



## BILAN DE 3 ANNÉES: PAILLIS DE COPEAUX DE BOIS DANS DE JEUNES PLANTATIONS DE POMMIERS NAINS EN MONTÉRÉGIE

Journées Horticoles et Grandes cultures – 28 novembre 2024

Lauréline Boyer, agr., M.Sc – Groupe PleineTerre





# Plan de la présentation

## Mise en contexte

- Les paillis de copeaux de bois dans les vergers
- La qualité des sols et les changements climatiques
- Objectifs

## Méthodologie

- Projet 2022-2024

## Résultats et discussion

- Croissance des pommiers
- Teneur en eau et température du sol
- Santé des sols
- Mauvaises herbes
- Coûts et temps

## Conclusion



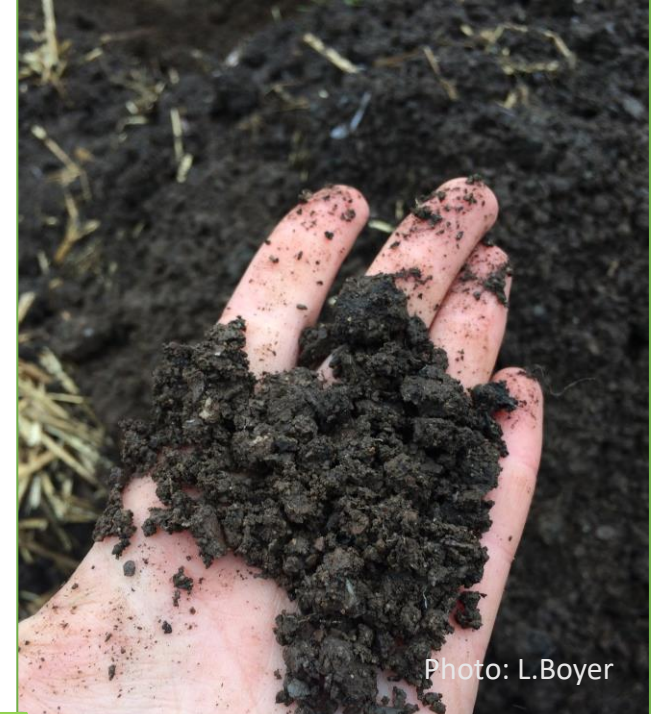
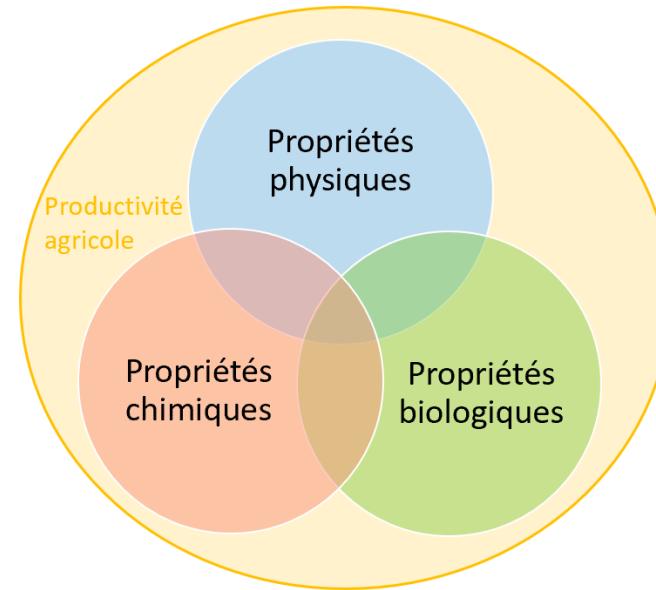
# Mise en contexte

Littérature sur le sujet indique que le paillis de copeaux de bois permet :

- d'améliorer la **qualité du sol** à long terme par rapport à une bande de sol à nu (désherbée) et **les performances agronomiques des pommiers** (rendements et croissance)
- Un sol plus en santé et couvert est plus résilient aux **changements climatiques**
- Stockage de carbone et diminution de **l'empreinte écologique** des vergers

La majorité des vergers en haute densité utilisent des **herbicides** pour contrôler les mauvaises herbes sur le rang ce qui laisse le sol à nu.

Il est important de limiter la **compétition contre des mauvaises herbes** durant les premières années d'implantation des pommiers nains.





# Comment les paillis améliorent-ils les conditions du sol et de croissance des arbres ?

Figure 4. Principaux avantages d'un sol paillé en comparaison à un sol nu, adapté de Kader et al., 2017

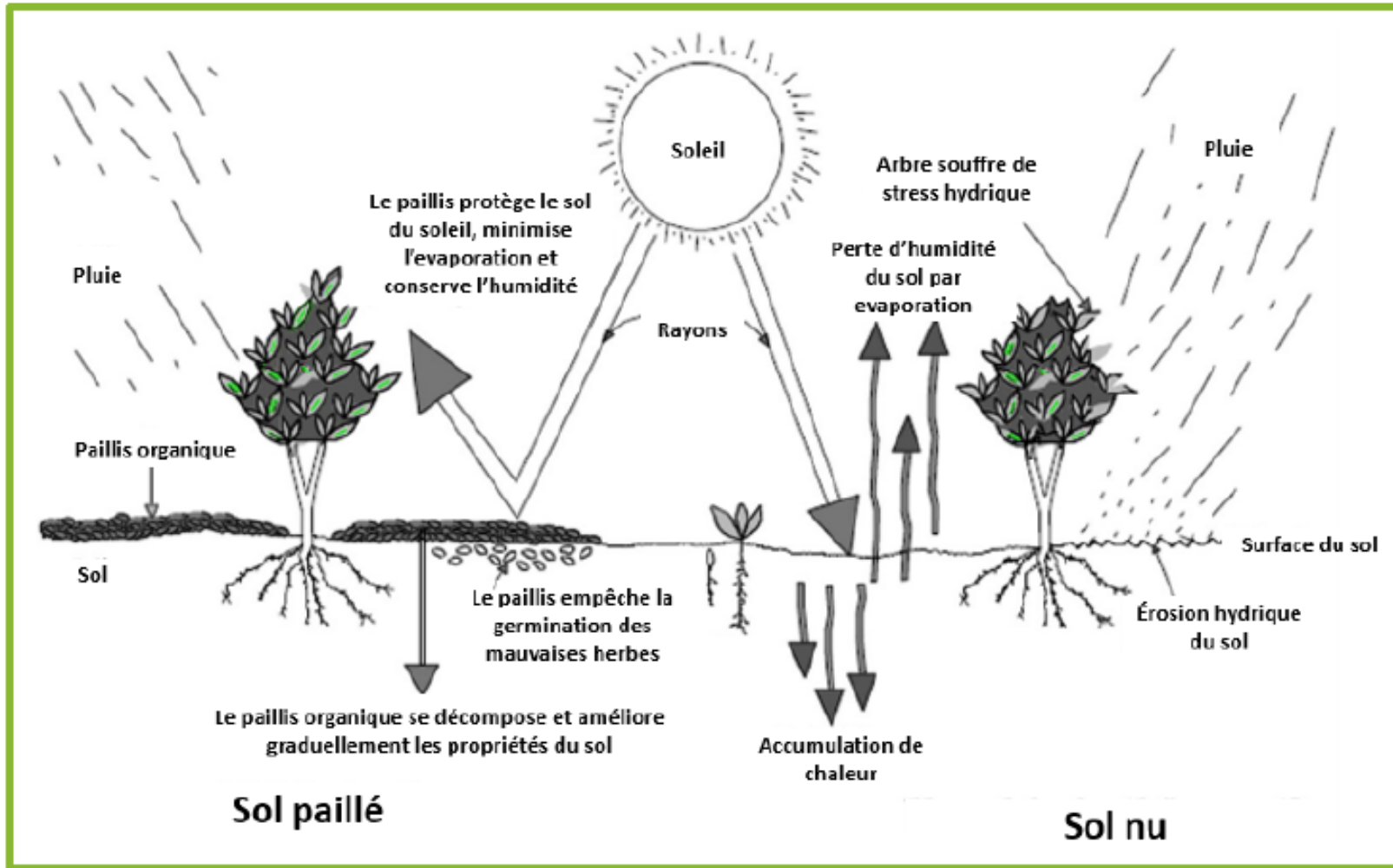


Photo: L.Boyer



# Paillis de copeaux de bois

Tableau A5. Effets des paillis de copeaux de bois sur les performances agronomiques des pommiers ainsi que les propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol

