



**HAL**  
open science

## Épisodes pluvieux intenses, érosion des sols et viticulture

Stéphane Follain, François Colin

► **To cite this version:**

Stéphane Follain, François Colin. Épisodes pluvieux intenses, érosion des sols et viticulture. Rencontres du Clos-Vougeot 2019, Oct 2019, Clos Vougeot, France. <hal-03013726>

**HAL Id: hal-03013726**

**<https://institut-agro-dijon.hal.science/hal-03013726v1>**

Submitted on 14 Oct 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

# Épisodes pluvieux intenses, érosion des sols et viticulture

Stéphane FOLLAIN<sup>(1)</sup> et François COLIN<sup>(2)</sup>

<sup>1</sup> Professeur de Science du Sol - AgroSup Dijon

[stephane.follain@agrosupdijon.fr](mailto:stephane.follain@agrosupdijon.fr)

Agroécologie, AgroSup Dijon, INRAe, Univ. Bourgogne, Univ. Bourgogne Franche-Comté, F-21000 Dijon, France

<sup>2</sup> Professeur d'Hydrologie - Institut Agro Montpellier SupAgro

[francois.colin@supagro.fr](mailto:francois.colin@supagro.fr)

*Stéphane Follain et François Colin, 2020. Épisodes pluvieux intenses, érosion des sols et viticulture. In : Rencontres du Clos-Vougeot 2019, Fluctuations climatiques et vignobles du Néolithique à l'actuel : impacts, résilience et perspectives. Dir. J. PERARD et C. WOLIKOW. Chaire UNESCO Culture et Traditions du Vin, 337-347 pp.*

ISSN : 2416-9838

ISBN : 978-2-918173-29-8

## INTRODUCTION

Au niveau mondial, l'érosion des sols est aujourd'hui reconnue comme un processus majeur de dégradation des terres, selon un récent rapport spécial du GIEC sur le changement climatique et les terres<sup>1</sup>. Le premier effet de l'érosion est celui d'une perte de volume terreux, soit une perte de ressource en sol sur une entrée quantitative, qui est associée à une altération de leurs fonctions<sup>2</sup> dont les fonctions de production (chute de rendements, mortalités), de régulation de la qualité des eaux et de l'atmosphère. Cette perte continue en terres a été formalisée dans les travaux dirigés par Arjun Heimsath<sup>3,4</sup> qui démontre qu'en condition de versant, il n'existe pas d'équilibre entre la fonction de production en sol par pédogenèse (très lente) et la fonction de perte en sol par érosion. Idée complétée par David Montgomery dans son ouvrage « Dirt:

<sup>1</sup> IPCC, 2019 - <https://www.ipcc.ch/srccl/>, site visité le 1<sup>er</sup> mars 2020.

<sup>2</sup> <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/fr/c/294324/>, site visité le 1<sup>er</sup> mars 2020.

<sup>3</sup> Arjun M. Heimsath, William E. Dietrich, Kunihiko Nishiizumi et Robert C. Finkel, « The soil production function and landscape equilibrium », in Nature, Springer Nature, 1997, n° 388, p. 358–361.

<sup>4</sup> Arjun M. Heimsath, Roman A. DiBiase, Kelin Whipple, « Soil production limits and the transition to bedrock dominated landscapes », in Nature Geoscience, Springer Nature, 2012, n° 5, p. 210–214.

31 The Erosion of Civilizations »<sup>5</sup> dans lequel il conclue que ce déséquilibre est accentué par la  
32 mise en culture des terres et que le sol doit donc être considéré comme une ressource non  
33 renouvelable à l'échelle humaine. Conclusion convergente avec les estimations de David  
34 Pimentel qui estimait en 1995<sup>6</sup> que les surfaces continentales perdent près d'1% de terres  
35 arables par an et qu'à ce rythme, la réserve mondiale en terres cultivables sera épuisée d'ici  
36 450 ans. C'est d'ailleurs pour compenser ce bilan déficitaire, associé à la mise en culture  
37 qu'historiquement des apports de terre (terrages, en Bourgogne) étaient réalisés dans certaines  
38 parcelles de la Côte depuis le Moyen Âge, jusqu'au tout début du XXe s., comme l'attestent les  
39 travaux publiés par Jean-Pierre Garcia et ses collègues <sup>7,8,9</sup>.

