditions climatiques et de potentielles pressions** selon quelques mesures/observations qu'a pu effectuer Baptiste Grard dans sa thèse (B.Grard, 2017). Cela nous permet d'**anticiper** de potentiels challenges, de mettre en place un premier système de goutte à goutte, de nous former sur les étapes en amont et aval production (commandes, réceptions et stockage, gestion des récoltes) ainsi que de recenser le matériel nécessaire pour le lancement de futurs projets du semis au stockage de la récolte et leurs débouchés.

- Observer chaque étape du cycle des plantes ainsi que leur santé.
- Relever les conditions climatiques ainsi que de potentielles pressions.
- Identifier les outils et matériels nécessaires au maintien et la gestion du site expérimental.
- Identifier les leviers et challenges au suivi de l'itinéraire technique associé au système de culture.



Nombre de modalités sont présentées dans cette fiche :



Nous avons utilisé 8 des anciens bacs du toit de Claude Bernard directement posés sur les dalles du toit. Les armatures en bois des bacs ont d'abord été nettoyées puis vernies avec de l'huile de lin. Nous avons agrafé une nouvelle couche d'EPDM dans le fond pour retenir l'eau de percolation. Nous avons ensuite rajouté 5cm de billes d'argile comme couche drainante, puis mis le film géotextile autour de l'intérieur du bac pour contenir les couches de substrats. Ensuite, nous avons disposé en premier 15 cm de copeaux de bois mélangé à du trèfle séché, puis 15 cm de compost de feuille. Nous avons 5 bacs (1, 3, 5, 7 et 8) de dimensions **85*85cm*40cm** et 3 bacs (2, 4 et 6) de **85*85cm*50cm** (seuls la taille du géotextile change 139cm*139cm et 149cm*149cm ainsi que l'épaisseur du compost 15cm et 20cm). Pour cette première saison nous avons donc choisi d'utiliser dans les armatures en bois récupérées, des billes d'argiles, des copeaux de bois et du compost déjà présents sur le site ou facilement livrables sachant que leur utilisation a déjà été étudiée sur l'ancien toit. Nous aurions pu choisir d'autres matériaux alternatifs mais comme il était très tard pour lancer une production (début juillet) nous avons privilégié la disponibilité des ressources qui étaient **compatibles avec les objectifs** de cet été et les aménagements initiaux (Fabbri D. and al., 2021).

Les variétés sélectionnées pour cet été 2023 proviennent d'Agrosemens qu'ECOSYS avait en stock, ce sont des semences bio. Nous avons choisi de maximiser la densification en sélectionnant trois variétés : tomates de Quimper (Solanacées), basilics cannelle (Lamiacées) et oignons ciboule (Alliacées). Nous sommes arrivés à cette décision par leur complémentarité positive autant physique, nutritive que productive (fruits, feuilles/fleurs, bulbes). Ces variétés sont souvent cultivées chez les porteurs de projet en agriculture urbaine notamment pour les débouchés mais également pour l'intérêt du basilic cannelle associés aux tomates (plantes multiservices). (C.Djian-Caporalino et al, 2020) De plus, les oignons favoriseraient le développement du réseau mycorhizien pour les tomates et basilics. (P.Julianus, 2020) Des tomates cultivées à côté d'oignons se développeraient plus vite et mieux.

Tous les bacs possèdent le même substrat et les mêmes matériaux. Pour cette expérimentation nous avons seulement deux modalités qui diffèrent uniquement par les plantes qui y poussent.

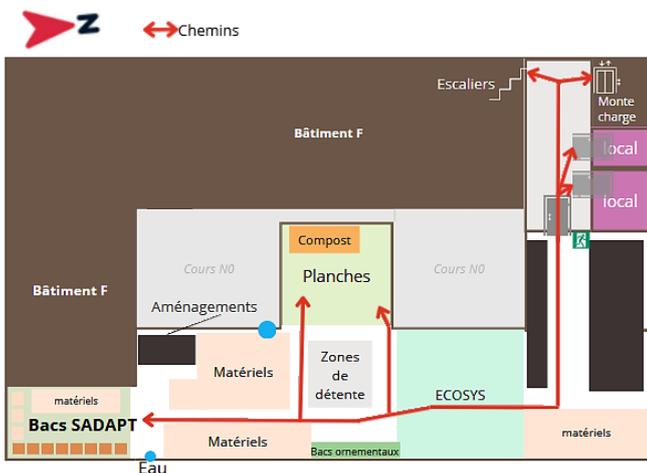
- **Les bacs cultivés** : Tomates/basilics/oignons qui suivent le même schéma de semis, la même irrigation et le même itinéraire technique.
- **Le bac sans intervention** : le bac 2 a été installé plus tard (problème sur l'armature en bois), nous avons donc choisi de le laisser libre sans semis ni opération technique, seule l'irrigation a été installée avec le même programme que les autres bacs pour ne pas assécher le substrat.



Cette expérimentation permet le suivi et la récolte de données d'une production sur toit dans un environnement différent de l'intra-urbain de Paris, cela complète ce qui a pu être fait sur l'ancien toit d'APT. Nous nous trouvons ici dans un environnement périurbain, avec une ouverture sur un paysage agricole et forestier qui est bien différent du quartier dense de Paris. Nous pouvons ainsi observer si les challenges et les conditions climatiques sont similaires comme par exemple l'intensité de la pression de l'avifaune. De plus, le bâtiment récemment construit possède des aménagements qui n'étaient pas présents dans l'autre bâtiment comme un monte-charge, des salles de stockage ou un laboratoire dédié.