| Auteurs, date  | Variables mesurées et résultats |            |     |   |   |   |   |    |    |    |     |    |     |          |                            |                     |      |                                      |          |             |
|--|---------------------------------|------------|-----|---|---|---|---|----|----|----|-----|----|-----|----------|----------------------------|---------------------|------|--------------------------------------|----------|-------------|
|  | rendement                       | croissance | OM% | C | N | P | K | Mg | Ca | pH | CEC | CE | M/V | Porosité | Stabilité des agrégats (%) | Taux d'infiltration | Ksat | Capacité de rétention en eau (θ max) | Humidité | Température |
| Neilsen et al., 2014                                   | –                               | ↑          | ↑   | ↑ | ↑ | – | ↑ |    |    |    |     |    |     |          |                            |                     |      |                                      |          | ↑           |
| Eissenstat et al., 2018                                | ↑                               | –          |     |   |   |   |   |    |    |    |     |    |     |          |                            |                     |      |                                      | ↑        |             |
| Granatstein and Mullinix, 2008                         | –                               | ↑          | –   |   |   |   |   |    |    |    |     |    | –   |          |                            | –                   |      |                                      | ↑        | ↓           |
| Granatstein et al., 2010                               | –                               | ↑          |     | – |   |   |   |    |    |    |     |    |     |          |                            | –                   |      |                                      |          |             |
| TerAvest et al., 2010; TerAvest 2011                   | –                               | ↑          |     | ↑ | – |   |   |    |    |    |     |    |     |          |                            |                     |      |                                      |          | ↑           |
| Oliveira and Merwin, 2001                              |                                 |            |     |   |   |   |   |    |    |    |     |    | ↓   | ↑        |                            | –                   | ↑    |                                      |          |             |
| Yao et al., 2005                                       | –                               | –          | ↑   |   | ↑ | ↑ | – | –  | ↑  | ↑  | ↑   |    |     |          |                            |                     |      |                                      |          | ↑           |
| St. Laurent et al., 2008                               |                                 |            | ↑   |   |   | ↑ | ↑ | ↓  | ↑  | –  |     |    |     |          |                            |                     |      |                                      | ↑        |             |
| Atucha et al., 2011                                    | –                               | ↑          | ↑   | ↑ | ↑ | ↑ | – | –  | ↑  | ↑  |     |    |     |          |                            |                     |      |                                      |          |             |
| Rom et al., 2010; Choi and Rom, 2011; Choi et al, 2011 |                                 | ↑          | –   |   | – | – | ↑ | ↑  | –  | –  |     |    |     |          |                            |                     |      |                                      | –        | –           |
| Mays et al., 2014; Mays et al., 2015                   |                                 |            | ↑   | – | ↑ |   |   |    |    |    |     |    | ↓   |          | –                          | –                   | –    |                                      | –        |             |
| Jones et al., 2017; Jones et al., 2020                 |                                 |            | ↑   | ↑ | ↑ |   |   |    |    | –  |     | ↑  |     |          |                            |                     |      |                                      | –        | ↓           |

| Avantages   | Inconvénients                                     |
|---|---|
| ↑ croissance  | Dommages rongeurs                                 |
| ↑ M.O., N, P, K, Ca, pH (pas d’immobilisation N observée) | Coûts élevés \$ (transport, source locale, temps) |
| Décomposition lente (C/N ↑)                               |   |
| ↑structure, humidité et ↓ T°                              |   |
| ↓ de 20 et 40 % en irrigation                             |   |
| ↑ activité microbienne                                    |   |
| Bon contrôle des mauvaises herbes                         |   |





Photo: L.Boyer

## Projet paillis 2022-2024- Objectifs

### *Établissement de parcelles de démonstration pour promouvoir l'utilisation de paillis de copeaux de bois dans de nouvelles plantations de pommiers nains en Montérégie*

*\*En collaboration avec Robert Maheux, agronome au Club de Pomiculture Yamaska\**

#### Objectifs:

1. *Réduire l'utilisation d'herbicides*
2. *Améliorer la santé des sols*
3. *Optimiser la gestion de l'eau (étés 2020 et 2021 très secs)*

#### Retombées anticipées

- Acquisition de connaissances techniques application de paillis dans les vergers
- Adoption de la pratique par un plus grand nombre de producteurs
- Meilleure résilience aux changements climatiques des vergers

Ce projet a été financé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation dans le cadre volet 2 du programme Prime-Vert.



# Méthodologie

- Projet de parcelles de démonstration
- **Parcelles d'environ 0,5 ha dans 6 vergers** en Montérégie Ouest et Est
- Nouvelles et jeunes plantations de pommiers nains
- 2 épandages de copeaux de bois/verger (env. 105 m<sup>3</sup>) sur 3 ans
- Paillis de 10 cm d'épaisseur sur 1m de large
- Section "témoin" pour comparatif
- Grillages métalliques sur les troncs des pommiers



Photo: L.Boyer



Plans expérimentaux

| Plan expérimental - Verger A |                        |      |  |  |  |
|------------------------------|------------------------|------|--|--|--|
|                              |                        | 135m |  |  |  |
| M26 Ambrosia (2020)          |                        |      |  |  |  |
| M26 Ambrosia (2020)          |                        |      |  |  |  |
| G41 Honeycrisp (2021)        |                        |      |  |  |  |
|                              | G41 Honeycrisp (2021)  |      |  |  |  |
|                              | G41 Honeycrisp (2021)  |      |  |  |  |
|                              | G41 Honeycrisp (2021)  |      |  |  |  |
|                              | G202 Honeycrisp (2021) |      |  |  |  |
|                              | G202 Honeycrisp (2021) |      |  |  |  |
|                              | G202 Honeycrisp (2021) |      |  |  |  |
|                              | G202 Honeycrisp (2021) |      |  |  |  |

| Plan expérimental - Verger B |  |      |  |  |  |
|------------------------------|--|------|--|--|--|
|                              |  | 75 m |  |  |  |
| B10 Délicieuse jaune (2021)  |  |      |  |  |  |
| B10 Délicieuse jaune (2021)  |  |      |  |  |  |
| B10 Délicieuse jaune (2021)  |  |      |  |  |  |
| B10 Délicieuse jaune (2021)  |  |      |  |  |  |
|                              |  |      |  |  |  |
|                              |  |      |  |  |  |
| G41 Smitten (2018)           |  |      |  |  |  |
| G41 Smitten (2018)           |  |      |  |  |  |
| G41 Smitten (2018)           |  |      |  |  |  |
| G41 Smitten (2018)           |  |      |  |  |  |

| Plan expérimental - Verger C |  |      |  |  |  |
|------------------------------|--|------|--|--|--|
|                              |  | 160m |  |  |  |
| B10 Gala (2022)              |  |      |  |  |  |
| B10 Gala (2022)              |  |      |  |  |  |
| B10 Gala (2022)              |  |      |  |  |  |
| B10 Gala (2022)              |  |      |  |  |  |
| B10 Gala (2022)              |  |      |  |  |  |
| B10 Gala (2022)              |  |      |  |  |  |

|                  |
|------------------|
| paillis          |
| témoin herbicide |

| Plan expérimental - Verger D |  |       |  |  |  |
|------------------------------|--|-------|--|--|--|
|                              |  | 250 m |  |  |  |
| G969 HC (2022)               |  |       |  |  |  |
|                              |  |       |  |  |  |
|                              |  |       |  |  |  |
|                              |  |       |  |  |  |

| Plan expérimental - Verger E |  |       |  |  |  |
|------------------------------|--|-------|--|--|--|
|                              |  | 250 m |  |  |  |
| G935 Honeycrisp (2022)       |  |       |  |  |  |
| G935 Honeycrisp (2022)       |  |       |  |  |  |
| G935 Honeycrisp (2022)       |  |       |  |  |  |
| G935 Honeycrisp (2022)       |  |       |  |  |  |
| G935 Ambrosia (2022)         |  |       |  |  |  |
| G935 Ambrosia (2022)         |  |       |  |  |  |
| G935 Ambrosia (2022)         |  |       |  |  |  |

| Plan expérimental - Verger F |  |       |  |  |  |
|------------------------------|--|-------|--|--|--|
|                              |  | 125 m |  |  |  |
| B10 Paulared (2022)          |  |       |  |  |  |
| B10 Paulared (2022)          |  |       |  |  |  |
| B10 Paulared (2022)          |  |       |  |  |  |
| B10 Paulared (2022)          |  |       |  |  |  |
| B10 Paulared (2022)          |  |       |  |  |  |
|                              |  |       |  |  |  |
|                              |  | 150 m |  |  |  |
| Ambrosia G (2022)            |  |       |  |  |  |
|                              |  |       |  |  |  |
|                              |  |       |  |  |  |
|                              |  |       |  |  |  |

