



L'UTILISATION DES PAILLIS ORGANIQUES POUR AMÉLIORER LA QUALITÉ DES SOLS ET DE LA DURABILITÉ DES VERGERS DU QUÉBEC

Journée technique Agropomme – 14 déc. 2022

Lauréline Boyer, agr., MSc



Photo: L.Boyer

Plan de la présentation

Mise en contexte

- La qualité des sols dans les vergers
- Les différents systèmes de gestion du sol des vergers

Méthodologie

- Revue de littérature systématique

Résultats et discussion

- Effets des paillis sur les pommiers et sur la chimie, physique et biologie du sol
- Effets de 4 différents types de paillis organiques sur le sol et les pommiers

Conclusion

Projet 2022-2025

Mise en contexte

- Maîtrise en sols et environnement (cours et stages)
Université Laval, 2019-2021
- Agronome en pomiculture
Club Producteurs Sud-Ouest, depuis 2021



- Rapport de fin maîtrise, disponible sur AgriRéseau



Photo: L. Boyer

Le concept de qualité du sol

La qualité du sol est sa capacité à soutenir de bons rendements et dépend de ses propriétés physiques, chimiques et biologiques (Karlen et al., 1997).

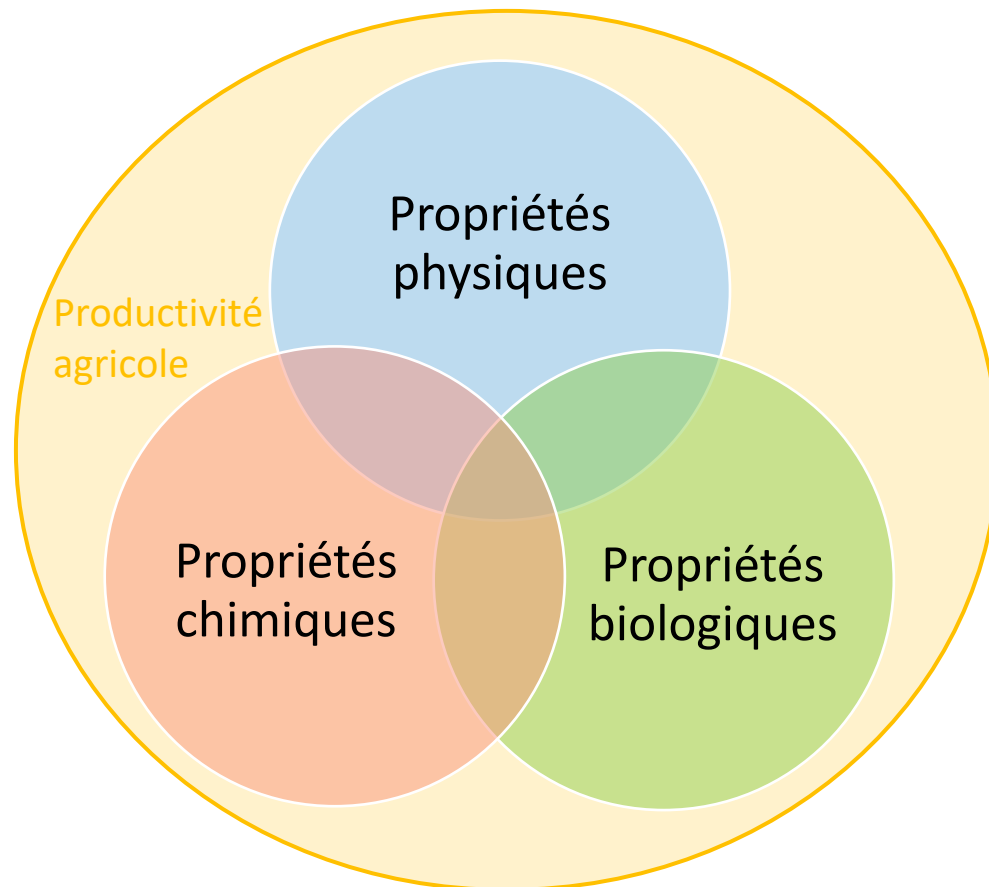


Photo: L.Boyer

Pourquoi améliorer la gestion du sol des vergers ?

1. Améliorer les performances agronomiques des pommiers

- rendement
- croissance
- meilleure recirculation des éléments nutritifs

2. Augmenter la résilience des vergers face aux changements climatiques

- Sécheresses, fortes pluies
- Évènements météorologiques extrêmes plus fréquents

#3. Diminuer l'empreinte écologique de la production pomicole

- Stockage de carbone
- Pratiques plus durables (diminution utilisation d'herbicides)





Photo: L. Boyer



Photo: Smith and Gutierrez, 2014

La gestion du sol et du couvre-sol des vergers

Couvert végétal permanent/cultures de couverture

- Système traditionnel
- Pommiers semi-nain/standards
- Tondeuse rotative

Rang de pommiers désherbé

- Arrivée des herbicides à large spectre années 50
- Système adapté aux pommiers nains/haute densité
- ↓ Compétition avec couvre-sol (eau et nutriments)
- ↑ Rendements/croissance les premières années

Comment améliorer la gestion du sol des vergers ?