La conception du système cultivé

Le plan du site



Système de culture en bacs SADAPT

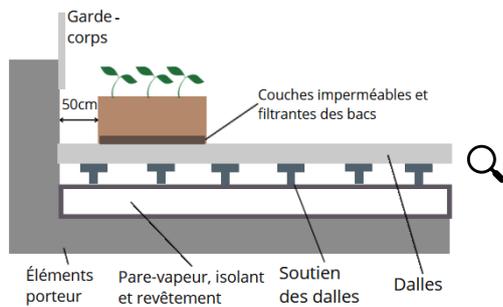
L'expérimentation s'effectue sur le toit du bâtiment F au niveau 5. L'accès se fait via le monte-charge ou des escaliers présents à

chaque étage du bâtiment F. Il n'existe que ces seules entrées qui donnent sur un même couloir où se trouvent les deux locaux de stockage. Ensuite nous avons accès directement au toit grâce au badge.

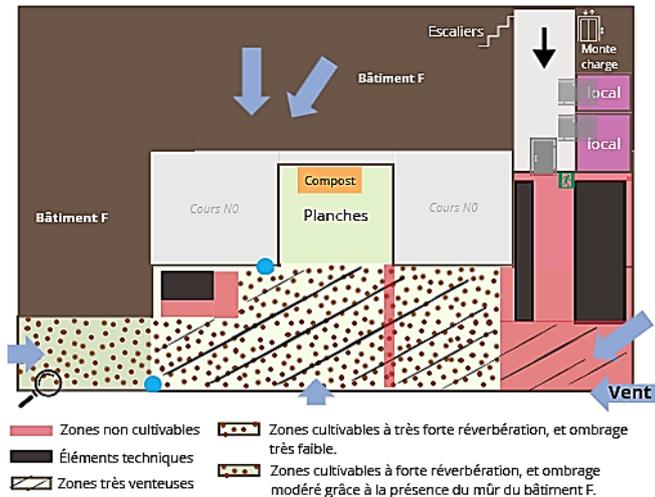
Plusieurs aménagements sur le toit diminuent la surface accessible et cultivable tels que des souffleurs et sorties d'air de laboratoires. En revanche, l'espace n'est ni à étage, ni morcelé. Nous trouvons de nombreuses sorties d'eau et de prises électriques partout autour du toit. L'évacuation des eaux de percolation se fait directement via les dalles qui doivent toujours être accessibles, ce qui nous contraint à avoir un système sans ancrage important au sol.

La portance est de maximum 1t/m² (pas égale partout) sauf sur l'espace des planches qui ne peuvent supporter une charge de plus de 300kg/m². La capacité du toit se limite à des charges d'environ 600kg/m² quant aux déplacements de matières.

Les systèmes mis en place sont en bacs car ils comprennent leur propre couche filtrante et drainante, et sont des dispositifs modulables et facilement démontables pour l'accès sous les dalles. Les fixations ou dispositifs permanents ne sont pas possibles. La charge permanente de ces systèmes est : ~**300-500 kg/m²**.



Les conditions climatiques sont variables sur le toit en fonction de l'ouverture plus ou moins grande sur le paysage et la disposition du bâtiment :

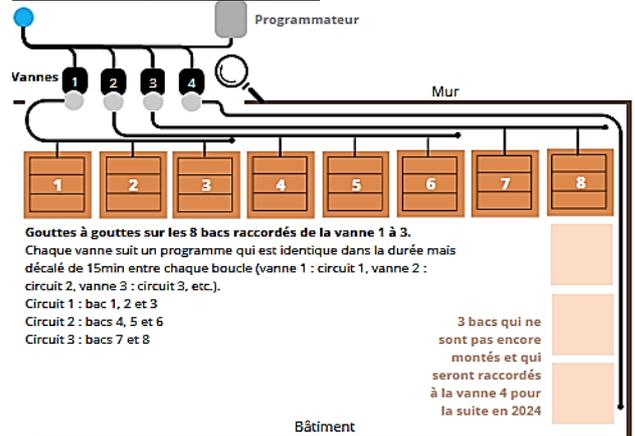


- **Agencement spatial** : Les bacs sont positionnés à 50 cm du garde-corps du toit en ligne.
- **Agencement temporel** : Nous les avons installés début juillet 2023 pour suivre la production de juillet à octobre.
- **Modalités techniques** : 7 bacs sont cultivés et 1 est laissé libre.
- **Irrigation** : Nous avons installé un système de goutte à goutte avec programmateur et compteur d'eau. Le circuit est divisé en 4 sorties d'eau pour une irrigation équivalente.
- **Fertilisation** : La fertilisation se limite à l'ajout de la couche de compost et le paillage de copeaux de bois.
- **Protection de cultures** : les semis sont protégés par une cage lors des premières semaines de développement pour éviter tout dégât causé par l'avifaune ou de potentiels ravageurs. Ensuite, les cultures sont aspergées de purin d'ortie et de prêle pour limiter la propagation de maladies.
- **Conduite** : sur les trois espèces observées seuls la tomate et le basilic nécessitent un entretien régulier. Les tomates sont régulièrement tuteurées et leurs gourmands coupés, les basilics sont piqués à la tête en début de saison pour étoffer les bouquets et obtenir plus de récoltes. Quant aux ciboules ils sont éclaircis et repiqués sur les zones de non levées.
- **Travail du sol** : le technosol au sein des bacs n'est pas touché tout au long de la saison, seul un paillage (copeaux de bois) est rajouté lorsque le développement des cultures le permet.
- **Temporalité des opérations** : Les bacs sont observés tous les 2 ou 3 jours en fonction du climat ou du stade de développement des plantes et les besoins de récoltes. Les opérations s'effectuent en début de matinée et se

terminent plus ou moins tard dans la journée en fonction des tâches à effectuer (taille des gourmands ou mesures des tiges de tomates très chronophages).