Mise en contexte

Méthodologie

Résultats

Discussion

Conclusion

Bibliographie



## Variables mesurées

### 1. Croissance annuelle des pommiers

- a) Croissances terminales
- b) Diamètre des troncs

### 4. Conditions de réussite

### 2. Teneur en eau et température du sol

### 5. Coût et temps nécessaire

### 3. Santé du sol

\*\*Limites du dispositif expérimental/projet de démonstration



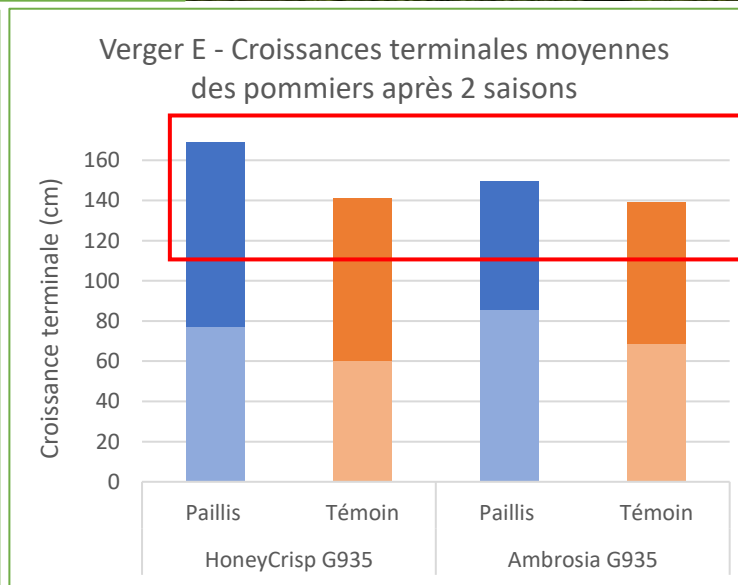
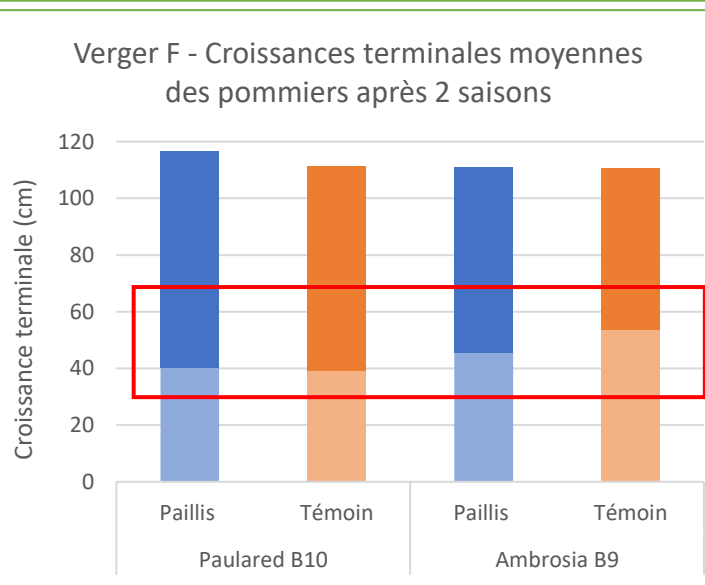
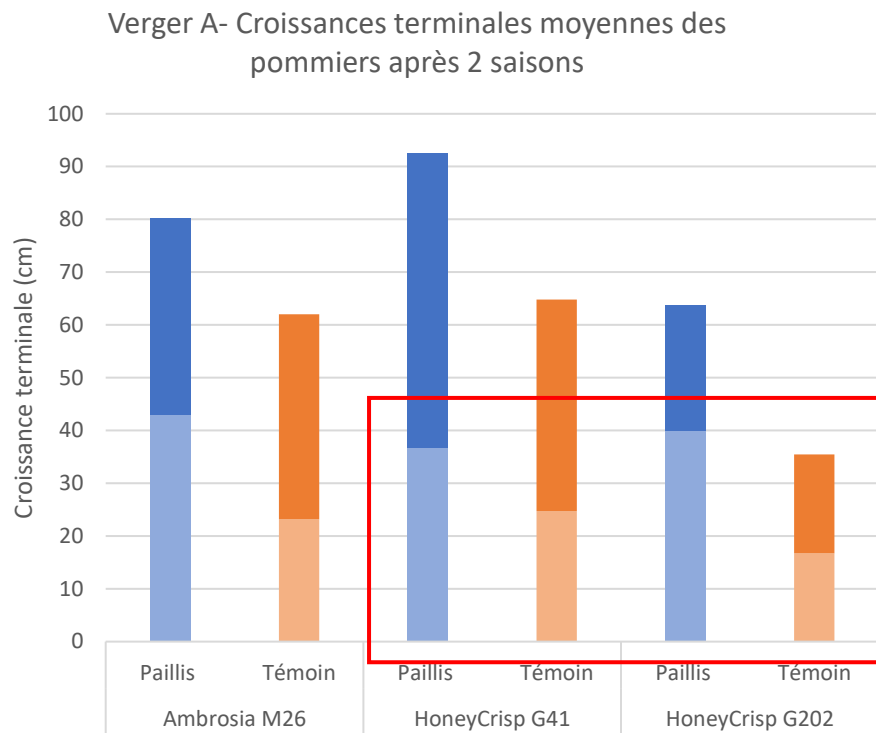
Photo: L. Boyer





## Résultats- Croissances terminales

- Mesure de la pousse annuelle à l'automne (fin de croissance) sur 10 pommiers dans chaque traitement/cultivar-pg
- Données prises sur les mêmes arbres à chaque année
- Très variable, prise seulement 2 années/3
- Plus instinctif comme résultat
- Peu de différence, mais pas d'effet négatif (50% des vergers)
- Effet positif surtout dans sol léger (sable ou graveleux)

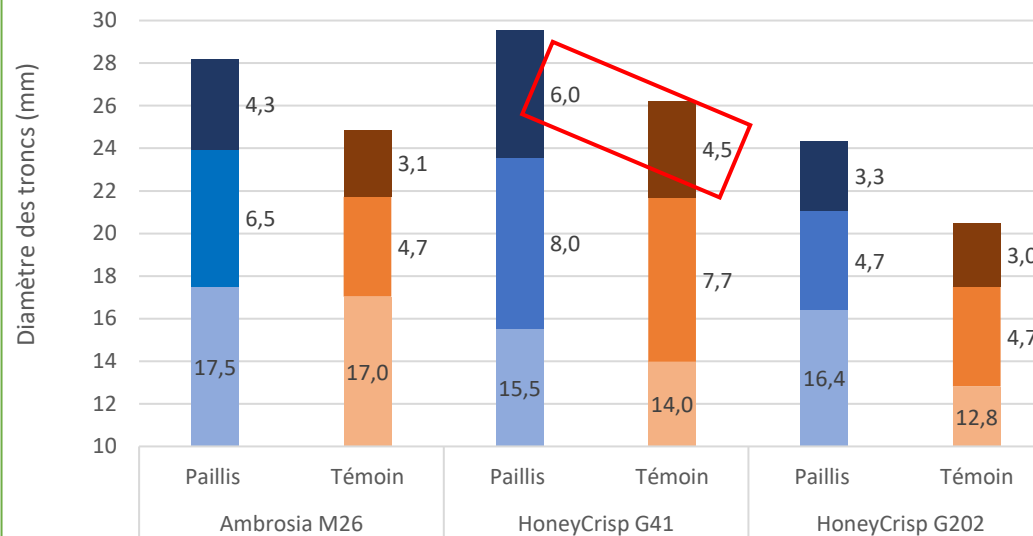




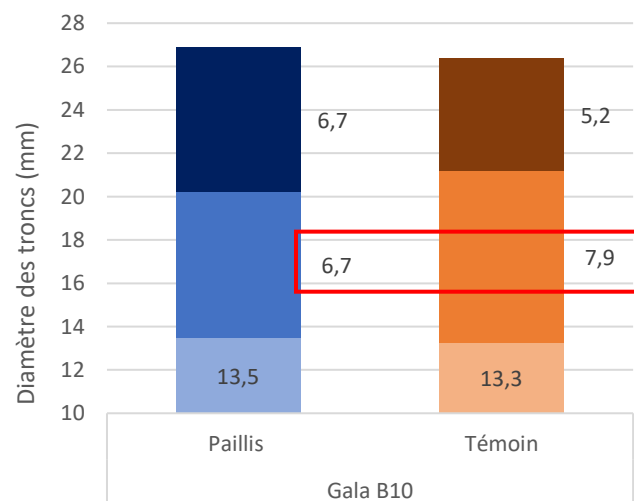
## Résultats- Croissance des troncs

- Mesure du gain en diamètre des troncs (mm) à l'automne (fin de croissance) sur 10 pommiers dans chaque traitement/cultivar-pg
- Données prises sur les mêmes arbres à chaque année
- Prise 3 ans, année 1 = temps 0
- Résultat plus représentatif, études scientifiques
- Léger effet positif 5 verger/6, pas d'effet négatif
- Grande variabilité entre les sites (type de sol?)