40  
41 L'érosion des sols est aussi l'un des processus de dégradation des terres le plus documenté dans  
42 l'histoire de l'Humanité. Dans de nombreux travaux de recherche, qu'il s'agisse de synthèses  
43 scientifiques centrées sur la méditerranée<sup>10,11</sup>, ou bien de compilations d'archives d'origines  
44 géographiques diverses, comme celles compilées par Markus Dotterweich<sup>12</sup>, c'est souvent une  
45 origine multifactorielle qui est mis en avant pour expliquer les phénomènes érosifs, avec  
46 comme facteurs explicatifs prépondérants les interactions entre l'anthropisation des systèmes  
47 et le caractère exceptionnel de phénomènes climatiques, tel les événements pluvieux intenses.  
48 Aujourd'hui, en France métropolitaine, ces phénomènes climatiques intenses représentent  
49 toujours une contrainte forte pour les populations et les producteurs, le plus souvent en contexte  
50 méditerranéen<sup>13</sup>. Ce qui est nouveau, c'est que dans le futur le risque érosif et les pertes en terres

---

<sup>5</sup> David R. Montgomery, *Dirt: The Erosion of Civilizations*, University of California Press, Berkeley, CA, 2007, 295 p.

<sup>6</sup> David Pimentel et al., « Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation. », in *Science*, New Series, 1995, volume 267, n° 5201, p. 1117–1123.

<sup>7</sup> Jean-Pierre Garcia, « Données nouvelles pour l'histoire de la construction des terroirs viticoles de Bourgogne, cinquante ans après l'oeuvre de Roger Dion », in J.-R. Pitte (dir.), « Le bon vin entre terroir, savoir-faire et savoir-boire : actualité de la pensée de Roger Dion », CNRS Editions, 2010, p. 287–303.

<sup>8</sup> Jean-Pierre Garcia, « Les sols viticoles de Bourgogne : élaboration naturelle et construction humaine », in *Revue des oenologues et des techniques vitivinicoles et oenologiques*, 2011, n° 141, p. 62–64.

<sup>9</sup> Jean-Pierre Garcia, Thomas Labbé, Amélie Quiquerez, « La préservation et la pérennisation des sols viticoles en Bourgogne du Moyen Âge à nos jours », in *Actes des Rencontres du Clos Vougeot 2017*, 2018.

<sup>10</sup> John Bintliff, « Time, process and catastrophism in the study of Mediterranean alluvial history: A review », in *World Archaeology*, Taylor & Francis Group, 2002, volume 33, n° 3: Ancient ecodisasters, p. 417–435.

<sup>11</sup> Tjeerd H. van Andel, Eberhard Zangger, Anne Demitrack, « Land Use and Soil Erosion in Prehistoric and Historical Greece », in *Journal of Field Archaeology*, Taylor & Francis Group, 1990, volume 17, n° 4, p. 417–435.

<sup>12</sup> Markus Dotterweich, « The history of human-induced soil erosion: Geomorphic legacies, early descriptions and research, and the development of soil conservation—A global synopsis », in *Geomorphology*, Elsevier, 2013, n° 201, p. 1–34.

<sup>13</sup> Jesus Rodrigo-Comino, « Five decades of soil erosion research in “terroir”. The State-of-the-Art », in *Earth-Science Reviews*, Elsevier, 2018, n° 179, p. 436–447.

51 associés à ces évènements pluvieux intenses risquent d'empirer sous l'effet des changements  
52 climatiques, inquiétant par la même des territoires jusqu'alors moins vulnérables.

