



Ctifl



Les services rendus par les cultures fruitières

Chapitre 4.5

Le service de contrôle de l'érosion

Extrait du rapport rédigé par Marie-Charlotte Bopp

Septembre 2019

Coordination :

- Dominique Grasselly (CTIFL)
- Françoise Lescourret (INRA)
- Sylvie Colleu (INRA)

Action portée par le GIS Fruits, sur ressources CTIFL et INRA

1.1 Le service du contrôle de l'érosion

En France, la seule érosion hydrique est responsable de 1,5 t/ha de perte de sol chaque année (Eurostat, 2018), soit une valeur supérieure au seuil d'irréversibilité à l'échelle d'une vie humaine, égal à 1 t/ha/an (Grimm et al., 2001). **Face à ce constat, les vergers sont des cultures présentant divers atouts pour préserver les sols et réguler cette érosion à la fois hydrique et éolienne : pérennité et systèmes racinaires puissants qui permettent une bonne fixation du sol pendant la durée de vie du verger, présence d'un enherbement permanent sur l'inter-rang et parfois sur le rang, faible travail du sol...** Les bénéficiaires directs de ce service de régulation de l'érosion par les vergers sont les producteurs, grâce à l'amélioration du potentiel agronomique du sol et à la potentielle diminution de l'utilisation d'engrais (Figure 1) (Therond et al., 2017). La société est également un bénéficiaire direct de ce service par la diminution des risques naturels (réduction des coulées boueuses, des inondations) et le maintien des paysages (stabilisation des versants de montagne) (Therond et al., 2017).

Il n'existe pas de données permettant d'évaluer le service de contrôle de l'érosion des vergers français. A l'échelle européenne, une étude estime les taux d'érosion moyens en vigne et en vergers à 9,3 t/ha/an, ce qui semble élevé par rapport à ceux des cultures annuelles (2,7 t/ha/an) et des prairies permanentes (1,9 t/ha/an) (Panagos et al., 2015). Cependant, cette comparaison directe entre cultures est biaisée si on ne considère pas les facteurs topographiques et les caractéristiques spécifiques des sols en cultures pérennes, entre autre la localisation de certains vignobles et vergers dans des zones à forte érodibilité (fortes pentes, épisodes de pluviométrie élevés), implantés justement dans le but de réduire l'érosion (García-Ruiz, 2010). Une autre étude à l'échelle européenne démontre que les vignobles ont des taux d'érosion avoisinant les 17 t/ha/an tandis que les vergers et les terres arables auraient des taux d'érosion de l'ordre de 3t/ha/an (Service de l'observation et des statistiques, 2015). A nouveau, le moindre enherbement des vignobles par rapport aux vergers peut expliquer en partie ces résultats. Ainsi, hors contexte ces chiffres ne permettent pas d'évaluer correctement le potentiel des vergers dans la régulation de l'érosion. Seule une étude chinoise, conduite à pentes égales pour toutes les cultures étudiées, indique que les vergers ont des taux d'érosion trois fois plus forts que les forêts et dix fois plus faibles que les terres arables (Chen et al., 2019) (Figure 2).

Les pratiques liées à la gestion du sol entraînent des variations du niveau de fourniture du service (Figure 1). L'implantation d'un enherbement par exemple est une pratique qui permet de diminuer l'érosion des sols : le choix d'espèces couvrantes ainsi que la gestion de l'enherbement au fil du temps (tonte, roulage, resemis) pourraient ainsi moduler la fourniture du service. L'enherbement doit néanmoins être raisonné en tenant compte également des effets de concurrence possible avec les arbres fruitiers pour la ressource en eau et nutriments du sol, surtout en période juvénile, concurrence qui peut générer alors un disservice au producteur.

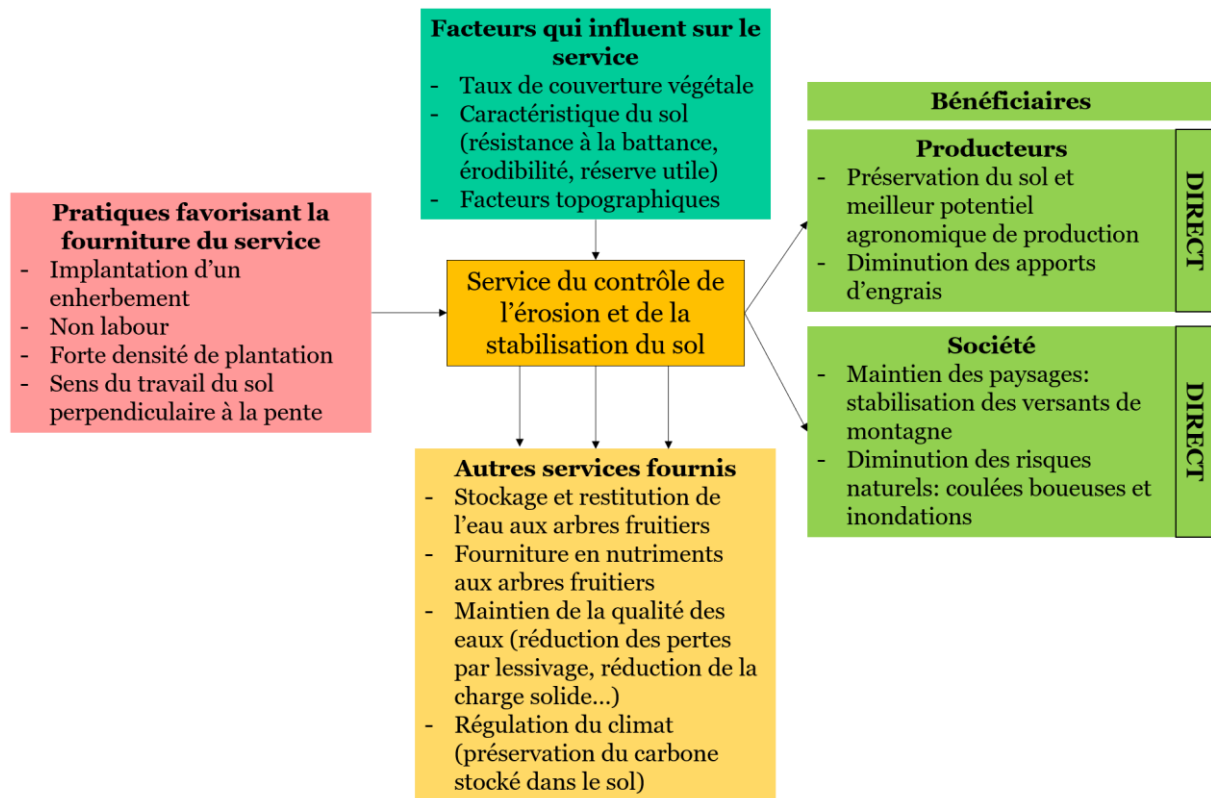


Figure 1 Déterminants et conséquences du service de contrôle de l'érosion fourni par les vergers aux producteurs et à la société