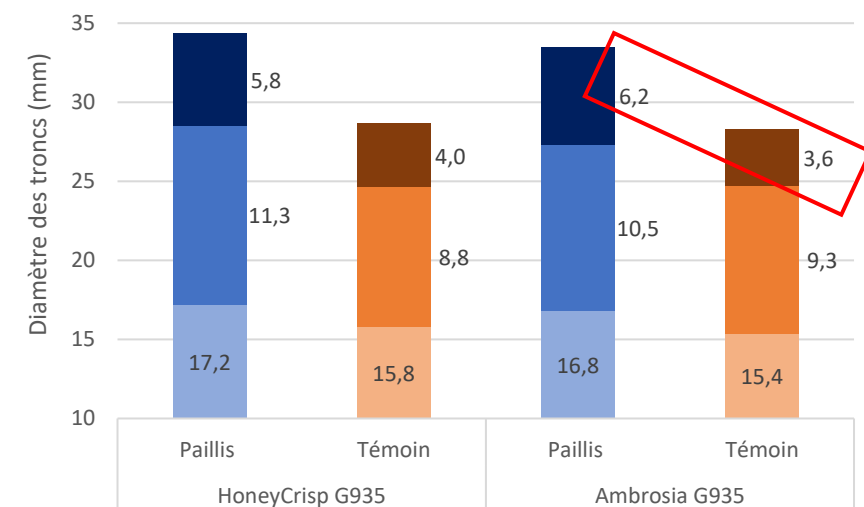
Verger A - Diamètres moyens des troncs des pommiers après 3 saisons



Verger B - Diamètres moyens des troncs des pommiers après 3 saisons

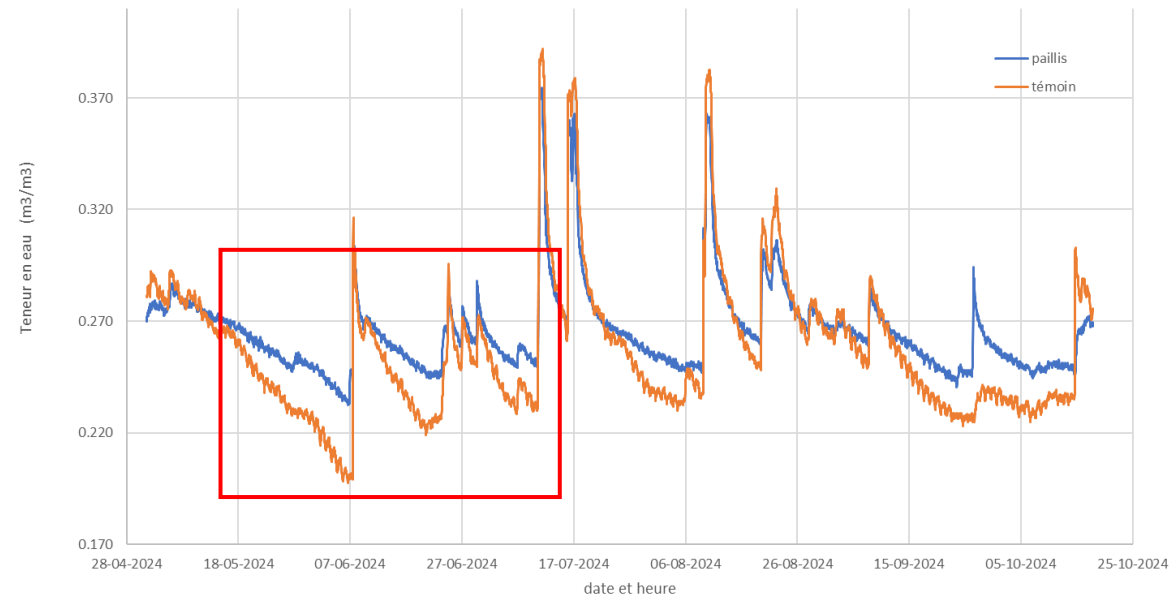


Verger E - Diamètres moyens des troncs des pommiers après 3 saisons

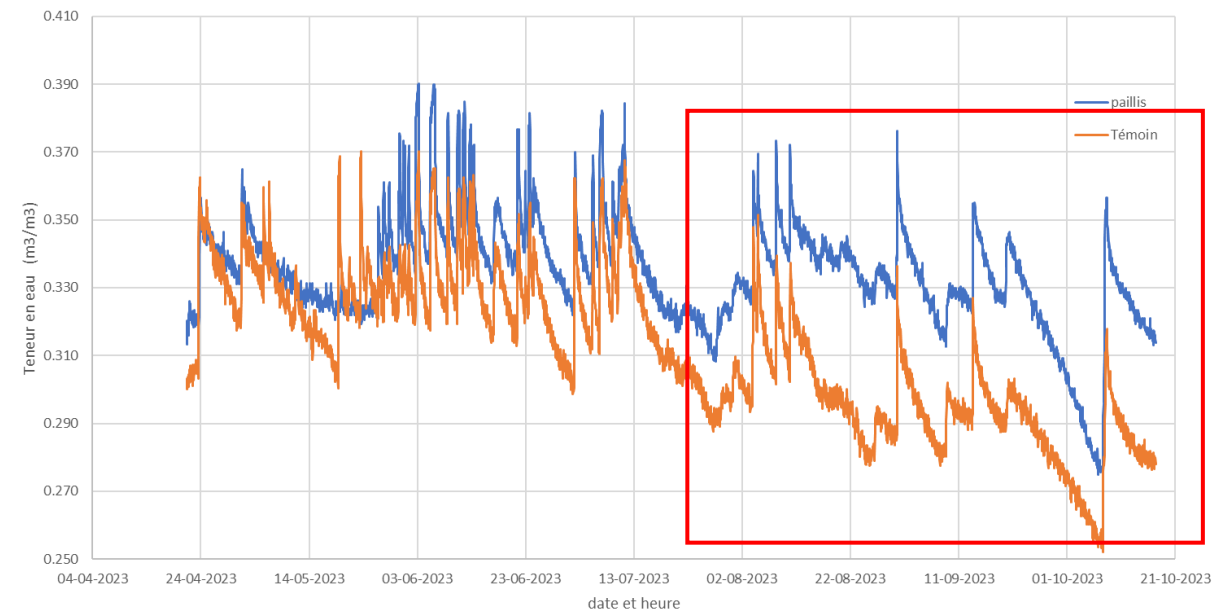




Verger B - Teneur en eau du sol (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)- saison 2024



Verger F - Teneur en eau du sol (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)- saison 2023



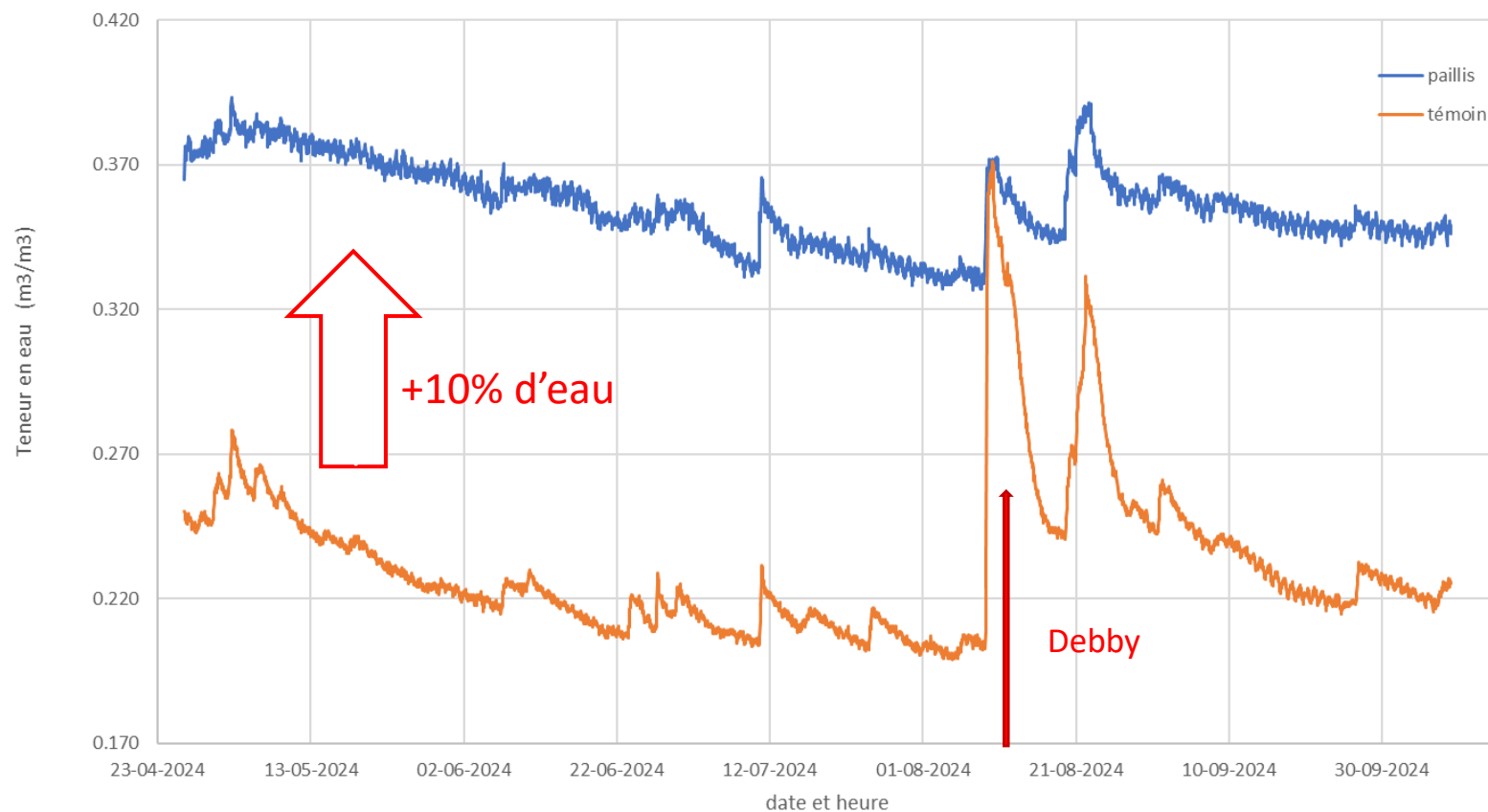
## Résultats-Teneur en eau du sol

- Sondes ONSET HOBO MX2307
- Mesure teneur en eau volumétrique du sol (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)
- 20cm de profondeur par rapport surface du sol
- Tuyau goutte à goutte
- 4 vergers sur 6
- 2 ans de suivi (délais de réception des sondes)
- 1 sonde dans ch. traitement
- Sol sous paillis plus humide et s'assèche moins rapidement
- Parfois peu de différence
- Difficulté d'obtention de bons résultats dans les sols très rocheux