53

#### 54 **LES EVENEMENTS PLUVIEUX INTENSES**

55 Un événement de pluie est borné par des limites dans l'espace et le temps, en deçà et au delà  
56 desquelles il pleut ou il ne pleut pas, et qui dépendent du point de vue de l'observateur. Ainsi,  
57 la pluie peut être perçue sur une période de temps comme une succession de gouttes d'eau, une  
58 lame d'eau cumulée (*i.e.* un volume d'eau par unité de surface), ou des isohyètes de pluie (*i.e.*  
59 des cartes d'iso-valeurs de lame d'eau). Les pluviographes permettent de mesurer une durée  
60 correspondant à une hauteur d'eau précipitée donnée et, en faisant le rapport, d'estimer une  
61 intensité de pluie au cours du temps. Ce type de mesure historique, à caractère ponctuel, peut  
62 aujourd'hui être généralisé par les données issues des radars météorologiques, comme ceux du  
63 réseau ARAMIS<sup>14</sup> de Météo France qui présente une résolution spatiale de 1 km et une  
64 résolution temporelle de 5 min.

65

66 Les chroniques (ou séries) pluviométriques sont des relevés permettant de déterminer  
67 l'ensemble des événements pluvieux survenus sur une période donnée en une position donnée  
68 de l'espace géographique (station). L'analyse statistique de ces chroniques permet de définir  
69 pour chaque station la notion de « Fréquence » associée aux événements pluvieux, le plus  
70 communément représentée par les courbes « Intensité–Durée–Fréquence » (IDF). Pour chaque  
71 événement, les intensités maximales de pluie (« Intensité » en  $\text{mm.h}^{-1}$ ) peuvent être déterminées  
72 pour différents intervalles de temps (« Durée » en h). Pour chaque Durée, les  $n$  plus fortes  
73 valeurs d'Intensités sont classées par ordre décroissant (avec  $n$  le nombre d'année de la  
74 chronique<sup>15</sup>). A partir de ces valeurs classées, une Fréquence de non-dépassement est calculée,  
75 soit de manière empirique soit par ajustement d'une loi statistique connue, la plus utilisée étant  
76 la loi de Gumbel<sup>16</sup>. La Période de Retour (en année) d'une Intensité sur une Durée est définie  
77 comme l'inverse de la Fréquence. Ce dernier paramètre, aussi nommé temps de retour ou temps  
78 de récurrence peut être appréhendé sous une acception pratique en termes de récurrence comme

---

<sup>14</sup> Jacques Parent-du-Châtelet, « Aramis, le réseau français de radars pour la surveillance des précipitations », in La Météorologie - Spécial Observation - Volume II, Société météorologique de France, Paris, 2003, n° 40, p. 44–52.

<sup>15</sup> Pour certains auteurs, les  $n$  plus fortes valeurs sont choisies comme les plus fortes valeurs de chacune des  $n$  années de la chronique. Bernard Chocat, Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement, 4ème édition, Editeurs Hermès - Lavoisier, 1997, 1124 p.

<sup>16</sup> Nicholas. H. Bingham, Charles M. Goldie et J. L. Teugels, Regular Variation, Cambridge, Cambridge University Press, coll. « Encyclopedia of Mathematics and its Applications », 1re édition, 1989, n° 27, 516 p.

79 la « moyenne à long terme du temps ou du nombre d'années séparant un événement de grandeur  
80 donnée d'un second événement d'une grandeur égale ou supérieure ». Cette définition produite  
81 dans le Glossaire International d'Hydrologie<sup>17</sup>, nous permet d'apprécier le caractère critique de  
82 ce paramètre dont la détermination est largement dépendante de la station de mesure, de la  
83 profondeur temporelle de la chronique et de la finesse des ajustements statistiques.