- **Espace pour circuler** : Il est possible de circuler librement autour des bacs étant situés à 50cm du muret et à 30cm de distance entre eux.
- **Espace pour la récolte** : équivalent de celui pour circuler.
- **Matériels et équipements utilisés** : Nous utilisons des outils tels que le sécateur ainsi que des caisses, des sachets plastiques, une brouette, des ficelles, un pulvérisateur, des gants, ou un mètre pour la gestion quotidienne et les mesures.
- **Gestion des produits récoltés** : Une fois les produits récoltés ils sont amenés en salle de stockage pour être pesés/comptés/mesurés puis sont stockés dans des caisses sur étagères ou dans les frigos. Lorsque la production n'est pas envoyée au laboratoire pour analyses, elle est distribuée aux différents personnels présents dans le bâtiment.
- **Besoins humains** : ce dispositif nécessite une à deux personnes pour la gestion globale du site.

Schéma du système d'irrigation



Ajustements liés au dispositif expérimental

Nous avons effectué des semis directs en bacs car la saison était déjà largement avancée. Nous avons également dû arroser manuellement les bacs les premières semaines de juillet dans l'attente de l'installation complète des boucles d'irrigation et de la mise en place des programmes spécifiques. Les matières utilisées ont pu être récupérées directement sur le toit grâce à d'anciennes commandes de compost et de copeaux de bois ou d'EPDM et de géotextile facilitant la mise en place et la logistique.

Avant la mise en œuvre du système, plusieurs craintes ont été identifiées par les expérimentateurs. Nous avons émis plusieurs hypothèses en conséquent :

- Le bon développement des plantes suite aux semis directs : Le semis direct entrainera des taux de germination faibles.

- La pression de l'avifaune ainsi que des ravageurs potentiels : La pression des maladies/ravageurs et de l'avifaune est plus ou moins importantes selon les bacs et l'étape du cycle de développement (ex : fontes des semis, dégradation des fruits, etc.).
- L'impact des adventices sur le développement des plantes et la gestion des bacs : La pression des adventices est forte en vue de l'utilisation de compost qui a été précédemment stocké sur des planches de cultures du toit où diverses adventices ont pu se développer.
- L'impact du vent sur les bacs et le développement des plantes : L'impact du vent sur la production des bacs est graduel du bac 1 à 8, avec le bac 1 le plus impacté et 8 le moins.
- L'impact de l'ensoleillement direct et de la réverbération des dalles gris clair : Le substrat s'assèchera rapidement en cas de mauvaise gestion de l'irrigation.
- Le fonctionnement des programmes d'irrigation : les problèmes d'irrigation pourront être contrôlés sans conséquences sur la production.
- Seul le substrat sera la source de nutrition des plantes du bac : La composition du substrat (compost et copeaux de bois) est assez riche pour fournir tous les éléments nutritifs nécessaires aux plantes sélectionnées tout en réalisant son rôle de support.

La mise en œuvre de l'expérimentation

Les observations ont consisté à suivre le cycle de développement des plantes (du semis à la récolte) selon les conditions climatiques et paysagères ainsi que les potentiels perturbations survenues, allant de processus internes au système (évolution du substrat) à des agents externes (types ravageurs ou climat).

Modalité d'utilisation 1 : Plantes potagères

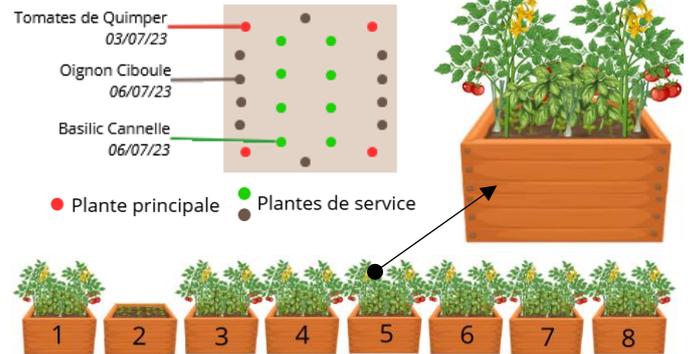


Caractéristiques de la modalité d'utilisation

Au sein des bacs nous avons densifié le semis pour que la surface du bac soit couverte de production. Nous avons favorisé ici le principe de l'association avec le choix d'une culture centrale : la

tomate. Ainsi nous avons semé 4 pieds de tomates par bacs, disposé chacun dans les angles. Ensuite, nous avons créé deux lignes de 4 semis de basilics au milieu pour obtenir des mottes centrales. Puis l'oignon ciboule est semé autour sur les côtés du bac là où l'espace le permet non loin des tomates

.Schéma du système de culture



Voir Annexe 5

Pourquoi ce choix ?

Le but est d'observer comment un bac de ces dimensions et son substrat évoluent avec une première production dense. Nous avons également une volonté de favoriser le mélange entre famille de plantes afin de favoriser la biodiversité et les synergies potentielles. Nous souhaitons observer les limites de cette densification en fonction des espèces et variétés en production.

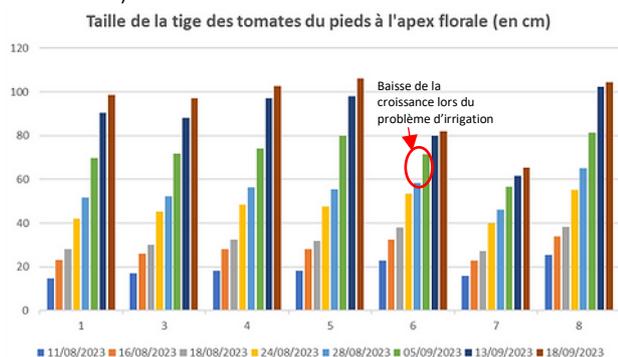
Cela nous permet également d'affiner nos stratégies dans le choix des espèces qu'elles soient principales ou de services.