## Résultats- Teneur en eau du sol (suite)

Verger D - Teneur en eau du sol (m3/m3)- saison 2024

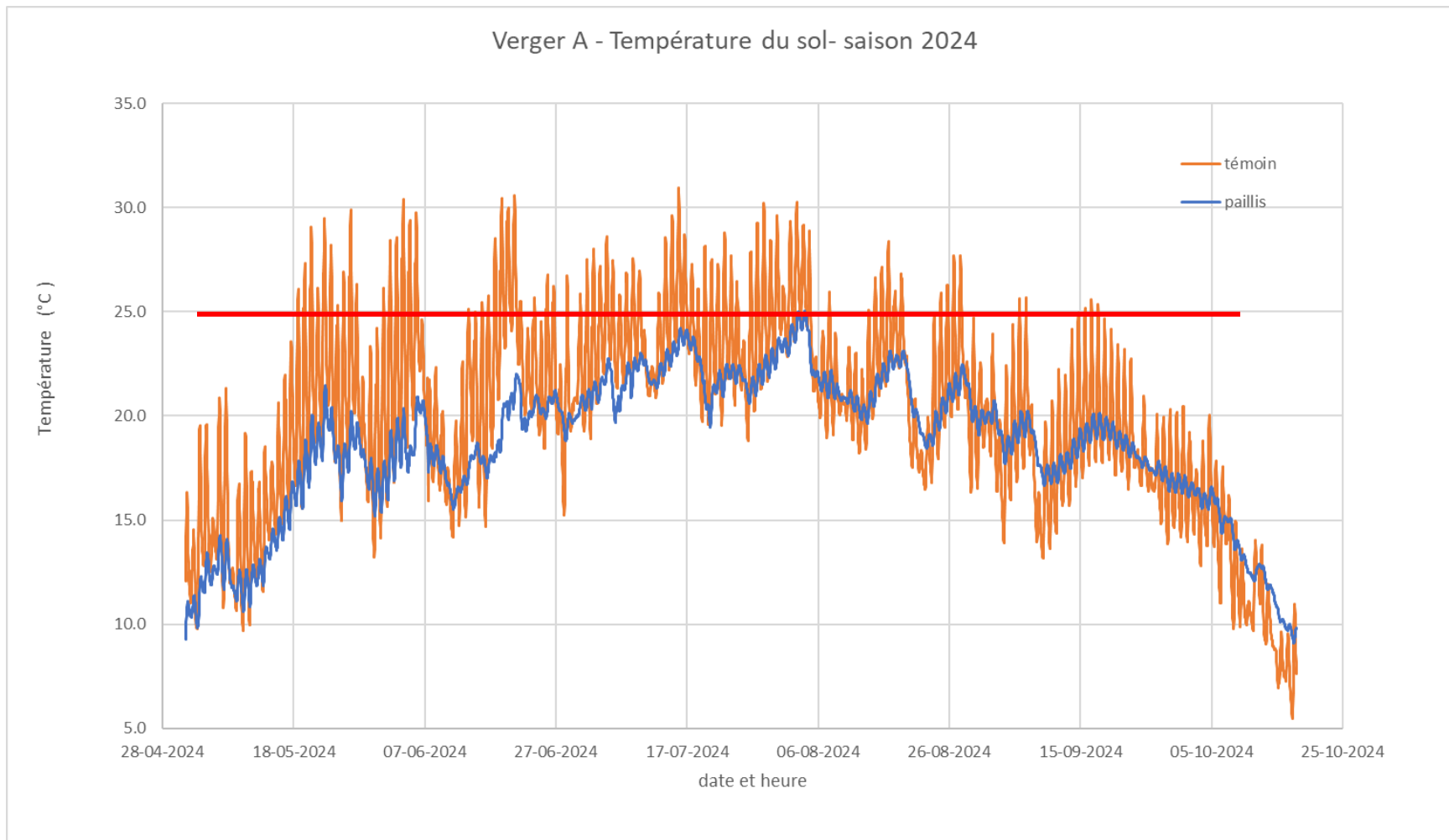


- Effet de la météo sur les données
- Sol très sableux= résultats intéressants





## Résultats- Température du sol

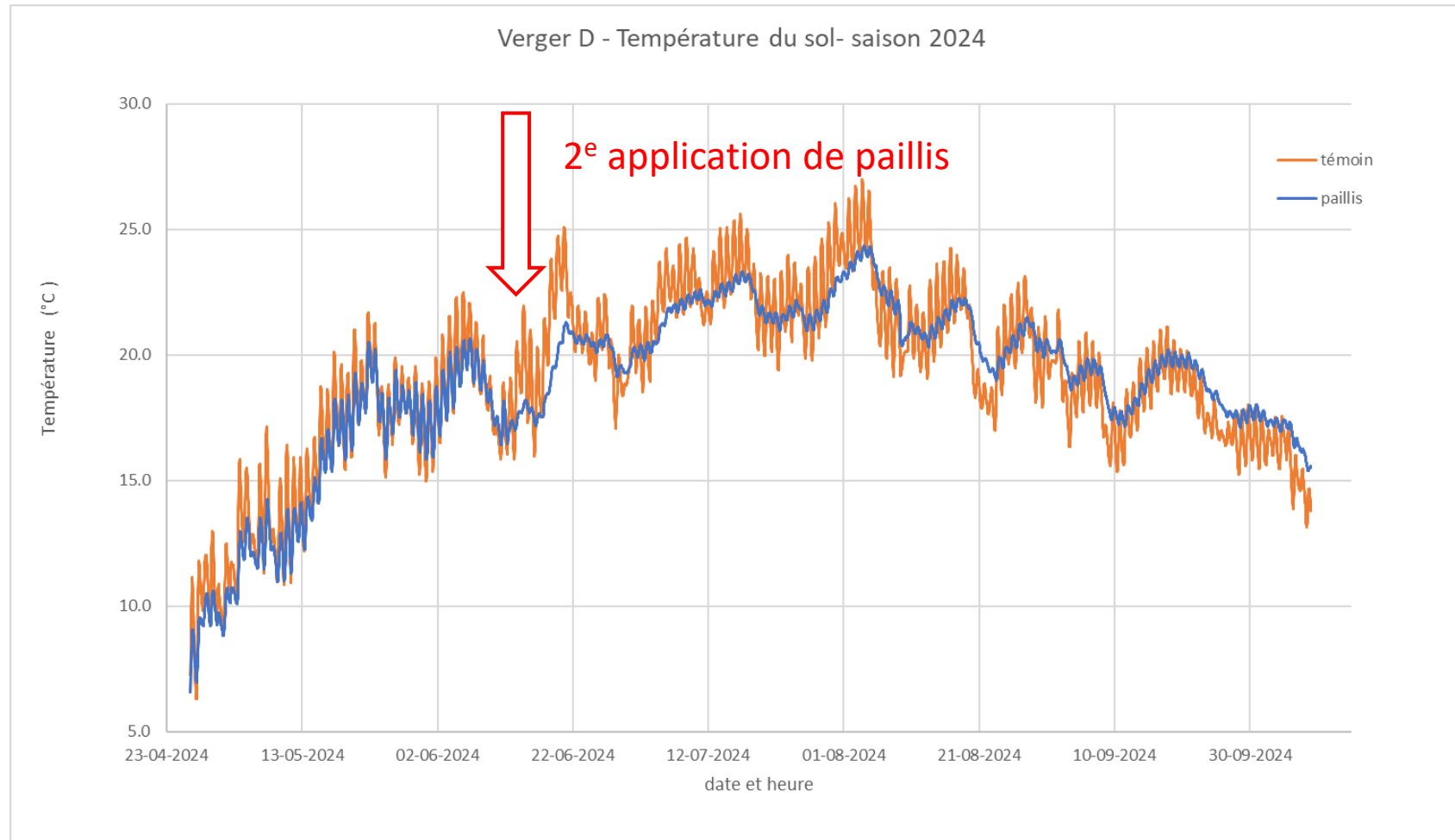


- Sonde placée à 10 cm de profondeur
- La zone de températures optimale de croissance des racines des pommiers entre 17 et 25°C.
- Au-delà de 25 °C, la croissance des racines serait compromise (Gur et al., 1972; Nelson et Tukey, 1956)