84  
85 Quoiqu'il en soit, le temps de retour reste l'un des meilleurs estimateurs du caractère extrême  
86 des événements pluvieux. C'est pourquoi, nombre de scientifiques travaille à la détermination  
87 de ces temps de retours soit sur la base de phénomènes enregistrés, soit sur la base de  
88 phénomènes simulés lorsque les données enregistrées sont insuffisantes. Si nous reprenons les  
89 simulations réalisées dans le cadre du projet de recherche SHYREG<sup>18</sup>, mené sous l'égide de  
90 l'Irstea et de Météo France, nous constatons que pour un temps de retour de 50 ans, la majorité  
91 du territoire français présente des cumuls de pluie événementiel inférieurs à 150 mm sur une  
92 durée de 24 h, les cumuls intermédiaires sont essentiellement localisés sur l'arc méditerranéen,  
93 alors que les cumuls les plus élevés, soit plus de 300 mm de précipitation sur une durée de 24 h,  
94 sont essentiellement observés sur le massif des Cévennes et en Corse. Pour ces dernières  
95 régions, les plus fortes précipitations sont imputables aux épisodes dits « cévenols ».

96  
97 Les épisodes cévenols sont de nature orographique. En début d'Automne, d'importantes masses  
98 d'air chaud et humide, renouvelées, en provenance de la mer Méditerranée s'élèvent depuis le  
99 Golfe du Lion sur les reliefs des Cévennes, entraînées par de forts vents de secteurs Sud-Est  
100 (souvent associés à une situation dépressionnaire sur le Sud-Ouest Atlantique). Le  
101 refroidissement rapide de ces masses d'air chaud et humide induit une condensation et provoque  
102 des précipitations de plusieurs centaines de mm sur des durées comprises entre 24 et 72 h.  
103 D'après Météo France<sup>19</sup>, ces épisodes cévenols, additionnés aux autres phénomènes orageux,  
104 conduisent trois à six fois par an en moyenne, à des précipitations intenses (plus de 200 mm en  
105 24 h) sur les régions méditerranéennes. Notre mémoire collective se souvient encore des  
106 événements cévenols ou méditerranéens récents et mortels que sont les événements qui ont  
107 frappé Nîmes (1988), Vaison-la-Romaine (1992), Sommières (2002) et Draguignan (2010),

---

<sup>17</sup> OMM-N° 385 - Organisation météorologique mondiale, 2012 (ISBN 978-92-63-03385-8)

<sup>18</sup> Patrick Arnaud, Yoann Aubert, Didier Orange, Philippe Cantet, Catherine Fouchier, Nathalie Folton,  
« Estimation de l'aléa hydrométéorologique par une méthode par simulation. La méthode SHYREG :  
Présentation – Performances – Base de données », in La Houille Blanche, EDP Sciences, 2014, n° 2, p. 20–26.

<sup>19</sup> Météo France, Portail « Pluies extrêmes en France métropolitaine et en outre-mer »,  
<http://pluiesextremes.meteo.fr>, site visité le 1<sup>er</sup> mars 2020.

108 pour ne citer qu'eux. Sur une entrée historique, citons les précipitations du 19 au 23 septembre  
109 1890 qui ont provoqué une crue historique de l'Ardèche, avec 971 mm sur 5 jours mesuré à la  
110 station de Montpezat.

111

112 Les événements pluvieux intenses renvoient une image négative, essentiellement à cause de la  
113 mortalité associée ainsi que des dégâts occasionnés sur les biens et les infrastructures.  
114 Cependant il est utile de rappeler que ces mêmes événements sont parfois espérés pour leurs  
115 effets bénéfiques. En effet, en contexte méditerranéen, ces événements représentent une part  
116 importante des précipitations annuelles et constituent de fait un apport d'eau critique pour les  
117 cultures et les systèmes biologiques. De plus, ces événements pluvieux sont associés à des crues  
118 importantes des cours d'eau. Là encore, ces crues sont craintes et parfois espérées. Dans de  
119 nombreux périmètres de production, comme c'est le cas par exemple à l'embouchure de l'Orb  
120 (Hérault), ces crues permettent une submersion naturelle des vignobles, submersions  
121 essentielles pour lutter contre la salinisation du vignoble<sup>20</sup>.