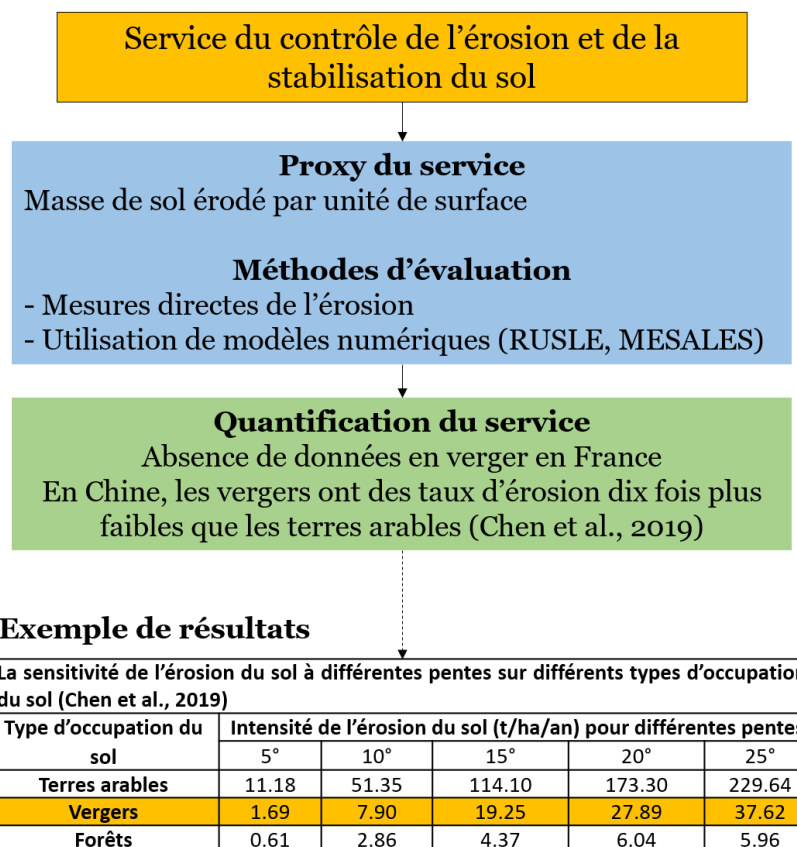


Figure 2 Indicateurs, méthode d'évaluation et résultats des recherches sur le service d'érosion en verger

1.1.1 Définition du service de stabilisation du sol et du contrôle de l'érosion

L'érosion est le flux de matières arrachées et transportées hors de la parcelle principalement par l'eau (érosion hydrique) et le vent (érosion éolienne). Elle est communément exprimée en tonnes de matières solides perdues par hectare et par an.

L'érosion est responsable de la perte de sol cultivable, c'est-à-dire de la couche superficielle du sol enrichie en matière organique. La quantité de sol présente sur une culture est le bilan de ce qui est produit par altération de la roche mère et de ce qui est perdu par érosion superficielle. La formation de sol est très lente et ne suffit pas à compenser les pertes par érosion. **Il est considéré qu'une érosion de plus de 1 t/ha/an est responsable d'une perte de sol qui sera irréversible à l'échelle de la vie humaine** (Grimm et al., 2001).

Le service de stabilisation des sols et de contrôle de l'érosion bénéficie aux producteurs via la préservation du sol et un meilleur potentiel agronomique de production (Figure 1) (Therond et al., 2017). Plus généralement, **la société est également bénéficiaire de ce service car il contribue à la stabilisation des versants dans les zones de montagnes, à la limitation des phénomènes de coulées**

boueuses, à la qualité des eaux de surface par réduction de sa charge solide¹ (Figure 1) (Therond et al., 2017). La stabilisation des sols permet également d'éviter la contamination des eaux par l'éventuel relargage de pesticides présents dans les sols.

Les vergers présentent **plusieurs avantages pour réguler l'érosion des sols** (Dale and Polasky, 2007):

- **Caractère pérenne** qui permet d'éviter des périodes de sols nus
- **Systèmes racinaires puissants** qui permettent de bien fixer le sol de la parcelle
- **Présence fréquente d'un enherbement permanent sur l'inter-rang** qui limite le sol nu, plus facilement érodable
- **Absence de travail du sol après plantation pour la majorité des vergers.** Cependant, pour certains vergers, l'absence de labour peut entraîner la compaction du sol
- **Présence de haies**

Le sol étant un lieu de stockage d'eau et de nutriments, **le service de régulation de l'érosion** qui limite la perte de sol **permet de fournir d'autres services aux producteurs et à la société** en limitant la perte de sol (Figure 1) (Dale and Polasky, 2007; Lemerrier and Walter, 2011; Therond et al., 2017) :

- Service de fourniture en nutriments aux arbres fruitiers
- Service de régulation du climat (réduction de la perte du carbone présent dans les sols)
- Service de stockage et de restitution de l'eau aux arbres fruitiers
- Service de maintien de la qualité des eaux de surfaces (par réduction de la charge solide, par diminution du ruissellement et lessivage des nitrates et des molécules de pesticides...)

1.1.2 Les facteurs qui influent sur le service de régulation de l'érosion

Les principaux facteurs qui influent sur le service de contrôle de l'érosion hydrique et éolienne sont présentés par ordre décroissant d'importance.

- **Le taux de couverture végétale du sol**

Il s'agit du premier facteur qui influe sur le taux d'érosion (Therond et al., 2017). La couverture végétale permet d'éviter l'érosion par divers mécanismes :

- Interception des précipitations par la végétation qui réduit l'énergie cinétique des gouttes de pluie et leur capacité à désagréger les sédiments de surface
- Augmentation de l'infiltration de l'eau le long de l'appareil racinaire des espèces herbacées
- Interception des particules solides dans l'eau qui ruisselle en formant une barrière physique
- Augmentation des flux d'évapotranspiration en période de risque de saturation du sol en eau. En période de sécheresse, l'évapotranspiration peut cependant augmenter le dessèchement superficiel du sol et en fonction de la texture des sols, augmenter le risque de battance.