#1 Garder le sol couvert

- ↓érosion éolienne et hydrique
- ↓lessivage fertilisants
- ↓évaporation
- Amélioration de la qualité du sol en général

#2 Apporter de la matière organique

#3 Cultiver des cultures de couverture



Systèmes alternatifs aux herbicides

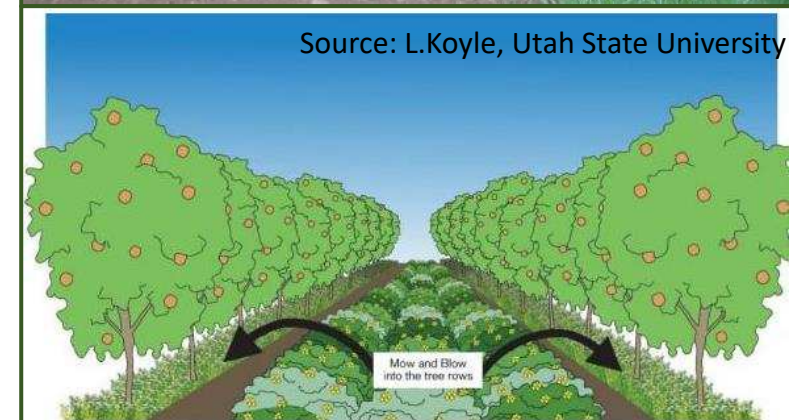
- Cultures de couverture
- Système «tondu-et-souffé» (*mow-and-blow*)
- Travail superficiel du sol (désherbage mécanique)
- Système-Sandwich-Suisse (SSS)
- Paillis



Photo: D. Granatstein, USDA



Photo: wonderweeder.com



Source: L.Koyle, Utah State University

Tableau 1. Principaux avantages et inconvénients de trois gestions du sol des vergers

	Avantages	Inconvénients
Cultures de couverture	✓ Protège contre l'érosion des sols ✓ Risques minimales de lessivage des engrais ✓ Possible apport en nutriments (légumineuses, azote)	× Compétition avec les pommiers pour l'eau et les nutriments × Besoin machinerie spécialisée × Dommages de rongeurs
Paillis	✓ Contrôle les mauvaises herbes ✓ Possible apport en nutriments ✓ Améliore la qualité du sol ✓ Réduit les besoins en irrigation	× Possibilité d'immobilisation des nutriments × Dispendieux \$ × Dommages de rongeurs
Travail de sol	✓ Contrôle des mauvaises herbes ✓ Élimine la compétition avec les pommiers ✓ Économique \$	× Sol à nu × Destruction de la structure du sol × Perte de matière organique × Besoin machinerie spécialisée

Comment les paillis organiques 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