Freins rencontrés

- **Irrigation** : nous avons rencontré des problèmes techniques lors de la mise en place du système d'irrigation. Nous avons repris les anciens systèmes de goutte à goutte du toit précédent. Lors de sa mise en fonction plusieurs fuites ont été difficiles à résoudre ainsi que le branchement des fils avec le programmeur. Mais tout a pu être réglé au cours du mois de juillet permettant d'avoir une irrigation fiable et autonome en août, septembre et octobre.
- **Goutte à goutte** : nous avons remarqué lors du mois d'août que deux bacs, 6 et 7, souffraient d'un manque d'eau de par les ports aériens qui ne se développaient plus et l'assèchement du substrat. Or ces deux bacs ne font pas partie des mêmes circuits et les autres bacs étaient correctement irrigués. Nous en avons déduit que c'était les grilles de goutte à goutte de ces deux bacs (différentes des autres) qui ne fonctionnaient pas. Le manque d'eau a entraîné un retard de développement important sur ces deux bacs, notamment le bac 6 ainsi que des nécroses sur les tomates. Nous avons rajouté



une grille supplémentaire sur ces deux bacs (voir Annexe 4a et b).



- Les ciboules** : de façon surprenante, nous avons eu des résultats très positifs du semis direct pour les tomates (100% germination) et les basilics (72%) contrairement aux oignons ciboules (49%) qui ont montré des difficultés à lever. En effet, avec le semis direct tardif, la densification ainsi que les éléments grossiers du substrat (copeaux et morceaux de bois importants) les ciboules n'ont pas réussi à se développer uniformément et correctement. La majorité est restée de petit calibre contrairement à ce que l'on peut observer au champ.



- Le substrat** : au cours du temps nous avons vu le substrat s'affaisser grandement perdant environ 9cm sur l'ensemble des bacs à la fin de la saison. Cette baisse de niveau importante et rapide a entraîné une instabilité des pieds de tomates dans les bacs qui pouvaient casser entraînant la chute de tuteurs lors de fortes bourrasques de vent (Voir Annexe 6).



Suggestions d'ajustements

- Il est essentiel de préparer le circuit d'irrigation en amont du lancement de la production en vérifiant son fonctionnement et anticiper des pièces de rechange.
- Il est primordial de préparer le plan de production à l'avance pour anticiper les commandes à temps que ce soit des semis directs ou des plants.
- L'évolution du substrat nous interroge sur les variétés qui peuvent être mises en production notamment avec la présence des éléments grossiers, son affaissement et compaction. Cela remet en question la mise en culture des plantes lourdes ainsi qu'à bulbes/racines/tubercules.
- Nous n'avons pas aspergé les plantes de purins avant les vagues de pluies de juillet 2023. Les maladies ont pu s'installer sur certains pieds de basilics. La propagation a

pu être maîtrisée grâce à l'aspersion au purin et la coupe des zones malades. Les actes de prévention doivent être inclus dans l'itinéraire technique pour éviter la perte de plusieurs plants, surtout sur un espace aussi restreint.

Remarques sur le protocole

Au cours de la réalisation des protocoles plusieurs points ont pu évoluer :

- Au début la mesure des pieds de tomates était réalisée avec un mètre de la base à l'apex puis quand est venue la récolte (apparition des tomates rouges) nous sommes focalisés sur la production des fruits (pesées, comptages et mesures) et non sur la croissance végétative.
- La pesée/bacs de la récolte de basilic est une gestion à anticiper que nous n'avons pas faite. Les tomates et ciboules ont pu avoir leur récolte comptée par bac contrairement au basilic où la mesure s'est faite sur l'ensemble des bacs par jour de récolte.
- Nous avons réalisé lors de deux vagues de récolte la mesure du diamètre des tomates puis nous avons arrêté pour des questions de temps.
- La gestion des maladies s'est très bien effectuée : nous avons pu contrôler la maladie grâce à la coupe des zones malades avec des gants et un nettoyage des outils avec du vinaigre entre les bacs.
- Nous n'avons pas anticipé la pesée des résidus de culture (feuilles et gourmands des plants de tomates) que nous avons comptabilisé seulement lorsque nous avons vidé les bacs et non ceux tout au long de l'itinéraire.

Résultats

Au total nous avons récolté à travers la période juillet-septembre-octobre sur 7 bacs avec compost et copeaux de bois (Voir Annexes 1, 2 et 3) :

- **39,4kg** de tomates de Quimper soit 7,12 kg/m² dont 19,6kg de tomates rouges (cad 409 au total) et 19,8kg de vertes (cad 673 au total).
- **8,6kg** de basilic cannelle dont 5,8kg lors de la coupe des basilics entiers (0,5kg/m² sans la récolte finale).
- **515g** d'oignons ciboules (0,93kg/m²).

Au total nous avons prélevé à travers la période juillet-septembre-octobre sur 7 bacs :

- **9,6kg** de résidus de tiges et feuilles des plants de tomates + **Xkg** de feuilles tout le long de la récolte.
- **5,8kg** lors de la coupe des basilics entiers à la fin de la production.

Ces résidus ont pu être pris en charge grâce à la station de compostage et aux bennes du niveau 0. Les aménagements du bâtiment permettent une gestion de volume important de résidus de culture.

Ce qui est satisfaisant

- Absence de pression de l'avifaune sur la production.
- Pas d'impact graduel du vent sur la production. Le développement végétatif est croissant du bac 1 à 8 mais la production de tomates n'est pas impactée comme celle des basilics et des ciboules. Au contraire dans le bac 8 dit le moins exposé au vent, les ciboules n'ont pas bien évolué.
- Pas d'impact notable de ravageurs.
- Pas de séquelle de la maladie sur les basilics.
- La levée très satisfaisante des tomates et basilics malgré les semis directs et tardifs.

Ce qui n'est pas satisfaisant

- La levée et le développement des ciboules restent faibles.
- L'évolution du substrat qui s'affaisse et se compacte entraînant une épaisseur faible pour soutenir des tiges importantes (Annexe 6) ou permettre le développement de bulbes.
- L'ajout importante de matière organique une fois la saison terminée.
- L'assèchement rapide du substrat. Les bacs sont étroitement dépendant au système d'irrigation. Nous avons pu remarquer qu'il suffit d'un problème d'apport d'eau pour impacter fortement la production des tomates (en quantité et qualité, apparition de culs noir) ainsi que celle du basilic et des ciboules. Le programme doit être faible mais répété régulièrement dans le temps en fonction de la météo car s'il est trop intense l'eau percole directement créant des fuites d'eau sur les dalles.