Plusieurs études démontrent que le **ruissellement décroît de manière exponentielle avec le taux de couverture végétale** (Zuazo and Pleguezuelo, 2009). Ainsi, le choix des espèces semées dans les vergers impacte directement le service de régulation de l'érosion en fonction de leur capacité à recouvrir le sol.

- **La résistance à la battance du sol**

Il s'agit de la tendance d'un sol à former une croûte superficielle de colmatage. La battance d'un sol est directement reliée à sa stabilité structurale. La formation d'une croûte de battance limite les

¹ La charge solide regroupe les matériaux restant en suspension dans l'eau pendant un certain temps sans toucher le fond du lit, ni s'y déposer. Cette charge est fréquemment responsable de la turbidité des eaux.

capacités d'infiltration de l'eau dans le sol et favorise ainsi le ruissellement de surface lorsque le sol est nu.

- **L'érodibilité du sol**

Il s'agit de la tendance d'un sol à s'éroder pour un niveau de couverture végétale donnée. Elle dépend directement de la stabilité structurale du sol qui varie en fonction de nombreux facteurs physiques (texture, taux de matière organique, minéralogie, perméabilité...) et biologiques du sol (activités macro et microbiologiques...).

- **Les facteurs topographiques de la parcelle**

Les parcelles en pente ont des risques plus élevés de ruissellement de surface et donc d'érosion.

- **La réserve utile du sol**

La réserve utile est la quantité d'eau que le sol peut stocker. Un sol à faible réserve utile tendra à favoriser le ruissellement de surface et donc l'érosion. Cependant, en sols sableux, les faibles réserves utiles sont en partie compensées par une bonne infiltration de l'eau limitant ainsi les phénomènes de ruissellement de surface.

1.1.3 Méthodes et indicateurs pour évaluer le niveau de fourniture du service

- **Méthode d'évaluation du taux d'érosion éolienne en verger**

La grande majorité des études d'érosion porte sur l'érosion hydrique. Pourtant, l'érosion éolienne peut être importante dans les régions ventées comme l'Occitanie et Provence-Alpes-Côte d'Azur (Service de l'observation et des statistiques, 2015). Le quart des surfaces de ces régions est classé en zone à très forte sensibilité à l'érosion (Borrelli et al., 2014). Une carte européenne de la sensibilité des sols a été proposée par Borrelli et al. (2014) à partir des données de fractions érodables (Figure 61). La fraction érodable d'un sol est le pourcentage d'agrégats dont le diamètre est inférieur à 0,84 mm (López et al., 2007). Il s'agit de la taille maximale des particules qui peuvent être transportées par une large gamme de vitesses de vent testée (Chepil, 1950). La fraction érodable est calculée à partir des données de composition des sols (taux d'argile, de sable, de matière organique et de calcaire).

- **Méthodologie d'évaluation du taux d'érosion hydrique en verger**

A notre connaissance, il n'existe pas d'études qui discutent de la validité des indicateurs choisis pour évaluer le service de contrôle d'érosion hydrique et de stabilité des sols. Les indicateurs choisis sont très variés : surface sous la canopée d'une forêt dans une parcelle de cacaoyer, quantité de sédiments transférés dans la mer, fréquence de glissement de terrain, proportion de sols nus, type d'occupation du sol (Dale and Polasky, 2007; Layke et al., 2012).

- **Evaluation du service de contrôle de l'érosion hydrique à l'échelle de la parcelle**

Une méthode directe d'évaluation du service de contrôle de l'érosion à l'échelle parcellaire est la mesure du maintien et de la redistribution des matières du sol. Après avoir délimité des plots de quelques m², sur des parcelles de sol homogène et de même pente, il s'agit de récupérer dans des contenants les eaux qui ruissellent jusqu'aux plots les plus en contrebas et de quantifier les sédiments recueillis (Dunjó et al., 2004). Afin d'étudier l'impact des paramètres de pluviométrie, certaines études utilisent des simulateurs de pluies mis en place sur le terrain (Cerdà et al., 2009; Keesstra et al., 2016). D'autres études quantifient les signatures isotopiques de certains éléments constituant les particules

de sol. Ces éléments isotopiques (comme le césium) peuvent être tracés et mesurés jusqu'à l'échelle du bassin versant (Van Oost et al., 2006).

Une autre approche est fondée sur des dispositifs observatoires de longue durée, comme le RMQS avec des mesures et un suivi dans le temps (tous les 10 ans) d'un réseau de parcelles en France.

○ **Evaluation du service de contrôle de l'érosion hydrique à l'échelle nationale**

Plusieurs modèles empiriques ont été développés pour simuler les taux d'érosion du sol à de larges échelles en Europe. Ces modèles se basent sur une combinaison de données pédologiques, climatiques et agroécologiques. Le modèle RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) (Renard et al., 1997) a été utilisé pour l'évaluation du service de contrôle de l'érosion (Panagos et al., 2015; Therond et al., 2017). Ce modèle utilise 4 familles d'indicateurs en entrées :

- L'érodibilité du sol : proxy de la susceptibilité du sol à l'érosion par l'eau, qui dépend de sa texture, de sa structure et de son contenu en matière organique. Cet indicateur prend en compte la nature du couvert végétal et le mode de gestion de ce couvert ;
- Un indicateur topographique qui décrit les propriétés de la pente (angle, longueur, forme) ;
- L'érosivité des précipitations : proxy de la capacité des précipitations à transporter et à arracher les particules du sol par ruissellement.

D'autres modèles existent comme le modèle MESALES (Modèle d'Evaluation Spatiale de l'Aléa Erosion des Sols) (Le Bissonnais et al., 2002) ou le modèle PESERA (Kirkby et al., 2008).

Si ces modèles ont l'avantage de pouvoir évaluer les taux d'érosion sur de larges échelles spatiales, les limites principales résultent du manque de données et des incertitudes concernant les modes d'utilisation des terres et les propriétés du sol. De manière générale, l'information pédologique reste encore trop grossière en France (carte de sols au 1/1 000 000ème) pour faire tourner les modèles avec des grains d'analyse spatiale très fins. Il est également regrettable que la plupart de ces modèles ne comprennent pas une description explicite des processus physiques impliqués (Therond et al., 2017).