122

### 123 ***LES EVENEMENTS PLUVIEUX INTENSE ET L'EROSION DES SOLS***

124 L'érosion est définie dans le dictionnaire de géologie<sup>21</sup> par Alain Foucault et Jean-François  
125 Raoult comme « l'ensemble des processus qui enlèvent tout ou partie des terrains existants et  
126 modifient ainsi le relief. Ces processus d'érosion sont nombreux : processus chimiques,  
127 physiques ou mécaniques avec désintégration des matériaux puis déplacement des débris par  
128 un fluide ou un autre agent ». Parmi les agents du déplacement, citons la gravité, le vent, l'eau  
129 et l'homme *via* les actions de travail du sol. Même si elle n'est pas développée dans cet article,  
130 gardons à l'esprit que l'érosion liée au travail de sol, communément nommée « érosion  
131 aratoire » ou « érosion mécanique », représente dans certains contextes une forme d'érosion  
132 des plus sévère.

133

134 Dans le cas des événements pluvieux intenses, ce sont les processus d'érosion physique  
135 responsables du détachement, du transport et de la sédimentation des particules de sol sous  
136 l'action de l'eau (érosion hydrique) qui sont impliqués. Cette érosion hydrique combine en

---

<sup>20</sup> Aplena Elen Bless, Salinisation des terres agricoles dans les zones côtières : analyse des sols et des eaux, de l'échelle du paysage à celle de l'agrégat de sol, Thèse de Doctorat de Montpellier SupAgro, 2019.

<sup>21</sup> Alain Foucault, Jean-François Raoult, Dictionnaire de géologie, 6ème édition, Collection UniverSciences, Dunod Editeur, Paris, 2005, 382 p.

137 réalité différentes formes d'érosion, agissant à différentes échelles de temps et d'espace. Dans  
138 tous les cas, l'érosion hydrique survient lorsque l'énergie de l'eau dépasse la résistance du sol.  
139 Aux premiers moments de l'événement de pluie, c'est d'abord le processus nommé « splash »,  
140 liée à l'impact des gouttes de pluie qui provoque une déstructuration des agrégats de sol.  
141 L'énergie cinétique de la pluie est souvent utilisée pour quantifier l'érosivité des pluies<sup>22</sup>. Même  
142 si ce terme reste difficile à estimer, notamment dépendant de la taille, du nombre et de la vitesse  
143 des gouttes de pluie, de nombreux auteurs s'accordent à le relier à l'intensité de la pluie suivant  
144 des relations non linéaires<sup>23</sup>. Le splash est donc d'autant plus important que l'intensité de pluie  
145 est forte et la stabilité structurale des sols est faible. Suite à la désagrégation, les particules de  
146 sol détachées tendent à boucher la porosité de la surface des sols, créant ainsi des conditions  
147 moins favorables à l'infiltration de l'eau et par la même plus favorables à son accumulation en  
148 surface, sous la forme de flaques (processus de flaquage).

149

150 Puis, au regard de la durée et de l'intensité de la pluie, les flaques grandissent et se connectent  
151 entre elles, jusqu'à créer les conditions du détachement et du transport des particules *via* un  
152 ruissellement en condition de fine lame d'eau : c'est là l'érosion diffuse. Enfin, en condition  
153 d'événement intense, à la faveur des conditions topographiques locales, les masses d'eau  
154 accumulées en surface vont pouvoir se concentrer, prendre de la vitesse et par dissipation de  
155 l'énergie cinétique, détacher de nouvelles particules de sol. Les objets qui résultent de cette  
156 forme d'érosion nommée « érosion concentrée » sont des incisions du relief : des griffes et des  
157 rigoles pour les incisions de petite dimension qui peuvent être effacées par un travail de sol, des  
158 ravines pour les incisions de plus grande dimension (souvent plus de 20 cm de profondeur).