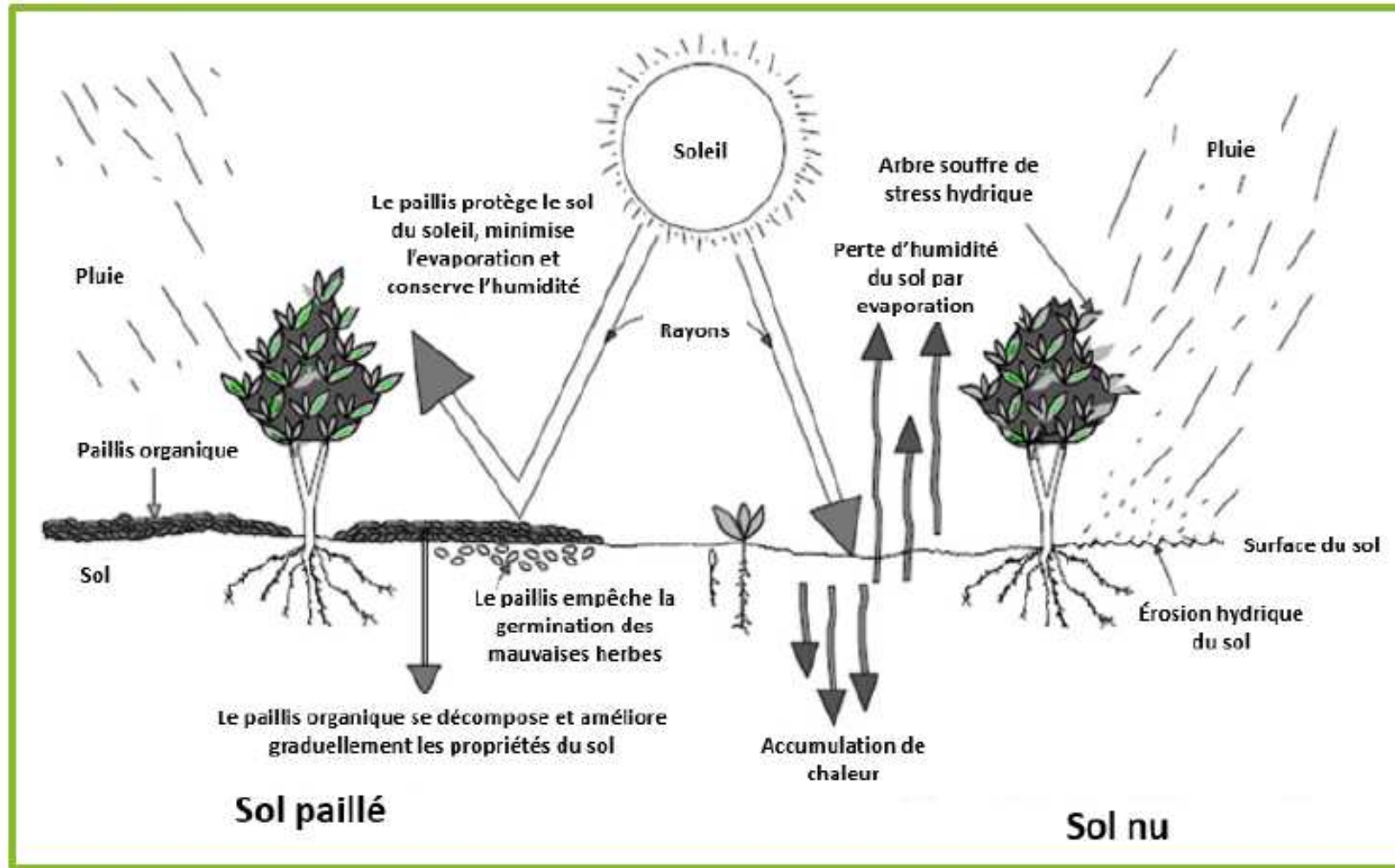


Photo: L.Boyer



(Photo: G. Peck, Cornell CALS)

Les paillis organiques

- **Paillis:** n'importe quel matériau qu'on pose sur le sol pour en faire une couche plus ou moins épaisse.
- Améliorent généralement la croissance et des rendements des pommiers
- Amendement organique
- Matériaux d'origine organiques (paille, bois, papier, compost)

Revue de littérature pour évaluer l'utilisation de paillis organiques comme gestion durable et profitable du sol et du couvre-sol dans les vergers québécois.

Critères de sélections des études

1. Les articles ont été publiés dans des journaux scientifiques.



2. Les expériences ont été réalisées en Amérique du Nord.



3. Les arbres fruitiers à l'étude étaient des pommiers.

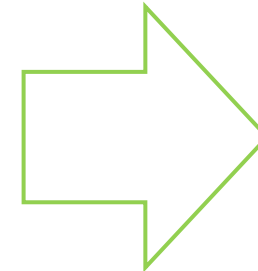


4. Variables étudiées : propriétés du sol ou paramètres de rendement et de croissance.



5. Présence d'un témoin de bande herbicide, de travail de sol ou de gazon tondu et au minimum 3 répétitions de chaque traitement

 **Clarivate**
Web of Science™



29 articles

 **Scholar**

Variables considérées

- Type de sol
- Emplacement géographique et climat
- Durée des études
- Porte-greffes et cultivars
- Types de paillis et leur méthode d'application

Tableau 2. Principales caractéristiques chimiques de paillis organiques utilisés en verger

Types de paillis	C/N	N (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)
Paille de foin	15,8	11-22	1-3	15	3,1	1,2
Paille de luzerne	-	25,5	2,5	22,0	8,0	2,0
Compost	13,5	13,5	2	5	-	-
Papier déchiqueté	205	2-2,4	0-0,03	0-0,2	57,0	1,0
Copeaux de bois	39,2	7	1	3	-	-

Sources : Jones et al., 2017, Walsh et al., 1996a et Neilsen et al., 2003b

4 types de paillis étudiés

1. Papier
2. Paille
3. Compost
4. Copeaux de bois



Articles sélectionnés

Tableau A1. Résumé de la méthodologie des différentes études analysées

Auteurs, date	Pays	Durée (ans)	Pommier	Type de sol	Témoin	Traitements	Taux d'application
Neilsen et al., 2003; Neilsen et al, 2003b; Forge et al., 2003	Canada (B.-C.)	7	spartan (M9)	Loam sablo-graveleux	herbicide (glyphosate)	Paillis de papier déchiqueté	12 t/ha initial et 4t/ha/années additionnels
						Paillis de paille de luzerne	24 t/ha initial et 12/ha/années additionnels
Neilsen et al., 2007; Forge et al., 2008	Canada (B.-C.)	6	Golden Delicious (M9)	Loam sablo-graveleux	herbicide (glyphosate)	Paillis de papier déchiqueté	15 kg/parcelle initial et 5kg/parcelle/ an
Neilsen et al., 2014	Canada (B.-C.)	6	Ambrosia (B9)	Loam limoneux	paillis de plastique noir	Paillis de luzerne (tondu-et soufflé)	luzerne coupée 3x durant la saison
						Paillis de bois (conifères) et résidus de tonte de couvre sol	10 cm d'épaisseur, couvre-sol tondu 3x/saison
Eissenstat et al., 2018	Canada (B.-C.)	3	Gala (M9)	Sable loameux	herbicide	Paillis de copeaux de bois (résidus forestiers non spécifiés)	10 cm d'épaisseur, renouvelé annuellement
Forge et al., 2013	Canada (B.-C.)	5	Braeburn (M9)	Sable loameux très fin	pas paillis ni amendement	Paillis de paille de luzerne	50 t/ha
						Paillis de fumier de bovin laitier composté	45 t/ha/3 ans
Walsh et al., 1996; Walsh, 1996b	Canada (Qc)	3	différents cultivars (M26 et M9)	Loam et loam argileux	rotoculté (5 à 10 cm) et désherbé à la main	Paillis de fumier composté	An 1: entre 35 et 70 m³/ha An 2 : entre 30 et 60 m³/ha
						Paillis de paille	10 à 15 cm d'épaisseur (2,5 kg/m²)
Granatstein and Mullinix, 2008	É.-U. (WA)	4 *	Red Delicious (M26)	Loam sableux fin	sol nu	Paillis de copeaux de bois (résidus de jardin, essence mixtes)	10 cm d'épaisseur (88,2 kg/m²), renouvelé la 3 ^e année
						Paillis de papier déchiqueté	10 cm d'épaisseur, renouvelé annuellement
						Paillis de paille de luzerne	10 cm d'épaisseur (39,8 kg/m²),
	É.-U. (WA)	3 **	Gala (M26)	N/A	herbicide (glyphosate)	Paillis de copeaux de bois	10 cm d'épaisseur
						Rotoculté (WonderWeeder 3x/saison)	15 cm d'épaisseur, réappliqué tous les 2 ans
Granatstein et al., 2010	É.-U. (WA)	3	Gala (M26) de 8 ans	Loam sableux fin	Rotoculté (WonderWeeder 3x/saison)	Paillis de copeaux de bois	15 cm d'épaisseur, réappliqué tous les 2 ans