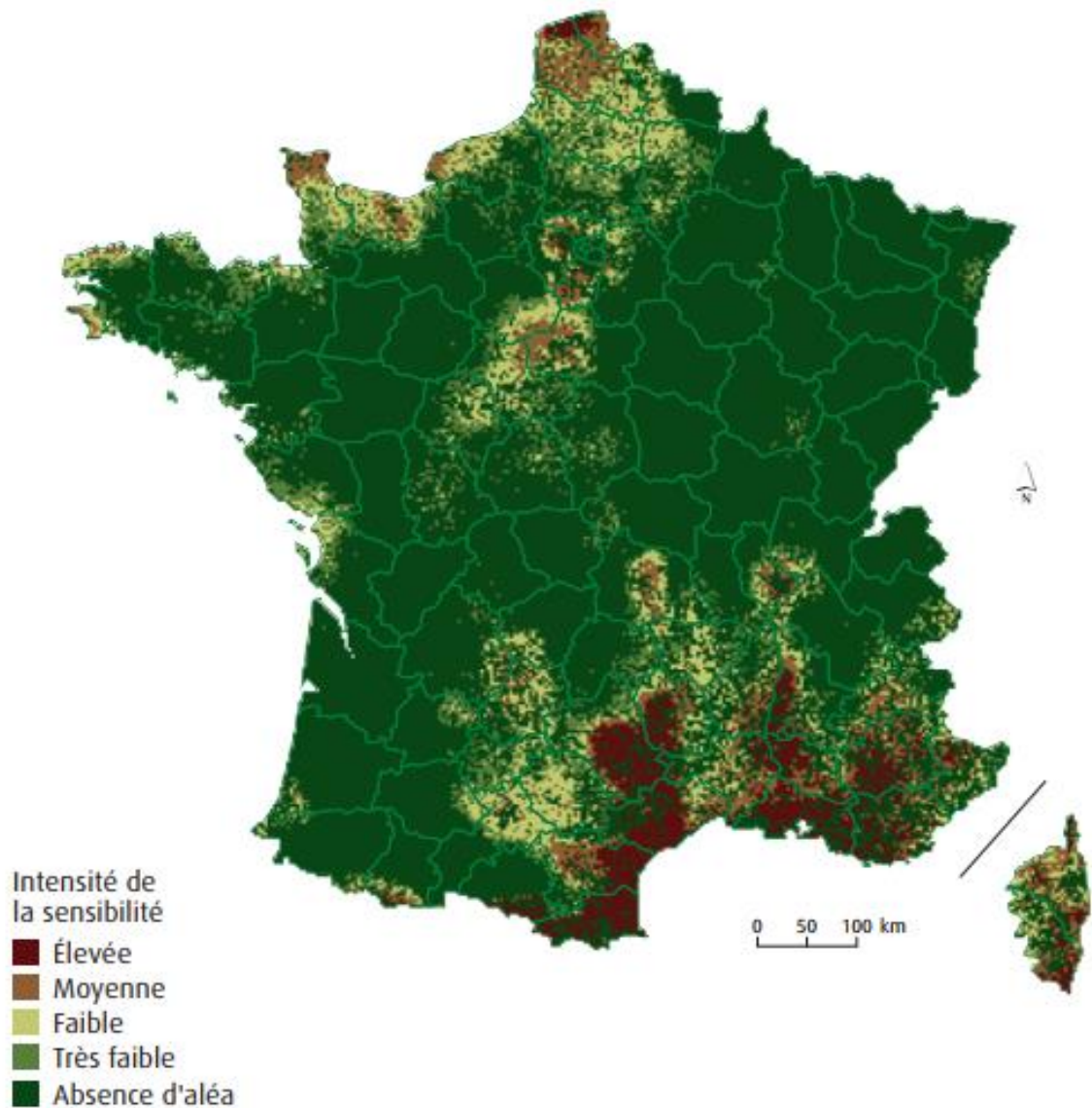
1.1.4 **Evaluation des taux d'érosion en verger**

● **Cartographie du taux d'érosion éolienne**

A notre connaissance, il n'existe pas d'études qui évaluent spécifiquement la capacité des vergers à réguler l'érosion par le vent. De manière générale, il existe peu d'études qui évaluent l'érosion éolienne.

La cartographie européenne de la sensibilité des sols à l'érosion éolienne (toute culture confondue), a été réalisée par Borrelli et al. (2014) à partir des données de fractions érodables, mais sans prendre en compte le mode d'occupation des sols. La Figure 3 présente la carte française issue de ce travail. Le pourtour méditerranéen ainsi que la vallée du Rhône ont des sensibilités élevées, dues notamment à la présence de vents forts et de sols secs (Service de l'observation et des statistiques, 2015).

Sans prise en compte de la diversité des facteurs de variabilité du mode d'occupation des sols, cette carte ne permet pas de faire un lien direct entre occupation des sols et risque d'érosion éolienne, et ne permet pas d'évaluer le rôle des vergers dans la limitation de cette érosion.



Source : JRC/Institute of Environment and Sustainability, 2014, d'après Borrelli P. *et al.*, 2014.
Traitements : SOeS. 2015

Figure 3 Intensité de la sensibilité à l'érosion éolienne en France. Source : Borrelli *et al.* (2014)

- **Taux d'érosion hydrique en verger**

En France, l'érosion hydrique des sols est estimée à 1,5 t/ha/an en moyenne, toute occupation du sol confondue, avec une très forte hétérogénéité spatiale (Eurostat, 2018). Elle est plus faible que la moyenne européenne qui s'élève à 2,4 t/ha/an (Panagos *et al.*, 2015) mais demeure au-delà du seuil d'irréversibilité à l'échelle d'une vie humaine (1t/ha/an) (Grimm *et al.*, 2001).

Le taux d'érosion moyen des sols a été cartographié à l'échelle européenne à partir du modèle RUSLE (Panagos *et al.*, 2015; Renard *et al.*, 1997). La Figure 4 présente la carte de l'aléa d'érosion hydrique en France lorsque celui-ci est le plus élevé en raison des fortes précipitations (septembre, octobre et novembre). Les régions fortement touchées par l'aléa de l'érosion hydrique pendant cette période et plus généralement sur l'ensemble de l'année sont le Nord, l'Est du Bassin Parisien, la vallée du Rhône

et le Sud-Ouest. Ces régions présentent la particularité d'avoir des sols limoneux, fortement arrosés et cultivés. Le pourtour méditerranéen présente des aléas d'érosion particulièrement forts en automne mais faibles pendant le reste de l'année (Therond et al., 2017), dus aux épisodes de précipitations intenses lorsque les sols sont secs à la fin de l'été. Il est intéressant de noter que cette carte des risques d'érosion hydrique se distingue de la carte de sensibilité d'érosion éolienne (Borrelli et al., 2014). Les processus de ces deux types d'érosion étant différents, les mécanismes de régulation sont également différents. Ainsi, la quantification du service de régulation de l'érosion doit également être différenciée suivant la cause de l'érosion.