159 Dans les deux cas, le moteur de l'érosion hydrique est constitué par l'énergie du ruissellement,  
160 dont la composante potentielle est proportionnelle au gradient d'altitude et dont la composante  
161 cinétique, proportionnelle au carré de la vitesse, est atténuée par les forces de frottement.

162

## 163 **LES TENDANCES POUR L'AVENIR**

164 Aujourd'hui, le risque d'érosion des terres viticoles est élevé. D'une part car elles sont soumises  
165 à de forts aléas climatiques locaux liés à des précipitations orageuses et orographiques souvent  
166 violentes. D'autre part car elles affichent une forte vulnérabilité, liée à la distribution  
167 géographique des vignobles, souvent localisés en condition de relief, mais aussi liée aux

---

<sup>22</sup> Calvin W. Rose, « Soil detachment caused by rainfall. », in *Soil Science*, 1960, n° 89, p. 28-35

<sup>23</sup> Albert I.J.M van Dijk, Leendert A. Bruijnzeel, Colin J. Rosewell, « Rainfall intensity-kinetic energy relationships: a critical literature appraisal », in *Journal of Hydrology*, Elsevier, 2002, n° 261 (1-4), p. 1-23.

168 caractéristiques physico-chimiques des sols viticoles, souvent pauvres en matière organique, de  
169 faible stabilité structurale et exposés aux tassements (rappelons que le tassement peut être défini  
170 comme une réduction du volume poral des sols qui a pour conséquence la limitation de  
171 l'infiltration et de la percolation et donc favorable au ruissellement). En référence, les taux  
172 d'érosion établis selon la méthode dite du « déchaussement des pieds de vigne »<sup>24</sup> sur un  
173 ensemble de parcelles viticoles de l'Hérault et de Bourgogne<sup>25, 26, 27</sup> sont de l'ordre de 10 à  
174 15 t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>, soit une perte moyenne d'environ 1 mm de sol par an. Ces valeurs, sont trois fois  
175 supérieures à l'érosion moyenne des sols cultivés d'Europe (3,6 t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>) et dix fois  
176 supérieures à l'érosion moyenne des sols européens (1,2 t.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>) telles que calculées par  
177 Olivier Cerdan<sup>28</sup> en 2010. Pour ces raisons, sur ces positions, les pertes en terre peuvent être  
178 critiques si des pratiques viticoles ou des dimensionnements parcellaires inappropriées sont  
179 adoptées. Nous pensons là, plus particulièrement, à l'orientation des rangs selon la ligne de plus  
180 grande pente qui est favorable à la concentration des flux, aux sols nus exposés au splash ou  
181 encore au non-respect des temps ressuyage qui génère le tassement des sols à dominantes  
182 texturales limoneuse et argileuse.

183

184 Il est aujourd'hui admis que dans le futur la dégradation de terres augmentera sous l'effet des  
185 changements climatiques et humains. Le défi pour les viticulteurs résidera donc en l'adoption  
186 de stratégies leur permettant de s'adapter à ces différents changements, tout en conciliant  
187 performance du système de production et conservation des ressources<sup>29</sup>. Dans cette optique, si  
188 l'on analyse l'aléa « événements intenses » au regard du risque « érosion », nous devons  
189 admettre qu'il existe aujourd'hui une incertitude forte sur ce que seront les régimes de pluies

---

<sup>24</sup> Jérôme Brenot, Quantification de la dynamique sédimentaire en contexte anthropisé. L'érosion des versants viticoles de Côte d'Or. Thèse de Doctorat de l'Université de Bourgogne, Dijon, 2007.

<sup>25</sup> Jérôme Brenot, Quantification de la dynamique sédimentaire en contexte anthropisé. L'érosion des versants viticoles de Côte d'Or. Thèse de Doctorat de l'Université de Bourgogne, Dijon, 2007.