Articles sélectionnés (suite)

TerAvest et al., 2010; TerAvest 2011	É.-U. (WA)	3	Pinata (M7)	Loam sableux	Rotoculté (WonderWeeder 4x/saison)	Paillis de copeaux de bois (mix conifères et feuillus)	15 cm d'épaisseur, renouvelé chaque printemps
Merwin and Stiles, 1994; Merwin et al., 1994	É.-U. (NY)	6	Empire et Jonagold (MM111)	loam limono- argileux	herbicide (glyphosate)	Paillis de paille de foin	15 cm d'épaisseur (30kg/arbre) renouvelé chaque printemps
Oliveira and Merwin, 2001	É.-U. (NY)	8	Empire (M9/MM111)	loam limono- argileux	herbicide (glyphosate)	Paillis de copeaux de bois (écorces de feuillus compostés)	10 cm d'épaisseur appliqué à tous les 2 à 3 ans. (162 kg/m ²)
Yao et al., 2005		12					
St. Laurent et al., 2008		14					
Atucha et al., 2011		16					
Rom et al., 2010; Choi and Rom, 2011; Choi et al, 2011	É.-U. (AR)	3	Enterprise (M26)	Loam loameux	Gazon tondu-et soufflé	Paillis de copeaux de bois (résidus de feuillus d'élitage municipal)	8 à 12 cm d'épaisseur appliqué en avril annuellement
						Paillis de compost municipal	8 à 12 cm d'épaisseur appliqué en avril annuellement
						Paillis de papier déchiqueté	8 à 12 cm d'épaisseur appliqué en avril annuellement
Mays et al., 2014; Mays et al., 2015	É.-U. (AR)	6	Enterprise (M26)	Loam loameux	Gazon tondu-et soufflé	Paillis de copeaux de bois (résidus de feuillus d'élitage municipal)	environ 10 cm d'épaisseur appliqué en avril annuellement
						Paillis de compost municipal	environ 10 cm d'épaisseur appliqué en avril annuellement
						Paillis de papier déchiqueté	environ 10 cm d'épaisseur appliqué en avril annuellement
Jones et al., 2017; Jones et al., 2020	É.-U. (AR)	7	Enterprise (M26)	Loam loameux	Gazon tondu-et soufflé	Paillis de copeaux de bois (résidus de feuillus d'élitage municipal)	environ 10 cm d'épaisseur appliqué en avril annuellement
						Paillis de compost municipal	environ 10 cm d'épaisseur appliqué en avril annuellement
						Paillis de papier déchiqueté	environ 10 cm d'épaisseur appliqué en avril annuellement
Stefanelli et al., 2009	É.-U. (MI)	6	Pacific Gala (M9, M9RN29, Supporter4)	Loam sablo- argileux	Pyrodés herbage (flaming)	Paillis de paille de luzerne (ratio 15:1)	15 à 20 cm d'épaisseur (environ 115 bales rondes/ha/année)
Mathew et al., 2002	É.-U. (WV)	1	Golen Supreme (M9)	N/A	herbicide (paraquat)	Paillis de compost (fumier de poulet et copeaux de bois)	8 cm

*arbres âgés de 4 ans au début de l'étude **arbres âgés de 3 ans au début de l'étude