Modalité 2 : Plantes spontanées, adventices



Caractéristiques de la modalité d'utilisation

Ce bac a été laissé libre pour observer la flore spontanée qui s'y installe et notamment les adventices présentes dans le compost après remplissage des bacs.

Pourquoi ce choix ?

Premièrement ce fut par contraintes techniques puis nous avons décidé de laisser ce bac libre pour observer l'évolution des plantes spontanées à travers les mêmes conditions climatiques, paysagères et environnementales que les autres.

Freins rencontrés

Nous avons constaté une forte invasion de pucerons sur le bac 2 d'adventices. Alors que ce bac est disposé entre deux bacs de production nous n'avons pas vu d'invasion sur les autres bacs. C'est le seul qui n'a pas été traité au purin ou qui ne contient pas l'association semée.

Bilan après l'expérimentation

Informations à retenir de l'expérimentation :

Productions des bacs

Nous constatons qu'en fonction de la variété ce n'est pas le même bac qui présente la plus grande production :

Tomates : bac 5 en quantité récoltée

Basilics : bac 8 en quantité récoltée

Ciboules : bac 1 en quantité récoltée

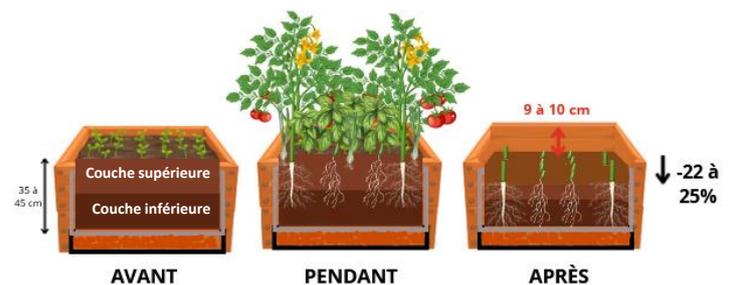
En fonction des conditions des bacs, les plantes se sont plus ou moins favorablement développées.

Le bac 8 a dès le départ présenté des croissances avancées par rapport aux autres bacs mais malgré ce développement végétatif important, les plants ont donné moins de tomates que d'autres. En revanche le basilic a pu bien croître à l'inverse des ciboules qui n'ont pas trouvé leur place. Les bacs 5, 4 et 3 montrent globalement des rendements plus élevés sur les 3 variétés qui ont su trouver un équilibre malgré la densité. En revanche les bacs 6 et 7 sont ceux qui présentent des rendements faibles (moitié des autres bacs) par le stress hydrique qu'ils ont subi malgré le bon départ du bac 6.

Nous ne pouvons pas conclure quant à la pression graduelle du vent des bacs 1 à 8. La densité et d'autres critères comme l'irrigation ou la gestion des maladies rentrent fortement en jeu.

Evolution du substrat

Nous avons constaté une baisse moyenne de **~9cm** du substrat sur l'ensemble des bacs au court de ces 3 mois de production. Cela représente environ **-25%** de la taille du substrat initiale pour les bacs de hauteur **35cm** et **-22%** pour ceux de **45cm**. Nous constatons que nos valeurs sont légèrement au-dessus de ce qu'a observé B. Gard au cours de sa thèse (-10% à 20%). Nous pouvons justifier cela par la densification de la production qui était sûrement supérieur dans nos bacs et le choix du substrat avec une couche supérieure de compost et inférieure de copeaux de bois. En effet, cette modalité a pu se dégrader plus rapidement que celles composées de compost et de briques étudiées par B. Gard. L'effondrement serait dû à une perte de masse, un lessivage, de la lixiviation ainsi que de la biodégradation. Il est nécessaire de trouver un compromis **entre la dégradation du technosol et les apports en nutriments**. Les technosols étant trop riches en éléments nutritifs pour les besoins des plantes la composition et la disposition des couches composant celui-ci doivent être réfléchi étroitement avec l'itinéraire technique associé. (B.Gard, 2017)



Cela pose plusieurs réflexions à avoir sur :

- La **quantité de renouvellement de matière** à apporter par saison qui ne sont pas sans contraintes sur des



toitures (ici sur 9cm : $(9*79*79\text{cm}^3)*7 = 339\,183\text{ cm}^3$, **0,34m3** soit **340 L minimum 1 fois/an**).

- **Les potentielles pollutions associées** présentes dans les eaux de percolation et récupérées par le réseau de bâtiment ainsi que les risques de contaminations accumulés par l'ajout régulier de compost dans les bacs.

Quelles couches disposer initialement, en quelle quantité ? Quels apports de renouvellement, à quel moment dans l'itinéraire technique et à quelle fréquence ?

Gestion du travail

Le temps de travail consacré à la production sur la période de juillet à octobre a été de 123h de travail sur presque 90 jours (jours de travail des 4 mois sans week-end) soit 1h30/jour pour 7 bacs en production (du semis à la récolte avec l'arrêt de la production).

Les principales actions chronophages réalisées dans l'itinéraire technique sont : les semis, le montage de l'irrigation, l'entretien des tomates par le tuteurage et la coupe des feuilles, le passage du purin par la vaporisation, les récoltes régulières de basilics et les mesures de tiges de tomates. Le temps consacré est largement dépendant du choix des espèces mises en production.

Le matériel manquant

Nous avons observé le manque de certains outils ou aménagement au déroulement d'une production : une pépinière (installée sur le toit en mars 2024), une zone de lavage, des cagettes de récoltes, des frigos (le conditionnement de 2023 s'est fait dans un mini frigo du local trop petit pour la suite) et sacs de récoltes/packaging.