## Résultats- Température du sol



- Effet tampon, réduction des variations de températures sous le paillis





# Résultats- Santé du sol- Analyse laboratoire

- Analyses de santé des sol- AgroEnviroLab
- Évaluation physique, biologique et chimique
- Un échantillon pris dans chaque traitement à la fin du projet (automne 2024)
- Type de paillis/degré de compostage ou décomposition

| Évaluation globale Santé des sols /100 |        |         |
|--|--------|---------|
| Verger                                 | Témoin | Paillis |
| A                                      | 59     | 57      |
| B                                      | 64     | 68      |
| C                                      | 61     | 64      |
| D                                      | 59     | 68      |
| E                                      | 72     | 83      |
| F                                      | 66     | 73      |



| Classe texturale | Groupe textural |
|------------------|-----------------|
| Loam sableux     | G3              |

Verger D

Témoin

Paillis

| Indicateur |  | Valeur | Évaluation /100 | Valeur | Évaluation /100 |
|------------|--|--------|-----------------|--------|-----------------|
| Physique   | Stabilité des agrégats (%)<br>agrégats stables / ag. totaux ,25 à 2 mm | 60.4   | 89              | 60.4   | 89              |
|            | Proportion d'agrégats (%)<br>agrégats totaux / sol total ,25 à 2 mm    | 93.4   | 95              | 94.7   | 97              |
|            | Réserve en eau utile (%)<br>estimée                                    | 8.8    | 53              | 9.6    | 64              |

|            |   |  |     |    |     |    |
|------------|---|--|-----|----|-----|----|
| Biologique | SOLVITA•  | Respiration C-CO <sub>2</sub> (ppm)    | 28  | 32 | 40  | 41 |
|            |   | Azote labile N-NH <sub>3</sub> (kg/ha) | 112 | 25 | 151 | 31 |
|            | Azote minéralisable (ppm N-NH <sub>4</sub> * / sem) |  |     |    |     |    |
|            | Matière organique (%)                               |  | 2.3 | 45 | 2.8 | 56 |
|            | Carbone actif (ppm)<br>Matière organique labile     |  | 381 | 15 | 513 | 37 |

|          |                   |      |    |      |     |
|----------|-------------------|------|----|------|-----|
| Chimique | pH                | 6.5  | 98 | 6.7  | 100 |
|          | Phosphore (kg/ha) | 170  | 75 | 174  | 76  |
|          | Potassium (kg/ha) | 73   | 16 | 202  | 66  |
|          | Magnésium (kg/ha) | 179  | 49 | 256  | 65  |
|          | Calcium (kg/ha)   | 1300 | 27 | 2016 | 40  |

|                        |  |    |       |    |
|------------------------|--|----|-------|----|
| Évaluation globale (%) |  | 59 | e (%) | 68 |
|------------------------|--|----|-------|----|



# Résultats- Santé du sol- Analyse de laboratoire

## Propriétés physiques

Peu de différence en général

Durée du projet

↑ Réserve en eau utile

## Propriétés chimiques

↑ pH

↑ P \*

↑ K

↑ Mg

↑ Ca

Ou peu de différence

## Propriétés biologiques

↑ MO

↑ C actif

↑ Respiration C-CO<sub>2</sub>\*







## Résultats- Santé du sol- observations terrain

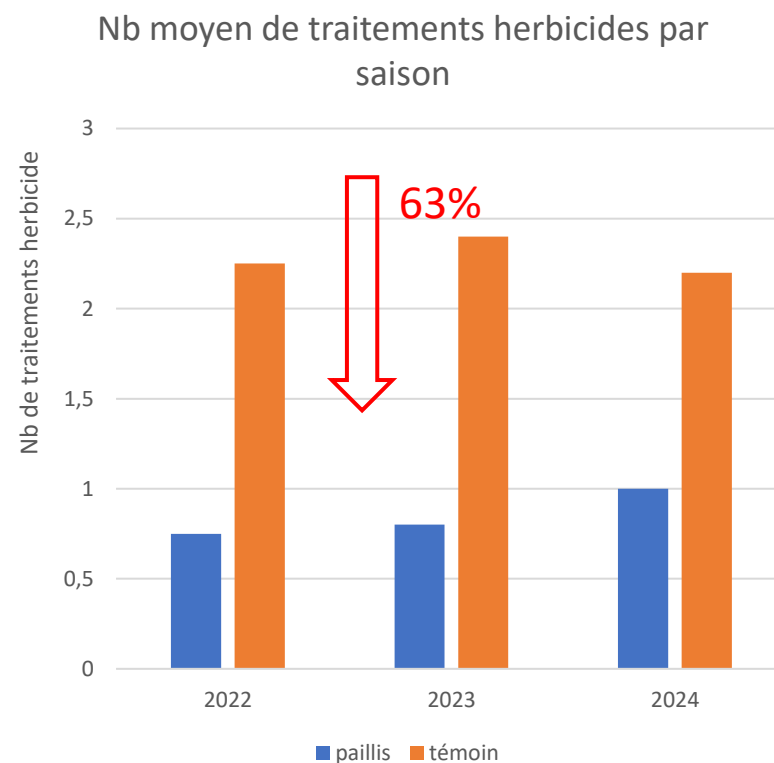
- Lors du retrait des sondes
  - Plus d'agrégats sous le paillis dans certains vergers
  - Sol plus humide/foncé
- Présence marquée de mycélium sous le paillis, différents types et couleur en fonction du type de paillis (degré de compostage)
  - Présence de champignons remarquables
  - Stimulation de décomposeurs attendue





## Résultats- Réduction des herbicides/contrôle des mauvaises herbes

- Réduction des traitements herbicides dans le paillis de 2/3
- Bon contrôle en général des MH sous le paillis (période critique: mai à juillet)
- Importance de partir sur un **sol à nu** ou de faire un traitement localisé d'herbicide avant 2<sup>e</sup> épandage ou au départ (si jeune plantation et non nouvelle)
- Effet marqué même après 2 ans
- Certains sites ont épandu le paillis à l'année 2 plutôt que 3 (Étude NY 2022)
- Variable selon les sites



## Discussion- Gestion des rongeurs et grillages

- Grillages de 50 cm de haut enroulé autour du tronc (enfoncé d'au moins 5 cm dans le sol)
- Rodenticides/ régie producteurs dans sections témoin
- Couvre-sol entretenu fréquemment (gazon bas)

- Pas de problématique ni dommages observés sur les 3 années , comme relevés par certains chercheurs(D. Granatstein, G. Peck)
- Gros copeaux = préférables
- Grillages, intéressant pour garder le point de greffe aéré
- Long à poser (main d'œuvre)
- Attention au frottement





## Discussion- Temps de main d'œuvre et coûts

- Achat de copeaux de bois, prix élevé la 1ere année
- Temps pour épandage très variable selon équipement et méthode de travail du producteur
- Moyenne: **3.3 min/m linéaire** (0,06h, 6h pour 100m)
- Comparaison avec traitement herbicide
- Moins cher que weed-eater selon un producteur

### Coûts moyens/mètre linéaire

|  |                   |
|--|-------------------|
| Copeaux de bois<br>(incl. transport)           | 2.24\$            |
| Main d'œuvre<br>(incl. épandeur et machinerie) | 1.50\$            |
| total  | 3.74\$/m linéaire |





## Discussion- Épandeurs

- 3 types d'épandeur testés (à engrais, ANNOVI et Millcreek)
- Grosseur de la remorque et temps des aller-retours
- Solution "maison" plus rapide selon certains
- Meilleur marché qu'un épandeur si moins de 1.2 ha planté à ch. année selon un producteur



Photo: K.Sirois





## Conclusions techniques

1. Importance de partir sur un **sol à nu** pour un contrôle efficace des mauvaises herbes
2. Pas facile de trouver le bon **épandeur**
3. Plus long que prévu pour épandre
4. Importance d'en mettre assez **épais** (10cm)
5. Mettre les grillages **avant** les copeaux
6. Être prêt au moment de la plantation des pommiers.
7. Trouver une source de copeaux locale et abordable
8. Possibilité d'en mettre seulement la première année sur certains sites





## Conclusions agronomiques

1. Améliore la **croissance** des arbres en général, mais effet du paillis estompé par les saisons pluvieuses
2. Conservation de l'**humidité du sol**
3. Bon contrôle des **mauvaises herbes**
4. Diminution du **stress de températures** extrêmes sur les racines des pommiers
5. Amélioration générale de **la santé des sols**= investissement à long terme \$
6. Atout pour aider les jeunes plantations à faire face aux **changements climatiques**
7. Réduction de l'utilisation d'**herbicide** notable (↓IRS, IRE) et des dommages sur les jeunes troncs
8. Particulièrement intéressant dans les sols sableux/graveleux

Pratique intéressante pour les 3 premières années d'implantation des pommiers. Même avec une seule application







Photo: E. Pelletier



## Retombées du projet/ adoption de la pratique

4 producteurs sur 6 continueront à utiliser du paillis de copeaux de bois pour leurs nouvelles plantations

- Atténuation des sécheresses/réduction irrigation
- Réduction des herbicides/ main d'œuvre weed-eater
- Coloration des fruits (1 prod.)