Effet des paillis sur le rendement et la croissance

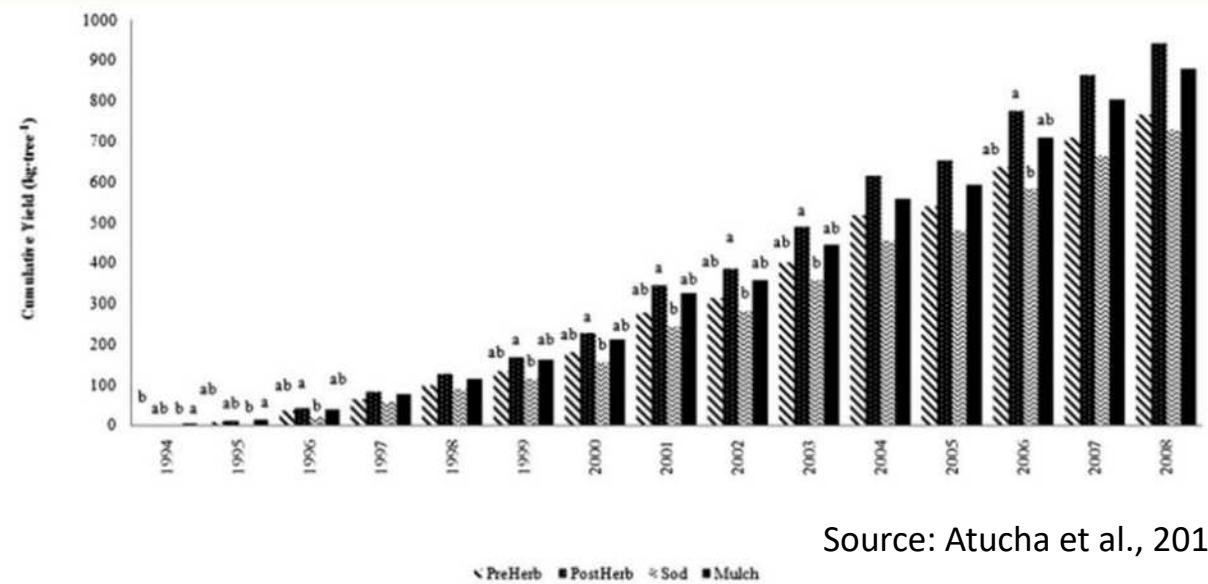
Généralement croissance et rendement supérieurs ou égaux (pas de différences significatives) aux témoins

Atucha et al., 2011 (étude de 16 ans)

- Pas de différences significatives de rendement entre les traitements au cumul de 16 ans
- M9/M111 interstem (semi-nains)
- Intérêt à laisser le rang engazonné ?



Photo: L.Boyer



Source: Atucha et al., 2011

Fig. 2. Cumulative yield (kg fruit/tree) from 1994 through 2008, for trees in each groundcover management system treatment. Letters were generated from Tukey's honestly significant difference test at $P \leq 0.05$ for 1994, 1995, and 1996 and $P \leq 0.1$ for 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, and 2006.

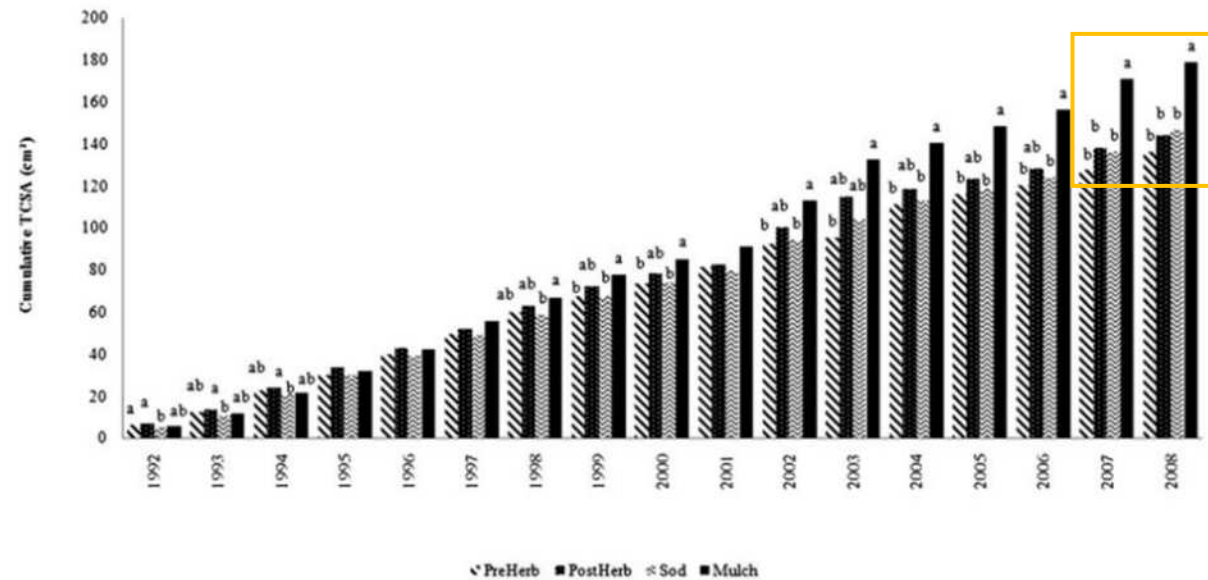


Fig. 3. Cumulative mean tree trunk cross-sectional area (TCSA) (cm²) from 1992 through 2008. Letters were generated from Tukey's honestly significant difference test at $P \leq 0.05$ for 1993, 1999, 2004, 2005, 2006, 2007, and 2008 and $P \leq 0.1$ for 1992, 1994, 1998, 2000, 2002, and 2003.