Bilan

Très peu de pressions anticipées ont été observées (seulement des champignons sur les basilics à cause de la météo de 2023, voir Annexe 7). En revanche des freins non prévus comme des grilles de gouttes à gouttes obstruées, ou un substrat instable et compact. Cette première année de production a permis de répondre aux objectifs initialement définis notamment dans l'étude du site et l'identification de problèmes techniques ou pressions particulières. Ce système reste facile à prendre en main malgré les contraintes.

Et pour la suite ?

Devenir de la production

Nous avons réalisé les dernières récoltes le 27 octobre 2023 et avons également coupé tous les pieds des bacs à leur base (en laissant les racines dans le substrat). Nous avons ensuite remis à niveau le substrat en rajoutant du compost. Ensuite, nous avons choisi de semer de la moutarde dont nous possédions déjà les graines car cet engrais vert permet de stocker l'azote, a un effet nématocide, décompacte les sols par ses racines et est adapté aux sols argileux. Notre technosol étant assez dense cela permet de conserver la vie du sol tout en l'enrichissant en nutriments et en le décompactant pour la suite.



Été 2023

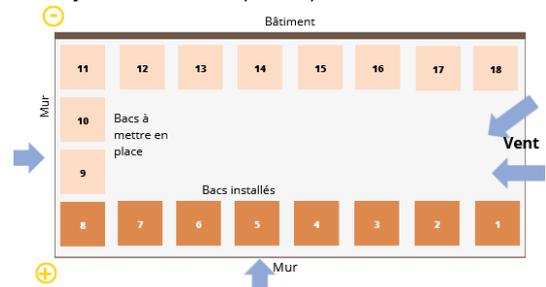
27 octobre 2023



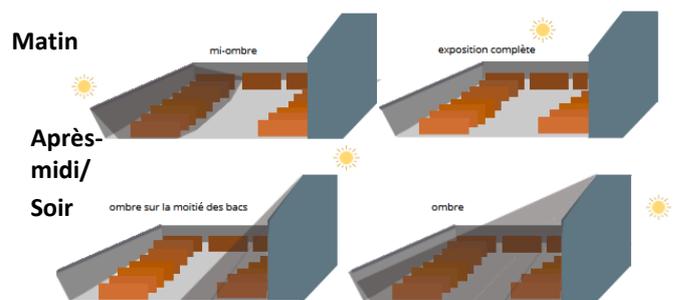
mise à niveau

Perspectives

Ce qui est prévu pour 2024 est d'installer un deuxième cycle de production cette fois-ci sur **une saison complète** pour consolider les **observations** de la saison 1 (ex: absence pression de l'avifaune) et comparer la production **sur la totalité** des emplacements de la zone dédiée en rajoutant des bacs (9 à 18).



Ensoleillement sur une journée :



Cela pourra permettre d'identifier l'impact de l'ensoleillement sur la production (durée et intensité) car les bacs 11 à 18 seront contre le mur du bâtiment qui entrainera un ombrage plus important que les autres.

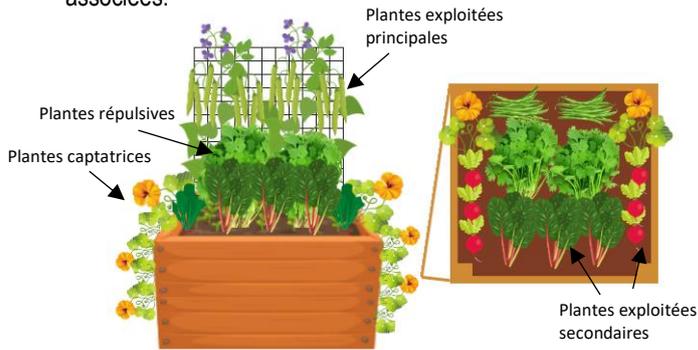
Nous pourrions également **observer l'évolution du substrat** au cours de cette deuxième année de production sur 2 modalités : bacs 1 à 8 avec une deuxième année de production et bacs 9 à 18 en première année de production.

Le choix de la production 2024 s'est défini grâce aux (1)conditions et (2)stratégies de sélection souhaitées.

- 1) La production dans les bacs est agencée de sorte d'accueillir plusieurs espèces complémentaires (2023 : 3, tomates/basilics/ciboules). Les semis doivent se réaliser en mars et les transplantations de plants vers mars-avril-mai. Nous privilégions les plantes de type annuel ou vivace de préférence à fruit, feuille, tige, bulbe ou fleur pour un développement optimal de celles-ci.
- 2) Les plantes complémentaires sont sélectionnées selon différentes caractéristiques : leur récolte, leur entretien, leur nutrition, leur famille, leur port aérien et racinaire, et leur cycle de vie. Ces critères ont pour but de valoriser au maximum la santé et résistance des plantes tout en préservant les parties récoltées ainsi qu'en minimisant les risques de maladies/ravageurs. L'ajout de plantes de service dites compagnes ou répulsives est centrale pour prévenir ces pressions (effets "push-pull", "trap crop").

Nous avons donc choisi une culture principale de Haricots rame grimpant (Fabacées succédant des Solanacées) dans le but de

tester l'exploitation de la verticalité ainsi que leurs bénéfices en tant que cultures mycorhizotrophes. Nous aurons des blettes et radis pour compléter la production ainsi que de la coriandre et des capucines comme plantes de service (pour l'effet push-pull, C.Djian-Caporalino et al, 2020). L'utilisation du radis nous permet de suivre le comportement d'un légume bulbe en comparaison des Oignons ciboules de l'année précédente en incluant plusieurs rotations. Ces choix nous permettent également de tester différentes approches de semis (direct ou en plants), avec la gestion des fournisseurs associés.