Comme précédemment, cette carte permet de localiser les zones les plus sensibles à l'érosion hydrique, mais ne permet pas de quantifier le rôle de régulation de ce risque en verger.

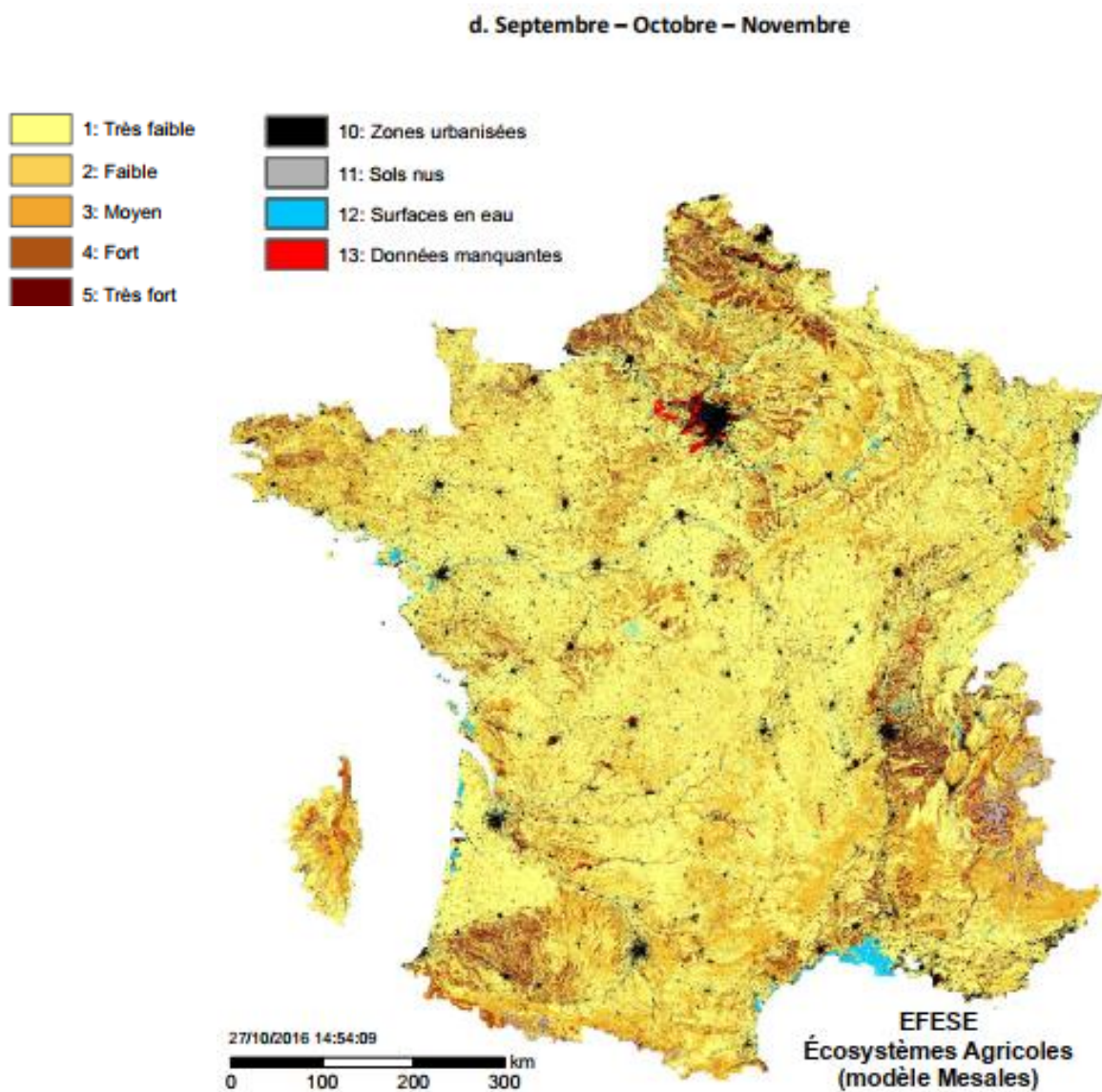


Figure 4 Carte française de l'aléa d'érosion hydrique en septembre, en octobre et en décembre. Source : Therond et al. (2017)

Le croisement de cette carte avec la carte des occupations de sols issues de la base de données CORINE Land Cover a permis d'estimer un taux d'érosion moyen par grands types de culture (Panagos et al., 2015). Le Tableau 1 indique que **les cultures permanentes se situent sur des zones ayant des taux d'érosion moyens plus élevés (9,26 t/ha/an) que les autres cultures.**

Cependant, ces résultats ne renseignent pas sur la capacité des vergers à réguler l'érosion car ils ne s'affranchissent pas des effets des caractéristiques des sols où ils sont implantés (pente, texture du sol, contexte pédoclimatique, etc.). Ils ne permettent pas de prouver que l'érosion d'une parcelle de verger est plus faible ou plus forte que l'érosion de cette même parcelle si elle était occupée par une autre culture. Ainsi, les taux d'érosion plus élevés en cultures pérennes ne signifient pas que ces cultures ne fournissent pas un service de régulation de l'érosion. Au contraire, certaines mesures de la PAC dans les années 90 visaient à inciter la plantation de vergers plutôt que d'autres cultures pour stabiliser le sol dans des zones à fortes érosions (García-Ruiz, 2010). Ce fait explique la localisation actuelle de certains vergers comme les oliviers, dans des zones fortement érodables (fortes pentes, fortes précipitations) : dans ce cas l'érosion est donc la cause de la présence de l'olivier et non l'inverse !

Par ailleurs, il n'est pas satisfaisant de mélanger les résultats de l'ensemble des plantes pérennes qui n'ont pas le même poids dans l'occupation des surfaces (87% de vignobles et 13% de vergers) : le taux d'érosion sur les vergers ne peut être déduit, sans précaution, des valeurs obtenues sur l'ensemble des pérennes. Ainsi, selon une autre référence, les taux d'érosion enregistrés en vignoble s'élèveraient en moyenne à 17 t/ha/an tandis que les taux d'érosion en terres arables et en vergers seraient en moyenne de 3 t/ha/an (Service de l'observation et des statistiques, 2015). A nouveau, ces taux d'érosion élevés des vignobles peuvent en partie résulter de leur localisation importante dans des zones méditerranéennes vallonnées avec d'importantes précipitations érosives (Panagos et al., 2015). De plus, les vignobles sont généralement caractérisés par des proportions de sol nu plus élevées que les autres espèces cultivées, dont les vergers.