Effet des paillis sur la chimie du sol

Généralement pH, m.o. et concentrations en éléments minéraux supérieures ou égales aux témoins

Tableau 2. Principales caractéristiques chimiques de paillis organiques utilisés en verger

Types de paillis	C/N	N (g/kg)	P (g/kg)	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)
Paille de foin	15,8	11-22	1-3	15	3,1	1,2
Paille de luzerne	-	25,5	2,5	22,0	8,0	2,0
Compost	13,5	13,5	2	5	-	-
Papier déchiqueté	205	2-2,4	0-0,03	0-0,2	57,0	1,0
Copeaux de bois	39,2	7	1	3	-	-

Sources : Jones et al., 2017, Walsh et al., 1996a et Neilsen et al., 2003b

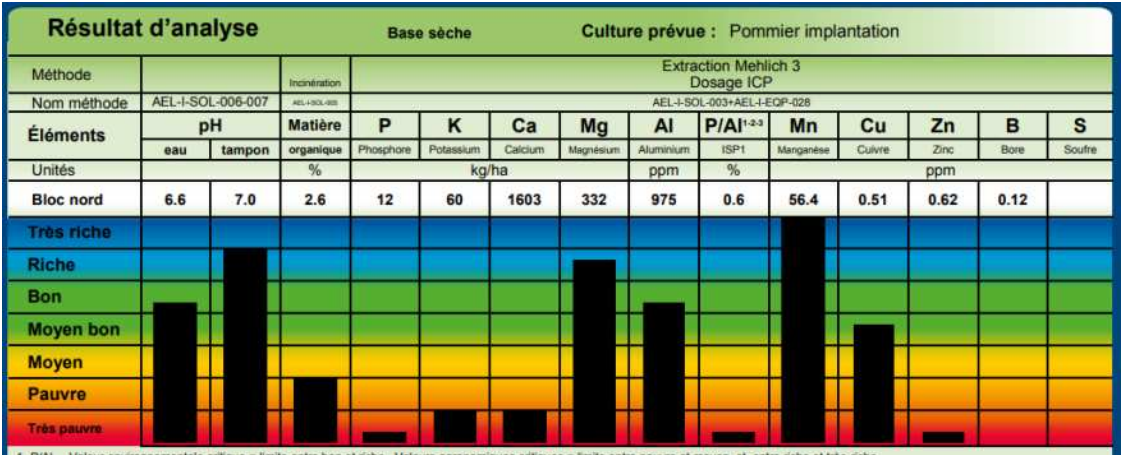


Photo: Dirthugger.com

Effet des paillis sur la biologie du sol

Généralement augmentation de la diversité et de l'abondance des microorganismes du sol

- Plus de matière organique = plus de nourriture pour les microorganismes du sol
- Modification de l'environnement (Temp. et humidité)
- Dépendant du type de paillis (C/N)



photo : I. Merwin, Cornell University

Contrôle des **nématodes des racines du pommiers**
(*Pratylenchus penetrans*)
associées à la maladie de la
replantation du pommier selon
plusieurs études
(Forge et al., 2003; 2008)



Effet des paillis sur la physique du sol

Généralement amélioration des propriétés physiques du sol par rapport aux témoins

- Effet mesurable sur le long terme (durée des études)
- Amélioration de la structure du sol
- ↑ capacité de rétention d'eau et humidité du sol
- ↓ des fluctuations de T°
- ↓ besoin en irrigation

Table 2 Extractable plant nutrients, organic matter content (OM), gravimetric water content and pH, in soil sampled from 0 to 30 cm depth after 14 years under five different orchard groundcover management systems (GMSs)

GMS	Al	Ca	Cu	Fe	Mg	Mn	P	K	Zn	OM	H ₂ O	pH
	(kg/ha)									(%)	(%)	
Post-H	9.4	1,578	6.96	0.60	343	17.9	1.07	92	2.10	4.91	18.3	7.0
Pre-H	9.1	1,609	6.77	0.50	360	19.8	0.97	110	3.09	4.94	17.4	6.8
Mowed Sod	11.9	1,456	6.63	1.37	307	15.6	0.83	86	3.12	4.94	19.8	6.6
Mulch	10.7	3,666	7.18	2.27	242	33.4	3.13	117	3.54	9.72	26.3	7.2
Grass Lane	14.3	1,515	6.44	1.43	297	16.9	1.27	84	2.40	5.74	18.6	6.4
LSD*	2.6	396	0.54	0.66	52	6.0	0.56	20	1.43	0.21	2.0	1.1

Values are means of three replicates per GMS treatment

* LSD Least significant difference ($P=0.05$) for mean separations among treatments

St.Laurent et al., 2008

Mays et al., 2014

- ↓ M/V du sol sous paillis après 6 ans
- ↑ agrégation (structure)