Méthode mise en place chez les producteurs urbains/périurbains

Le système que nous avons mis en place est un système communément mis en place par les producteurs (péri)urbains tant

Conception éditoriale : Template réalisé en 2022 par Courteille A., Chave, M., Lefèvre A. en collaboration avec Plumes&Sciences, bénéficiant des financements GIS PICLég et GIS Fruits.

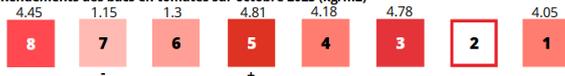
Pour citer ce document : Eva Goyat (2023). Identification des freins techniques et challenges agronomiques/climatiques/paysagers liés au lancement de la production en bacs du toit à Saclay. [Plateau de Saclay]. DOI

ANNEXES

1-Bilan des récoltes de tomates rouges en nombre récolté et en poids par bac et par date :

	03/10/2023	10/10/2023	16/10/2023	20/10/2023	Total/bac
Nombre récolté					
1	4	10	28	22	64
3	6	12	31	30	79
4	4	8	28	27	67
5	5	10	38	20	73
6	7	5	12	4	28
7	2	4	18	2	26
8	11	14	33	14	72
Total/date	39	63	188	119	409
Poids [g]					
1	340	600	1270	1024	3234
3	420	800	1242	1318	3780
4	360	400	1300	1221	3281
5	440	480	1877	1038	3835
6	300	180	380	174	1034
7	120	120	580	86	906
8	780	600	1560	576	3516
Total/date	2760	3180	8209	5437	19586

Rendements des bacs en tomates sur octobre 2023 (kg/m2)



en termes de matériaux que de matières utilisées. Le choix variétal et cette association peuvent se retrouver dans des rotations de ces acteurs ainsi que la composition du technosol. Ces résultats illustrent l'importance du choix des matières utilisées pour le substrat ainsi que sa gestion associée. Quelle autonomie chercher pour une production sur toit notamment celle liée au substrat ?

Pour aller plus loin

Lors de ce travail nous nous sommes référés à :

C.Djian-Caporalino et al, 2020, Agrosystèmes légumiers : les plantes de service contre les bioagresseurs, 25 pages.

Fabbi D. and al., 2021, Constructed Technosols: A Strategy toward a Circular Economy, 18 pages.

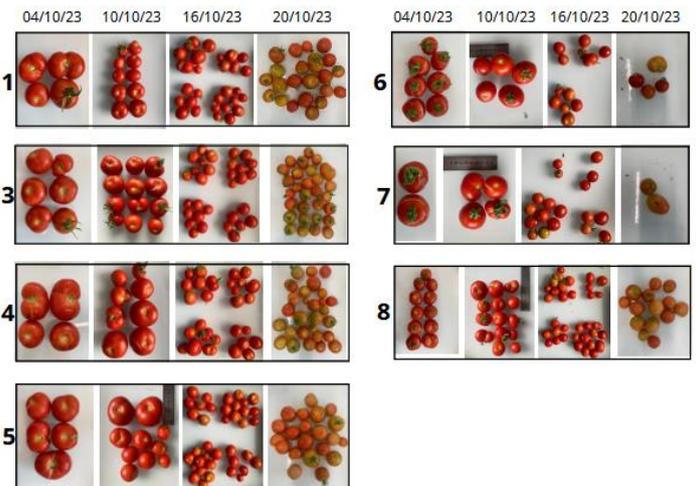
Grard B, 2017, Des Technosols construits à partir de produits résiduaux urbains : services écosystémiques fournis et évolution, 308 pages.

Havard M. and al., 2017, Guide de l'expérimentateur système : concevoir, conduire et valoriser une expérimentation système pour les cultures assolées et pérennes, 173 pages.

Julianus P. and al., 2020, Des tomates mycorhizées dès la pépinière pour favoriser la nutrition et la protection des plantes : développement d'un dispositif-pilote.

Provent F. and al., 2020, Agriculture urbaine comment ménager une toiture terrasse, Guide pratique, 127 pages

2-Ensemble des récoltes de tomates par bac :



3- Récoltes des ciboules le 27/10/23 :

Ciboules/bac	1	3	4	5	6	7	8
Nombre récolté	16	10	13	13	16	17	10
Poids(g)	92	74	87	83	58	68	56
Poids moyen des ciboules / bac (g)	5,75	7,4	6,7	6,4	3,6	4	5,6

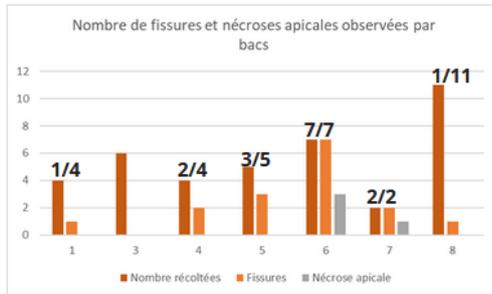


7

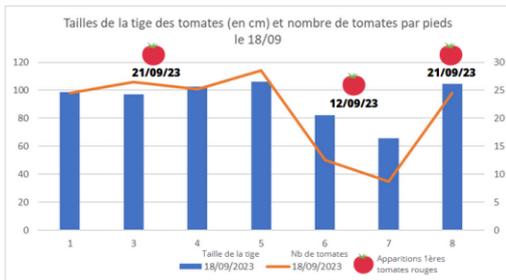


8

4-a Nombre de fissures et nécroses sur les tomates par bac au 03/10/23 :



4-b Dates d'apparition des premières tomates rouges et taille/nombre de tomates par bac au 18/09/23 :



Nous faisons l'hypothèse que le stress hydrique a entraîné l'apparition des tomates rouges pour les bacs 6 et 7 plus tôt que les autres bacs.