Tableau 1 Taux d'érosion moyens des grands types de culture estimés à partir du modèle RUSLE à l'échelle européenne. Source : (Panagos et al., 2015)

Culture	Taux d'érosion moyens (t/ha/an)
Terres arables	2,72
Cultures permanentes	9,26
Prairies permanentes	1,93
Zones agricoles hétérogènes	4,36
Forêt	0,07

Une étude chinoise a estimé l'intensité de l'érosion en fonction de différents types d'occupation du sol et de différentes pentes (Tableau 2). **Les vergers représentaient 39% de la surface agricole mais étaient responsables de 12% de l'érosion totale sur le lieu d'étude (Bassin versant du Yujiahe).** En faible pente, les vergers ont montré une intensité d'érosion du sol 10 fois plus faible que les terres arables, et 3 fois plus fortes que les forêts (Chen et al., 2019). A l'inverse des cas précédents, cette étude permet de distinguer de façon pertinente l'effet de la pente des effets propres aux caractéristiques du couvert, mais elle est moins représentative du service du contrôle de l'érosion par les vergers français du fait des différences de contexte pédoclimatique et d'espèces étudiées.

Tableau 2 Intensité de l'érosion du sol à différentes pentes et pour différents types d'occupation du sol.
 Source : Chen et al. (2019)

Type d'occupation du sol	Intensité de l'érosion du sol (t/ha/an) pour différentes pentes				
	5°	10°	15°	20°	25°
Terres arables	11.18	51.35	114.10	173.30	229.64
Vergers	1.69	7.90	19.25	27.89	37.62
Forêts	0.61	2.86	4.37	6.04	5.96

Ainsi, il existe peu de données vraiment spécifiques aux vergers en France. La plupart des études européennes portant sur l'érosion en verger sont situées en zones méditerranéennes et plus particulièrement en Espagne (Cerdà et al., 2009; Dunjó et al., 2004; García-Ruiz, 2010; Keesstra et al., 2016) où les terres agricoles sont particulièrement touchées par ce phénomène. Elles ne peuvent donc être facilement généralisées à l'ensemble du territoire français.

Il existe aussi des spécificités liées aux espèces fruitières. Ainsi l'olivier, souvent implanté sur des pentes raides, à de faibles densités et dans des zones méditerranéennes aux événements climatiques pluvieux ponctuellement intenses, semble plus exposé que d'autres espèces aux risques d'érosion (Dunjó et al., 2004; García-Ruiz, 2010). Le Tableau 3 présente les taux de ruissellement et taux d'érosion moyens mesurés sur un été en Espagne. Ces deux taux sont globalement plutôt bas (de 1,3 à 4,3 l/m² pour le ruissellement et 0,2 à 1,6 t/ha pour le taux d'érosion). Le taux d'érosion maximal est atteint dans les parcelles d'oliviers (1,6t/ha), résultat probablement à relier à la plus forte pente (25%) et à un taux très faible de végétation (25%).

Tableau 3 Taux de ruissellement et d'érosion moyens en été selon l'occupation du sol en Espagne. La somme du taux de végétation et de sol nu n'est pas égale à 100% car les auteurs de l'étude ont considéré la surface de pierrosité. Source : Dunjó et al. (2004)

Espèce fruitière	Pente	Taux de végétation	Taux de sol nu	Taux de ruissellement (l/m ²)	Taux d'érosion (t/ha)
Oliviers	25%	25%	70%	4,3	1,6
Oliviers abandonnés	20%	75%	20%	1,6	0,03
Vignes	18%	15%	70%	2,8	0,1
Vignes abandonnées	20%	30%	50%	1,3	0,2

Cultivés dans des conditions assez proches de celles des oliviers, les amandiers peuvent également être présents sur sols pentus. Cependant, il existe peu de données sur le taux d'érosion pour cette espèce (Dunjó et al., 2004).

- **Les taux d'enherbement des vergers par rapport aux autres cultures**

La couverture d'un sol étant l'un des facteurs principaux qui influent sur l'érosion, examiner les taux de couverture des vergers peut être un proxy de leur capacité de contrôler l'érosion.

L'indice de végétation NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) est un proxy de la quantité de tissus chlorophylliens présents sur une surface donnée de sol, évaluée sur des images obtenues en télédétection. Ces données sont accessibles à une résolution spatiale de 250m et une résolution temporelle de 8 jours. Cet indice estime donc le taux de recouvrement végétal des terres agricoles.

L'étude EFESE a défini des classes de valeurs de NDVI en fonction du type d'occupation de sol (Therond et al., 2017). Les valeurs de NDVI sont des moyennes effectuées sur l'ensemble de l'année de 2005 à 2015. Le Tableau 4 présente ces fourchettes de valeurs pour chaque type d'occupation du sol.

Les cultures permanentes (arboriculture et viticulture) ont des NDVI légèrement supérieurs aux terres arables (ces dernières, non permanentes, peuvent avoir des périodes de sols nus). Ces NDVI sont cependant légèrement inférieurs à ceux des zones agricoles hétérogènes (agroforesterie, cultures annuelles associées à des cultures pérennes...) et inférieurs à ceux des prairies et pâturages.

Tableau 4 Valeurs moyennes des classes de NDVI en fonction de chaque occupation du sol. Source : Therond et al. (2017)

Type d'occupation du sol	Classe NDVI
Terres arables	0-0,5
Cultures permanentes	0,5-0,6
Zones agricoles hétérogènes ²	0,6-0,7
Prairies et pâturages	0,7-1

1.1.5 Les pratiques culturales qui modulent le service de régulation de l'érosion

- Densité de plantation des vergers

La densité de plantation des vergers impacte directement le niveau d'érosion. Si de forts niveaux d'érosion sont enregistrés en parcelles d'oliviers, c'est également dû à leurs faibles densités de plantation par rapport aux autres arbres fruitiers (García-Ruiz, 2010). A titre d'exemple, les densités minimales peuvent être de l'ordre de 100 arbres/ha dans les systèmes traditionnels d'oliviers en Andalousie (Gómez et al., 2004) tandis qu'un verger de pommiers a une densité de plantation de l'ordre de 2000 pieds/ha. Ces densités de plantation engendrent néanmoins des développements de systèmes racinaires et de canopée différents qui modulent en retour l'effet spécifique de chaque arbre au sein du verger.