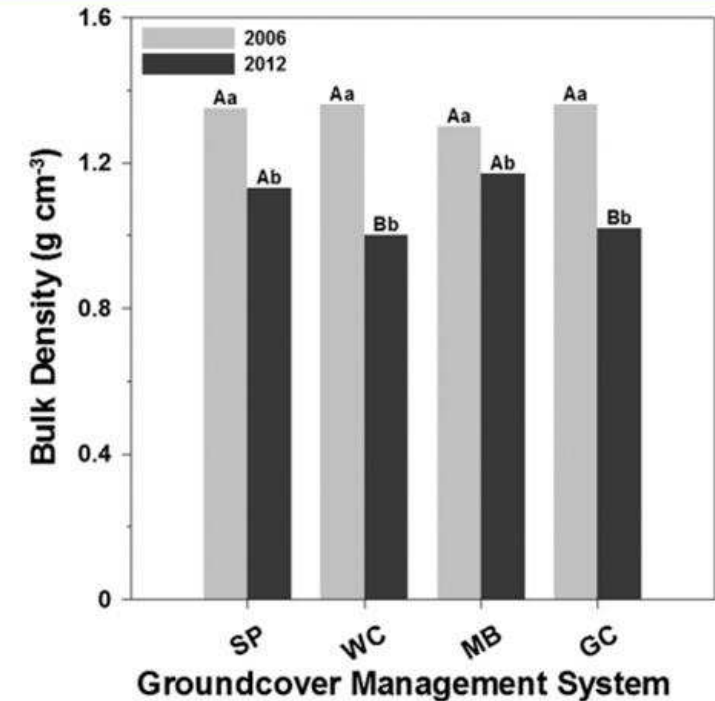


Fig. 3. Groundcover management system [i.e., shredded paper (SP), wood chips (WC), mow-blow (MB), and green compost (GC)] effects on soil bulk density over time from the top 6 cm within 0.75 m of the tree trunk in an experimental, organically managed apple ('Enterprise'/M.26) orchard on a silt loam surface soil in the Ozark Highlands region of northwest Arkansas. Different uppercase letters atop bars indicate significant differences ($P < 0.05$) between groundcover management treatments within the same year. Different lowercase letters atop bars indicate significant differences ($P < 0.05$) over time within the same groundcover management treatment.



Avantages	Inconvénients
↑ croissance et rendement	Pauvre en éléments nutritifs (Ca)
↓ T° du sol, amélioration de la structure du sol, ↑pH	pas d'effet sur le % m.o.
Bon contrôle des mauvaises herbes	Microasperseurs (mouiller le papier)
↓ pression des nématodes	

Tableau A2. Effets des paillis de papier sur les performances agronomiques des pommiers ainsi que les propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol

Auteurs, date	Variables mesurées et résultats																			
	Rendement	Croissance	M.O.	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., 2003; Neilsen et al, 2003b; Forge et al., 2003	↑	↑		-	-	-	-	-	↑	↑	-	↑	-		-	-		-		↑
Neilsen et al., 2007; Forge et al., 2009	↑	↑																		-
Granatstein and Mullinix, 2008	-	↑	-										-			↑				↓
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			-	↑	-					↑		-							-	↓





Paillis de paille de foin et de luzerne

Avantages	Inconvénients
↑ croissance et rendement (*luzerne)	Composition très variable et Coûts élevés \$
↑ M.O.,potassium (K) et azote (N)*	Contrôle des mauvaises herbes moyen
↑Humidité et ↓ T°	habitats propices aux campagnols
↑Abondance microorg.*	Synchronisation des apports en azote

Tableau A3. Effets des paillis de **paille** sur les performances agronomiques des pommiers ainsi que les propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol

Auteurs, date	Variables mesurées et résultats																					
	Rendement	Croissance	M.O.	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	Abondance	Diversité
Neilsen et al., 2003; Neilsen et al, 2003b; Forge et al., 2003	↑	–		↑	↑	–	↑	–	–	–	–	↑	–		–	↑		–			↑	↓
Neilsen et al., 2014	–	–	↑	–	↑	–	↑														↑	
Forge et al., 2013	↑	↑	↑		↑	↑	↑	–	–	–											↑	–
Walsh et al., 1996; Walsh, 1996b		–			–	–	↑	–	–				–		–				↑	↓		
Granatstein and Mullinix, 2008	↑	↑	–										–			–				↓	↑	
Merwin and Stiles, 1994; Merwin et al., 1994	–	↑	↑		–	↑	↑	–	–	–			–	–			↓	↓	↑	↓		
Stefanelli et al.	–	–																	↑			





Avantages	Inconvénients
Charge fertilisante (↑ élé. Nutritifs)	Trop d'azote= risque lessivage et aoûtement
↑ M.O. et pH	Compositions variables
↑structure et ↓ T°	Décomposition rapide
Stimulation rapide de la biologie du sol (effet biocontrôle)	Pas de contrôle adéquat des mauvaises herbes

Tableau A4. Effets des paillis de **compost** sur les performances agronomiques des pommiers ainsi que les propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol

Auteurs, date	Variables mesurées et résultats																					
	Rendement	Croissance	M.O.	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	Abondance	Diversité
Forge et al., 2013	–	–	↑		↑	↑	↑	↑	↑	↑		↑									–	–
Walsh et al., 1996; Walsh, 1996b		–			↑	↑	↑	–	–				–		–				–	↓		
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			↑	↑	↑					–		↑							–	↓	↑	↑
Mathew et al.		↑																	–	↓	↑	↑