5-Photos des bacs le 10/10/23 :



1



2



3



4

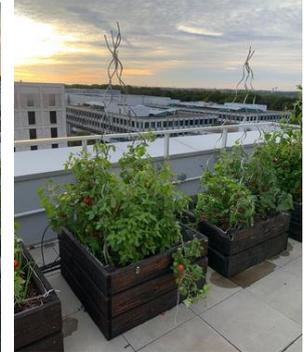


5



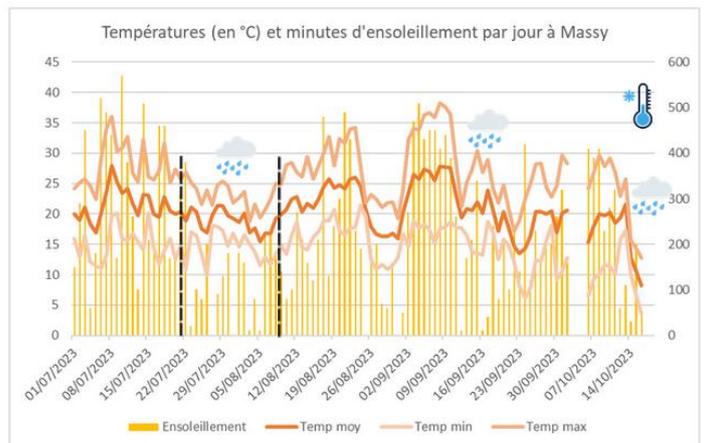
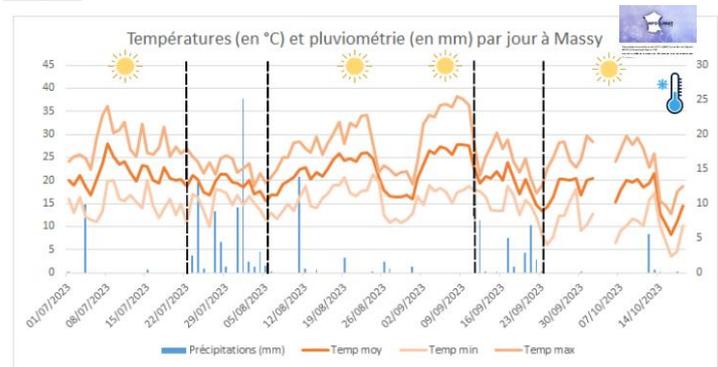
6

6-Pieds de tomates cassés à cause de l'instabilité lié au substrat et des bourrasques de vent :



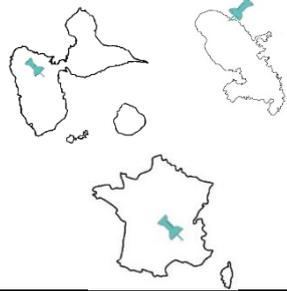
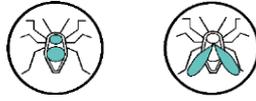
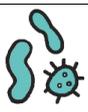
7-Météo sur Massy de juillet à octobre 2023 :

<https://www.infoclimat.fr/climatologie-mensuelle/ME113/aout/2023/-mae-lycee-parc-de-vilgenis-massy.html>



Caractéristiques des plantes de service utilisées			
Fonction recherchée par l'utilisation des pds	Détecter précocement les BA	Type	Indicatrice
	Empêcher les BA de pénétrer sur la culture		Barrière
	Repousser les BA		Répulsive
	Diminuer le potentiel infectieux		De coupure (pour « casser » le cycle de reproduction) Piège (piéger sans permettre la reproduction) Assainissante
	Concurrencer le développement du BA (adventices)		Couvre-sol
	Attirer les auxiliaires		Attractive
	Retenir par l'habitat les auxiliaires		A habitat
	Retenir par des ressources trophiques les auxiliaires		Banque (ressources nutritives animales) Nourricière (ressources nutritives végétales)
	Elever des auxiliaires		Relais
	Favoriser les mutualismes		Mycorhizotrophe
Processus biologiques ciblés	Prédation Facilitation Compétition	COV et altération attractivité plante hôte Attraction BA Autre	

Pictogrammes

Type de culture principale		Bioagresseur visé					
Maraîchage plein champ		Ravageur	Aérien				
Maraîchage sous serre hors-sol			Tellurique				
Maraîchage sous serre		Maladie					
Verger fruitier		Adventice					
Verger maraîcher		Localisation (déplacer la punaise)					
Cultures ornementales	Plein champ						
	Sous serre						
Organisme ciblé		Objet de l'innovation					
Bioagresseur							
Insecte/acarien auxiliaire							
Communauté microbienne du sol							

Inventaire (non exhaustif) de craintes et/ou freins en lien avec l'expérimentation

Craintes ou Freins	Internes	<p>Surcoût</p> <p>Performances agronomiques incertaines/variables</p> <p>Rentabilité faible ou incertaine</p> <p>Efficacité de gestion BA incertaine ou irrégulière</p> <p>Manque de matériel agricole adapté</p> <p>Craintes liées à l'organisation du travail</p> <p>Pénibilité</p> <p>Augmentation de la complexité de pilotage</p> <p>Risque sanitaire</p> <p>Implantation et développement de la pds</p> <p>Conduite de la culture de la pds</p> <p>Gestion des BA sur la pds</p> <p>Passages de machines</p> <p>Gêne dans la mise en œuvre de pratiques sur la culture</p> <p>Autre.</p>
	Externes	<p>Manque de connaissances/références techniques</p> <p>Difficulté d'accès ou coût élevé des plants/semences</p> <p>Manque de variété de plants/semences adaptées au contexte local</p> <p>Contraintes réglementaires</p> <p>Autre.</p>

Djian-Caporalino, C., Caravel, C., Rhino, B., Lavoir, A.-V., Villeneuve, F., Fourret, S., Gautier, H., Chave, M., Cortesero, A.-M., Nicot, P., Romeo, M., Delporte, M., Berthelot, C., 2020. Agrosystèmes légumiers : les plantes de service contre les bioagresseurs. INFOS CTIFL 24.