- Sens de travail du sol des vergers

Le sens de travail impacte directement l'érosion des sols des vergers : si les rangs et le labour sont parallèles à la pente, l'érosion est augmentée. Le sens d'un labour peut doubler voire quadrupler les taux d'érosion. Ainsi, en verger d'amandiers, un labour dans le sens de la pente provoquerait une érosion de 3,6 à 5,9 mm/an tandis qu'un labour dans le sens perpendiculaire de la pente serait responsable d'une érosion de 1,5 à 2,6 mm/an (Poesen and Hooke, 1997).

- La gestion de l'enherbement et la gestion du sol

Les pratiques de gestion de l'enherbement impactent le service de régulation de l'érosion car elles modulent le taux de couverture du sol. Des études ont comparé les taux d'érosion de vergers d'oliviers dont les pratiques de gestion du sol étaient différentes : (i) traitements herbicides, (ii) plantes de couvert semées dans les inter-rangs comme l'orge et (iii) labour régulier pour contrôler les adventices (Gómez et al., 2004, 2003). Les taux d'érosion les plus élevés étaient enregistrés dans les modalités avec herbicide (8,5 t/ha/an associé à un taux de ruissellement de 21,5%) et les plus faibles se trouvaient

² Les zones agricoles hétérogènes comprennent les cultures annuelles associées à des cultures pérennes, des systèmes culturaux et parcellaires complexes, des surfaces essentiellement agricoles interrompues par des espaces naturels importants, des territoires en agroforesterie

dans les modalités de couverts d'orge (1,2 t/ha associé à un taux de ruissellement de 2,5%). La modalité labourée présentait des taux d'érosion intermédiaires (4 t/ha/an associé à des taux de ruissellement de 7,4%). De plus, Dunjó et al. (2004) montrent que des parcelles d'oliviers avec un taux de végétation plus élevé ont des taux d'érosion plus faibles : 1,6 t/ha d'érosion pour une parcelle à 25% de végétation sur le sol contre 0,03 t/ha pour une parcelle à 75% de végétation (Tableau 3). Ces résultats illustrent bien l'effet positif du couvert sur l'érosion.

Tableau 5 Taux d'érosion (t/ha/an) et ruissellement (en %) en verger d'oliviers en fonction du mode de gestion du sol. Source : (Gómez et al., 2004, 2003)

Mode de gestion du sol	Ruissellement (%)	Taux d'érosion (t/ha/an)
Traitements herbicides	21,5%	8,5
Plantes de couvert (orge)	2,5%	1,2
Labours (4 passages par an)	7,4%	4

Des résultats similaires ont été démontrés en verger d'abricotiers (Keesstra et al., 2016). La Figure 5 représente les taux d'érosion de différentes modalités de gestion du sol de vergers d'abricotiers en fonction du taux de ruissellement (Keesstra et al., 2016). Les modalités herbicides présentent également les taux d'érosion les plus élevés allant de 0,4 t/ha/an à 1,7 t/ha/an associés à un taux de ruissellement de 22% à 57%. Les modalités labourées présentent des taux d'érosion intermédiaires sur des intervalles de 0,2 à 1 t/ha/an, associés à des taux de ruissellement de moins de 15%. Les taux d'érosion les plus faibles sont des modalités couvertes par de l'enherbement, de la litière ou des broyats de branches (moins de 0,2 t/ha/an associés à des taux de ruissellement faibles de moins de 7%).

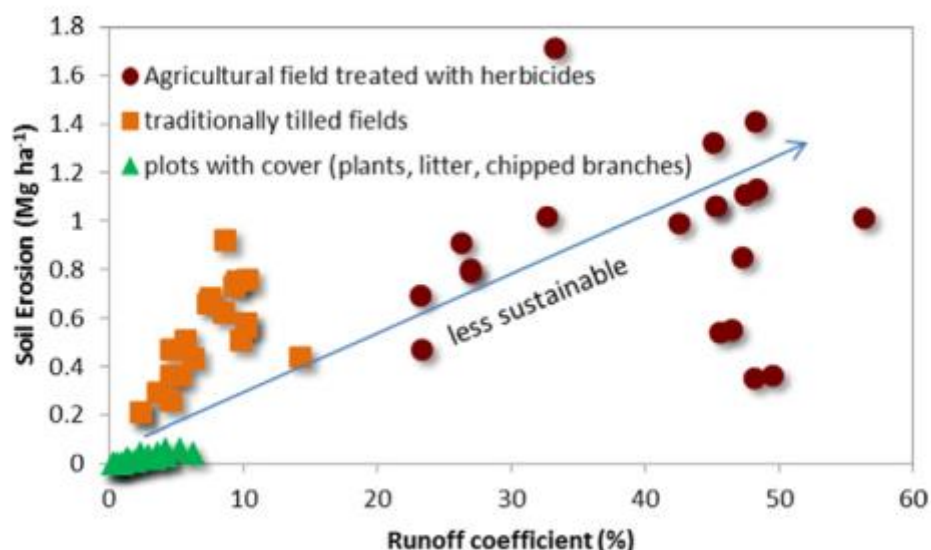


Figure 5 Taux d'érosion du sol de vergers d'abricotiers (t/ha) en fonction du taux de ruissellement (% d'eau de pluie) pour différentes modalités de gestion du sol : herbicides en rouge, sols labourés en orange et sol couvert (enherbement, litière ou branches broyées) en vert. Source : Keesstra et al. (2016)

Une étude a également quantifié l'érosion causée par le labour en verger d'amandiers en Espagne. Le travail du sol effectué plusieurs fois dans l'année était responsable d'une érosion allant de 1,5 à 5,9 mm/an (Poesen and Hooke, 1997).

L'irrigation par aspersion sous frondaison et sur frondaison, peut avoir un effet positif sur le service écosystémique car elle va favoriser l'enherbement. Ce n'est pas le cas en pratique d'irrigation localisée en goutte-à-goutte qui, par contre est plus économe en eau.

A notre connaissance, il n'existe pas d'études qui quantifient les taux d'érosion en fonction du mode d'irrigation et des quantités d'eau apportées.

D'autres facteurs pourraient impacter l'érosion en verger comme le type de système racinaire (pivotant/traçante) ou le choix du porte-greffe mais à notre connaissance, aucune étude n'a testé ces facteurs.