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																				Avantages	Inconvénients			
	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	Abondance	Diversité			
Neilsen et al., 2014	–	↑	↑	↑	↑	–	↑														↑		↑ croissance	Dommages rongeurs	
Eissenstat et al., 2018	↑	–																	↑					↑ M.O., N, P, K, Ca, pH (pas d’immobilisation N observée)	Coût élevés \$ (transport, source locale, temps)
Granatstein and Mullinix, 2008	–	↑	–										–			–			↑	↓	↑			Décomposition lente (C/N ↑)	
Granatstein et al., 2010	–	↑		–												–								↑ structure, humidité et ↓ T°	
TerAvest et al., 2010; TerAvest 2011	–	↑		↑	–																↑			↓ de 20 et 40 % en irrigation	
Oliveira and Merwin, 2001													↓	↑		–	↑							↑ activité microbienne	
Yao et al., 2005	–	–	↑		↑	↑	–	–	↑	↑	↑										↑	–		Bon contrôle des mauvaises herbes	
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			↑	↑	↑					–		↑							–	↓	↑	↑			

Conclusions

1. L'utilisation de paillis dans le rang est souvent $\uparrow$, (au pire =) aux herbicides en ce qui concerne les performances (croissance, rendement en fruits) des arbres.
2. Le paillage avec des matériaux organiques améliore généralement la qualité du sol en comparaison aux traitements laissant le sol à nu (herbicides ou travail de sol).
3. L'utilisation de paillis devra être jumelée à une technique de contrôle des dommages de rongeurs comme des **grillages métalliques** autour des troncs.
4. Les paillis de papier semblent présenter moins d'avantages pour le sol que les autres (à préconiser si cette ressource est la moins dispendieuse et la plus accessible).
5. Le compost amendé sous forme de paillis représente un apport fertilisant trop important. Il serait préférable de l'appliquer comme fertilisant organique à des taux et des moments précis.
6. Les paillis de paille de luzerne constituent eux aussi une source intéressante de nutriments pour les pommiers, mais ont le désavantage de ne pas contrôler les mauvaises herbes. Leur usage idéal serait probablement dans les vergers matures, où la compétition avec le couvert herbacé n'est plus une problématique, jumelés à un système d'entre-rang semé en luzerne (ou autres légumineuses) et tondu-et-soufflé sur le rang d'arbre.
7. Les **paillis de bois sont les plus prometteurs pour les vergers québécois**. En effet, leur utilisation dans les premières années après la plantation permettrait d'améliorer les performances agronomiques des pommiers et la qualité du sol tout en concurrençant adéquatement les mauvaises herbes. Toutefois, en raison de leurs coûts élevés, la meilleure solution serait de pouvoir les produire directement sur place et de les appliquer durant les 5 à 7 premières années de croissance des pommiers. Après, une technique moins chère comme une culture de couverture ou un paillis tondu-et-soufflé serait souhaitable.

Tableau 3. Coûts (en dollars américains) de différentes gestions du couvre-sol en verger, tiré de Granatstein et al., 2010

Method	Rate (ha ⁻¹)	Frequency	Cost ha ⁻¹ yr ⁻¹ (\$)		
			Material	Application	Total
Tillage ¹	0.62 h	3 per yr		296	296
Wood chip mulch	100 m ³	1 per 3 yr	494	370	864
Alfalfa hay mulch	19.1 Mg	1 per 2 yr	788	222	1010
Spray on paper	7.6 Mg	1 per 1.5 yr	578	521	1099
Flaming	54 kg	3 per year	89	222	311
Weed fabric	1.5 m x 1143 m	1 per 6 yr	706	126	832
Glyphosate	1.24 L	4 per yr	59	198	257

¹Tillage with Wonder Weeder at 122 m min⁻¹ per side of tree row.



Projet de paillis 2022-2025

- Projet de parcelles de démonstration
- **6 vergers d'environ 0,5 ha** en Montérégie Ouest et Est
- Nouvelles et jeunes plantations de pommiers nains
- 1 voyage de copeaux de bois/verger (env. 105 m³)
- Paillis de 10 cm d'épaisseur sur 1m de large
- Section "témoin" pour comparatif
- Grillage métalliques sur les troncs des pommiers

*En collaboration avec **Robert Maheux**, agronome au Club de Pomiculture Yamaska et Évelyne Barriault (MAPAQ)*

Variables mesurées

1. Croissance annuelle des pommiers
2. Teneur en eau et température du sol
 3. Conditions de réussite
 4. Coût et temps nécessaire



Projet de paillis 2022-2025- Premiers constats

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.

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.



**PRIME-
VERT**

UN PAS DE PLUS.
POUR VOUS.
POUR VOTRE COLLECTIVITÉ.



Merci ! Questions ?

Le paillis de conifère acidifie-t-il le sol ?

- Plusieurs types de copeaux à l'étude (conifères et feuillus)
- Pas d'effet acidifiant, plutôt le contraire $\uparrow$ pH
- Types de bois = variable discutée dans **aucune** des études analysées
- Pas de lien prouvé scientifiquement
- Pas un enjeu

Plus d'informations :

<https://s3.wp.wsu.edu/uploads/sites/403/2015/03/wood-chips.pdf>

<https://extension.unh.edu/blog/2019/10/do-pine-trees-pine-needles-make-soil-more-acidic>





Campagnols et mulots?

- Pas de problématique avec les copeaux de bois selon plusieurs chercheurs (D. Granatstein, G. Peck)
- Expériences producteurs différentes?
- Variable selon la région et site des vergers
- Gros copeaux = préférables
- N'importe quel «abris» peut attirer les mulots (protection contre prédateurs) (Granatstein et Mullinix, 2008)



Solutions

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

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 (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)