2 producteurs sur 6 hésitent ou n'utiliseront plus de paillis de copeaux de bois

- Temps de main d'œuvre pour l'épandage trop long
- Pas équipés du bon épandeur
- Copeaux trop chers

Diffusion de l'information et popularisation de la pratique



## Remerciements

- **6 entreprises participantes**
  - Les Vergers Frier
  - Vergers Petch Orchards
  - Verger Écologique Philion
  - Verger Jean-Pierre Bisson
  - Verger MJM
  - Verger Barber
- Robert Maheux, Club Pommiculture Yamaska
- Évelyne Barriault, MAPAQ
- Club Producteurs Sud-Ouest (Élyse Pelletier, Vicky Filion et Ariane Filion)
- Paul Deschesnes, IRDA







Merci ! Questions ?



# BIBLIOGRAPHIE

Atucha, A., Merwin, I. A., and Brown, M. G. (2011). Long-term Effects of Four Groundcover Management Systems in an Apple Orchard. *Hortscience* 46, 1176-1183.

Brown, M. W., and Tworkoski, T. (2004). Pest management benefits of compost mulch in apple orchards. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 103, 465-472.

Carranca, C., Brunetto, G., and Tagliavini, M. (2018). Nitrogen Nutrition of Fruit Trees to Reconcile Productivity and Environmental Concerns. *Plants (Basel)* 7.

Chen, G., Liu, S., Xiang, Y., Tang, X., Liu, H., Yao, B., and Luo, X. (2020). Impact of living mulch on soil C:N:P stoichiometry in orchards across China: A meta-analysis examining climatic, edaphic, and biotic dependency. *Pedosphere* 30, 181-189.

Choi, H.-S., Rom, C. R., and Gu, M. (2011). Effects of different organic apple production systems on seasonal nutrient variations of soil and leaf. *Scientia Horticulturae* 129, 9-17.

Choi, H. S., and Rom, C. R. (2011). Estimated nitrogen use efficiency, surplus, and partitioning in young apple trees grown in varied organic production systems. *Scientia Horticulturae* 129, 674-679.

Chouinard, G. 2020. Introduction à la production fruitière intégrée. Fiche 6. Guide de référence en production fruitière intégrée 2020. Disponible depuis : <https://reseauappommier.irda.qc.ca/?p=10051> (consulté le 8 mars 2020)

Cotrufo, M. F., Soong, J. L., Horton, A. J., Campbell, E. E., Haddix, M. L., Wall, D. H., and Parton, A. J. (2015). Formation of soil organic matter via biochemical and physical pathways of litter mass loss. *Nature Geoscience* 8, 776-+.

Cormier, D., Maheux, R., Morin, Y. et Chouinard, G. (2020). Le campagnol des champs. Fiche 113. Guide de référence en production fruitière intégrée 2020. Disponible depuis : <https://reseauappommier.irda.qc.ca/?p=6961> (consulté le 13 mars 2020)

De Corato, U. (2020). Disease-suppressive compost enhances natural soil suppressiveness against soil-borne plant pathogens: A critical review. *Rhizosphere* 13, 15.

Eissenstat, D. M., Neilsen, D., Neilsen, G. H., and Adams, T. S. (2018). Above- and Belowground Responses to Shifts in Soil Moisture in Bearing Apple Trees. *HortScience* 53, 1500-1506.

Fernández, D. E., Cichón, L. I., Sánchez, E. E., Garrido, S. A., and Gittins, C. (2008). Effect of Different Cover Crops on the Presence of Arthropods in an Organic Apple (*Malus domestica*Borkh) Orchard. *Journal of Sustainable Agriculture* 32, 197-211.

Forge, T., Neilsen, G., and Neilsen, D. (2016). Organically acceptable practices to improve replant success of temperate tree-fruit crops. *Scientia Horticulturae* 200, 205-214.

Forge, T., Neilsen, G., Neilsen, D., Hogue, E., and Faubion, D. (2013). Composted Dairy Manure and Alfalfa Hay Mulch Affect Soil Ecology and Early Production of 'Braeburn' Apple on M.9 Rootstock. *Hortscience* 48, 645-651.

Forge, T. A., Hogue, E., Neilsen, G., and Neilsen, D. (2003). Effects of organic mulches on soil microfauna in the root zone of apple: implications for nutrient fluxes and functional diversity of the soil food web. *Applied Soil Ecology* 22, 39-54.

Forge, T. A., Hogue, E. J., Neilsen, G., and Neilsen, D. (2008). Organic mulches alter nematode communities, root growth and fluxes of phosphorus in the root zone of apple. *Applied Soil Ecology* 39, 15-22.

Glover, J. D., Reganold, J. P., and Andrews, P. K. (2000). Systematic method for rating soil quality of conventional, organic, and integrated apple orchards in Washington State. *Agriculture Ecosystems & Environment* 80, 29-45.

Gouvernement du Canada. 2020. Statistical Overview of the Canadian Fruit Industry 2019. Available from : [https://multimedia.agr.gc.ca/pack/pdf/fruit\\_report\\_2019-eng.pdf](https://multimedia.agr.gc.ca/pack/pdf/fruit_report_2019-eng.pdf) (accessed 8 March, 2021)

Granatstein, D., Davenport, J. R., and Kirby, E. (2017). Growing Legumes in Orchard Alleys as an Internal Nitrogen Source. *HortScience* 52, 1283-1287.

Granatstein, D., Kirby, E., and Davenport, J. (2013). Direct Seeding Legumes into Orchard Alleys for Nitrogen Production. In "11th International Organic Fruit Symposium" (D. Granatstein, P. K. Andrews, S. D. Bishop and W. Janisiewicz, eds.), Vol. 1001, pp. 329-334.

Granatstein, D., and Mullinix, K. (2008). Mulching options for northwest organic and conventional orchards. *Hortscience* 43, 45-50.

Granatstein, D., and Sánchez, E. (2009). Research Knowledge and Needs for Orchard Floor Management in Organic Tree Fruit Systems. *International Journal of Fruit Science* 9, 257-281.

Granatstein, D., Wiman, M., Kirby, E., and Mullinix, K. (2010). Sustainability Trade-Offs in Organic Orchard Floor Management. In "Organic Fruit Conference" (R. K. Prange and S. D. Bishop, eds.), Vol. 873, pp. 115-121.

Hammermeister, A. M. (2016). Organic weed management in perennial fruits. *Scientia Horticulturae* 208, 28-42.

Hogue, E., and Neilsen, D. (1987). Orchard floor vegetation management. *Horticultural Reviews* 9, 377-430.

Institut de la Statistique du Québec. 2018. Production et mise en marché de la pomme, Québec, récolte 2018. Disponible depuis : <https://statistique.quebec.ca/fr/document/production-et-mise-en-marche-de-la-pomme-par-region-pomicole-quebec/tableau/production-et-mise-en-marche-de-la-pomme-par-region-pomicole-quebec-recolte-2018> (consulté le 8 mars 2021)

Jones, J., Savin, M. C., Rom, C. R., and Gbur, E. (2017). Denitrifier community response to seven years of ground cover and nutrient management in an organic fruit tree orchard soil. *Applied Soil Ecology* 112, 60-70.

Jones, J., Savin, M. C., Rom, C. R., and Gbur, E. (2020). Soil microbial and nutrient responses over seven years of organic apple orchard maturation. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 118, 23-38.

Kader, M. A., Senge, M., Mojid, M. A., and Ito, K. (2017). Recent advances in mulching materials and methods for modifying soil environment. *Soil & Tillage Research* 168, 155-166.

Kalcsits, L., Lotze, E., Tagliavini, M., Hannam, K. D., Mimmo, T., Neilsen, D., Neilsen, G., Atkinson, D., Casagrande Biasuz, E., Borruso, L., Cesco, S., Fallahi, E., Pii, Y., and Valverdi, N. A. (2020). Recent Achievements and New Research Opportunities for Optimizing Macronutrient Availability, Acquisition, and Distribution for Perennial Fruit Crops. *Agronomy* 10, 1738.

Karlen, D.L., M.J. Mausbach, J.W. Doran, R.G. Cline, R.F. Harris and G.E. Schuman. (1997). Soil quality: A concept, definition and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal* 61: 4-10.

Khatami, S., Deng, Y., Tien, M., and Hatcher, P. G. (2019). Lignin Contribution to Aliphatic Constituents of Humic Acids through Fungal Degradation. *Journal of Environmental Quality* 48, 1565-1570.

Liu, Y., Gao, M., Wu, W., Tanveer, S. K., Wen, X., and Liao, Y. (2013). The effects of conservation tillage practices on the soil water-holding capacity of a non-irrigated apple orchard in the Loess Plateau, China. *Soil and Tillage Research* 130, 7-12.

Mathews, C. R., Bottrell, D. G., and Brown, M. W. (2002). A comparison of conventional and alternative understory management practices for apple production: multi-trophic effects. *Applied Soil Ecology* 21, 221-231.