Bibliographie

- Borrelli, P., Ballabio, C., Panagos, P., Montanarella, L., 2014. Wind erosion susceptibility of European soils. *Geoderma* 232–234, 471–478.
- Cerdà, A., Morera, A.G., Bodí, M.B., 2009. Soil and water losses from new citrus orchards growing on sloped soils in the western Mediterranean basin. *Earth Surface Processes and Landforms* 34, 1822–1830.
- Chen, Z., Wang, L., Wei, A., Gao, J., Lu, Y., Zhou, J., 2019. Land-use change from arable lands to orchards reduced soil erosion and increased nutrient loss in a small catchment. *Science of The Total Environment* 648, 1097–1104.
- Dale, V.H., Polasky, S., 2007. Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services. *Ecological Economics, Special Section - Ecosystem Services and Agriculture* 64, 286–296.
- Dunjó, G., Pardini, G., Gispert, M., 2004. The role of land use–land cover on runoff generation and sediment yield at a microplot scale, in a small Mediterranean catchment. *Journal of Arid Environments* 57, 239–256.
- Eurostat, 2018. Agri-environmental indicator - soil erosion - Statistics Explained [WWW Document]. URL https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Agri-environmental_indicator_-_soil_erosion (accessed 6.21.19).
- García-Ruiz, J.M., 2010. The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review. *CATENA* 81, 1–11.
- Gómez, J.A., Battany, M., Renschler, C.S., Fereres, E., 2003. Evaluating the impact of soil management on soil loss in olive orchards. *Soil Use and Management* 19, 127–134.
- Gómez, J.A., Romero, P., Giráldez, J.V., Fereres, E., 2004. Experimental assessment of runoff and soil erosion in an olive grove on a Vertic soil in southern Spain as affected by soil management. *Soil Use and Management* 20, 426–431.
- Grimm, M., Jones, R., Montanarella, L., 2001. Soil erosion risk in Europe. CiteSeer.
- Keesstra, S., Pereira, P., Novara, A., Brevik, E.C., Azorin-Molina, C., Parras-Alcántara, L., Jordán, A., Cerdà, A., 2016. Effects of soil management techniques on soil water erosion in apricot orchards. *Science of The Total Environment* 551–552, 357–366.
- Kirkby, M.J., Irvine, B.J., Jones, R.J.A., Govers, G., 2008. The PESERA coarse scale erosion model for Europe. I. – Model rationale and implementation. *European Journal of Soil Science* 59, 1293–1306.
- Layke, C., Mapendembe, A., Brown, C., Walpole, M., Winn, J., 2012. Indicators from the global and sub-global Millennium Ecosystem Assessments: An analysis and next steps. *Ecological Indicators, Indicators of environmental sustainability: From concept to applications* 17, 77–87.
- Le Bissonais, Y., Montier, C., Jamagne, M., Daroussin, J., King, D., 2002. Mapping erosion risk for cultivated soil in France. *CATENA* 46, 207–220.
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L., Alewell, C., 2015. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy* 54, 438–447.

Poesen, J.W.A., Hooke, J.M., 1997. Erosion, flooding and channel management in Mediterranean environments of southern Europe. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* 21, 157–199.

Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., Yoder, D.C., 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). United States Department of Agriculture Washington, DC.

Service de l'observation et des statistiques, 2015. Sols et environnement Chiffres clés Édition 2015, Repères. Commissariat général au développement durable.

Therond, O., Tichit, M., Tibi, A., Accatino, F., Biju-Duval, L., Bockstaller, C., Bohan, D., Boval, M., Cahuzac, E., Casellas, E., Chauvel, B., Choler, P., Constantin, J., Cousin, I., Daroussin, J., David, M., Delacote, P., Derocles, S., De Sousa, L., Domingues Santos, J.-P., Dross, C., Duru, M., Eugène, M., Fontaine, C., Garcia, B., Geijzendorffer, I., Girardin, A., Graux, A.-I., Jouven, M., Langlois, B., Le Bas, C., Le Bissonnais, Y., Lelièvre, V., Lifran, V., Maigné, E., Martin, G., Martin, R., Martin-Laurent, F., Martinet, V., McLaughlin, O., Meillet, A., Mignolet, C., Mouchet, M., Nozières-Petit, M.-O., Ostermann, O.-P., Paracchini, M., Pellerin, S., Peyraud, J.-L., Petit-Michaut, S., Picaud, C., Plantureux, S., Poméon, T., Porcher, E., Puech, T., Puillet, L., Rambonilaza, T., Raynal, H., Resmond, R., Ripoche, D., Ruget, F., Rulleau, B., Rush, A., Salles, J.-M., Sauvant, D., Schott, C., Tardieu, L., 2017. Evaluation des services écosystémiques rendus par les écosystèmes agricoles (Rapport d'étude). Inra, France.

Van Oost, K., Govers, G., De Alba, S., Quine, T.A., 2006. Tillage erosion: a review of controlling factors and implications for soil quality. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* 30, 443–466.

Zuazo, V.H.D., Pleguezuelo, C.R.R., 2009. Soil-Erosion and Runoff Prevention by Plant Covers: A Review. In: Lichtfouse, E., Navarrete, M., Debaeke, P., Véronique, S., Alberola, C. (Eds.), *Sustainable Agriculture*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 785–811.

Composition du groupe de travail :

Dominique Grasselly, coordinateur (CTIFL), Françoise Lescourret, coordinatrice (INRA), Marie-Charlotte Bopp, cheffe de projet (CTIFL-INRA), Denis Bergère (AFIDEM), Emmanuel Demange (Interfel), Anne Guérin (IFPC), Pascale Guillermin (AgroCampusOuest Angers), Christian Hutin (CTIFL), François Laurens (INRA), Stéphanie Prat (FNPF), Natacha Sautereau (ITAB), Matthieu Serrurier (CTIFL), Pierre Varlet (ANPP), Sylvie Colleu (INRA).

Pour citer ce document :

M-C. Bopp, D. Grasselly, F. Lescourret, D. Bergère, E. Demange, A. Guérin, P. Guillermin, C. Hutin, F. Laurens, S. Prat, N. Sautereau, M. Serrurier, P. Varlet, S. Colleu. *Les services rendus par les cultures fruitières, Chapitre 4.5, Le service de contrôle de l'érosion*, 2019, CTIFL-INRA.

Synthèse et rapport disponibles sur : <https://www.gis-fruits.org/Groupes-thematiques/Approche-systeme/Rapport-Services-rendus-par-les-cultures-fruitieres>

DOI : <https://prodinra.inra.fr/record/483007>

Licence CC : BY NC ND