Mays, N., Brye, K. R., Rom, C. R., Savin, M., and Garcia, M. E. (2014). Groundcover Management and Nutrient Source Effects on Soil Carbon and Nitrogen Sequestration in an Organically Managed Apple Orchard in the Ozark Highlands. *Hortscience* 49, 637-644.

Mays, N., Rom, C. R., Brye, K. R., Savin, M. C., and Garcia, M. E. (2015). Groundcover Management System and Nutrient Source Impacts on Soil Quality Indicators in an Organically Managed Apple (*Malus X domestica* Borkh.) Orchard in the Ozark Highlands. *Hortscience* 50, 295-303.

Merwin, I. A., Ray, J. A., and Curtis, P. D. (1999). Orchard groundcover management systems affect meadow vole populations and damage to apple trees. *Hortscience* 34, 271-274.

Merwin, I. A., Ray, J. A., Steenhuis, T. S., and Boll, J. (1996). Groundcover management systems influence fungicide and nitrate-N concentrations in leachate and runoff from a New York apple orchard. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 121, 249-257.

Merwin, I. A., and Stiles, W. C. (1994). ORCHARD GROUNDCOVER MANAGEMENT IMPACTS ON APPLE TREE GROWTH AND YIELD, AND NUTRIENT AVAILABILITY AND UPTAKE. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 119, 209-215.

Merwin, I. A., Stiles, W. C., and Vanes, H. M. (1994). ORCHARD GROUNDCOVER MANAGEMENT IMPACTS ON SOIL PHYSICAL-PROPERTIES. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 119, 216-222.

Mia, M. J., Massetani, F., Murri, G., and Neri, D. (2020). Sustainable alternatives to chemicals for weed control in the orchard – a Review *Horticultural Science* 47, 1-12.

Midwood, A. J., Hannam, K. D., Forge, T. A., Neilsen, D., Emde, D., and Jones, M. D. (2020). Importance of drive-row vegetation for soil carbon storage in woody perennial crops: A regional study. *Geoderma* 377, 114591.

Miñarro, M., Espadaler, X., Melero, V. X., and Suárez-Álvarez, V. (2009). Organic versus conventional management in an apple orchard: effects of fertilization and tree-row management on ground-dwelling predaceous arthropods. *Agricultural and Forest Entomology* 11, 133-142.



# BIBLIOGRAPHIE

Ministère de l’Agriculture, des Pêcheries et de l’Alimentation du Québec (MAPAQ). (2015). Monographie de l’industrie de la pomme au Québec. MAPAQ, Québec, QC. Disponible depuis : <https://www.mapaq.gouv.qc.ca/fr/Publications/pommemonographie.pdf> (consulté le 31 mars 2020)

Mullinix, K., and Granatstein, D. (2011). Potential Nitrogen Contributions from Legumes in Pacific Northwest Apple Orchards. *International Journal of Fruit Science* 11, 74-87.

Neilsen, G., Forge, T., Angers, D., Neilsen, D., and Hogue, E. (2014). Suitable orchard floor management strategies in organic apple orchards that augment soil organic matter and maintain tree performance. *Plant and Soil* 378, 325-335.

Neilsen, G. H., and Hogue, E. J. (2000). Comparison of white clover and mixed sodgrass as orchard floor vegetation. *Canadian Journal of Plant Science* 80, 617-622.

Neilsen, G. H., Hogue, E. J., Forge, T., and Neilsen, D. (2003a). Mulches and biosolids affect vigor, yield and leaf nutrition of fertigated high density apple. *Hortscience* 38, 41-45.

Neilsen, G. H., Hogue, E. J., Forge, T., and Neilsen, D. (2003b). Surface application of mulches and biosolids affect orchard soil properties after 7 years. *Canadian Journal of Soil Science* 83, 131-137.

Neilsen, G. H., Hogue, E. J., Forge, T., Neilsen, D., and Kuchta, S. (2007). Nutritional implications of biosolids and paper mulch applications in high density apple orchards. *Canadian Journal of Plant Science* 87, 551-558.

Oliveira, M. T., and Merwin, I. A. (2001). Soil physical conditions in a New York orchard after eight years under different groundcover management systems. *Plant and Soil* 234, 233-237.

Rom, C. R., Garcia, M. E., McAfee, J., Friedrich, H., Choi, H. S., Johnson, D. T., Popp, J., and Savin, M. (2010). The Effects of Groundcover Management and Nutrient Source during Organic Orchard Establishment. In "Organic Fruit Conference" (R. K. Prange and S. D. Bishop, eds.), Vol. 873, pp. 105-113.

Ros, G. H., Temminghoff, E. J. M., and Hoffland, E. (2011). Nitrogen mineralization: a review and meta-analysis of the predictive value of soil tests. *European Journal of Soil Science* 62, 162-173.

Sánchez, E. E., Giayetto, A., Cichón, L., Fernández, D., Aruani, M. C., and Curetti, M. (2007). Cover crops influence soil properties and tree performance in an organic apple (*Malus domestica* Borkh) orchard in northern Patagonia. *Plant and Soil* 292, 193-203.

Sofo, A., Mininni, A. N., and Ricciuti, P. (2020). Soil Macrofauna: A key Factor for Increasing Soil Fertility and Promoting Sustainable Soil Use in Fruit Orchard Agrosystems. *Agronomy* 10, 456.

St. Laurent, A., Merwin, I. A., and Thies, J. E. (2008). Long-term orchard groundcover management systems affect soil microbial communities and apple replant disease severity. *Plant and Soil* 304, 209-225.

Stefanelli, D., Zoppolo, R. J., Perry, R. L., and Weibel, F. (2009). Organic Orchard Floor Management Systems for Apple Effect on Rootstock Performance in the Midwestern United States. *Hortscience* 44, 263-267.

Stobbe, P.C. et McKibbin, R.R. (1938). Les sols à verger de la province de Québec. Deuxième rapport du Comité d’enquête sur les sols du Québec. Gouvernement du Canada, Ottawa, Canada. Disponible depuis : <https://sis.agr.gc.ca/siscan/publications/surveys/pq/pq62/index.html> (consulté le 17 mars 2021)

TerAvest, D., Smith, J. L., Carpenter-Boggs, L., Granatstein, D., Hoagland, L., and Reganold, J. P. (2011). Soil Carbon Pools, Nitrogen Supply, and Tree Performance under Several Groundcovers and Compost Rates in a Newly Planted Apple Orchard. *Hortscience* 46, 1687-1694.

TerAvest, D., Smith, J. L., Carpenter-Boggs, L., Hoagland, L., Granatstein, D., and Reganold, J. P. (2010). Influence of Orchard Floor Management and Compost Application Timing on Nitrogen Partitioning in Apple Trees. *Hortscience* 45, 637-642.

USDA. (2020). Noncitrus Fruits and Nuts 2019 Summary. Unites States Departement of Agriculture, National Agricultural Statistics Service, WA, USA. Available from : <https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/zs25x846c/Og3551329/qj72pt50f/ncit0520.pdf> (accessed march 31, 2021)

Walsh, B. D., MacKenzie, A. F., and Buszard, D. J. (1996a). Soil nitrate levels as influenced by apple orchard floor management systems. *Canadian Journal of Soil Science* 76, 343-349.

Walsh, B. D., Salmins, S., Buszard, D. J., and MacKenzie, A. F. (1996b). Impact of soil management systems on organic dwarf apple orchards and soil aggregate stability, bulk density, temperature and water content. *Canadian Journal of Soil Science* 76, 203-209.

Wiman, M. R., Kirby, E. M., Granatstein, D. M., and Sullivan, T. P. (2009). Cover Crops Influence Meadow Vole Presence in Organic Orchards. *Horttechnology* 19, 558-562.

Yao, S., Merwin, I. A., Bird, G. W., Abawi, G. S., and Thies, J. E. (2005). Orchard floor management practices that maintain vegetative or biomass groundcover stimulate soil microbial activity and alter soil microbial community composition. *Plant and Soil* 271, 377-389.

Yao, S. R., Merwin, I. A., and Brown, M. G. (2009). Apple Root Growth, Turnover, and Distribution Under Different Orchard Groundcover Management Systems. *Hortscience* 44, 168-175.

Yelle, P.E. (2020). Apports en éléments nutritifs. Fiche 37. Guide de référence en production fruitière intégrée 2020. Disponible depuis : <https://reseaupommier.irda.qc.ca/?p=5941> (consulté le 13 mars 2020)

Aller et al., 2022. Orchard Floor Management Considerations Under Maritime Climate Conditions p.14-18,[https://nyshs.org/wp-content/uploads/2022/12/NYFQ-BOOK-Fall-2022\\_FINAL.pdf](https://nyshs.org/wp-content/uploads/2022/12/NYFQ-BOOK-Fall-2022_FINAL.pdf)

Gur, A, B Bravo, and Y Mizrahi. 1972. Physiological responses of apple trees to suboptimal root temperature. *Physiol. Plant.* 27 (2).

Nelson, E. H., and H.B. Tukey. 1956. Effects of controlled root temperatures on the growth of East Malling rootstocks in water culture. *J. Hortic. Sci.* 31 (1):55-63. doi: 10.1080/00221589.1956.11513857