<sup>26</sup> Jérôme Brenot, Amélie Quiquerez, Christophe Petit, Jean-Pierre Garcia, « Erosion rates and sediment budgets in vineyards at 1-m resolution based on stock unearthing (Burgundy, France) », in *Geomorphology*, Elsevier, 2008, n° 100, p. 345–355.

<sup>27</sup> Jean-Baptiste Paroissien, Philippe Lagacherie, Yves Le Bissonnais, « A regional-scale study of multi-decennial erosion of vineyard fields using vine-stock unearthing-burying measurements », in *Catena*, Elsevier, 2010, n° 82, p. 159–168.

<sup>28</sup> Olivier Cerdan, Gérard Govers, Yves Le Bissonnais, Kristof Van Oost, Jean Poesen, Nicolas Saby, Anne Gobin, Andréa Vacca, John Quinton, Karl Auerswald, Andreas Klik, Frans J.P.M. Kwaad, Damien Raclot, Ion Ionita, Jerzy Rejman, Svetla Rousseva, Tatiana Muxart, Maria José Roxo, Tomas Dostal, 2010. Rates and spatial variations of soil erosion in Europe: A study based on erosion plot data. *Geomorphology* 122, 167–177.

<sup>29</sup> Etienne Fayolle, Facteurs pédoclimatiques et production viti-vinicole : contribution à une approche pédofonctionnelle du terroir à Saint-Emilion, Thèse de Doctorat de Montpellier SupAgro, 2019, 170 p + cartes + annexes.

190 dans les prochaines décades<sup>30, 31</sup>. Néanmoins, les hypothèses les plus robustes sont : i) une  
191 diminution de la quantité totale annuelle des précipitations, ii) une variation de la distribution  
192 des pluies sur le temps de l'année, iii) une diminution des temps de retour.

193

194 Dans le même temps, l'hypothèse avérée d'une augmentation des températures,  
195 s'accompagnera sans nul doute d'une augmentation de l'évaporation et d'une augmentation de  
196 la transpiration. Ces tendances sont d'ailleurs confirmées dans certains vignobles du Sud de la  
197 France, où plus que le déficit structurel des précipitations, c'est l'augmentation des pertes en  
198 eau du sol vers l'atmosphère qui est à l'origine des déficits en eau utilisable pour la vigne<sup>32</sup>. Ces  
199 conditions d'assèchement critique des sols ont pour première conséquence la sénescence des  
200 couverts enherbés en fin d'été et début d'automne, période où les événements pluvieux  
201 intenses sont les plus courants. En substance, l'avenir sera certainement celui d'une  
202 augmentation du nombre et de l'intensité des événements pluvieux intenses, impactant des sols  
203 en moyenne moins humectés et à des moments où les enherbements seront moins denses.

204

## 205 **LES CONSEQUENCES POUR LA VITICULTURE**

206 Ces prochaines décades, le monde viticole devra faire face à de nombreux changements et nous  
207 savons que certainement la question de l'érosion des sols n'apparaîtra pas comme étant la plus  
208 critique ou prioritaire à moyen terme. Cependant, il nous semble nécessaire de rappeler la  
209 dimension identitaire et patrimoniale des sols viticoles. Protéger nos terroirs ne pourra se faire  
210 sans adoption d'une stratégie globale de conservations des sols et d'optimisation de la ressource  
211 en eau. En effet, ces deux ressources sont étroitement liées. Pour preuve, préserver les sols de  
212 l'érosion hydrique permettra le maintien des horizons organo-minéraux, lieu de stockage des  
213 matières organique des sols et de l'activité biologique et en partie garant de leur stabilité  
214 structurale et, en même temps, la maximisation de la recharge en eau des sols, souvent  
215 insuffisante ces dernières années. Ces facteurs conjugués sont cruciaux pour la pérennisation  
216 de conditions favorables pour l'alimentation hydrique et minérale de la vigne et donc facteur

---

<sup>30</sup> Linyin Cheng et Amir AghaKouchak. « Nonstationary Precipitation Intensity-Duration-Frequency Curves for Infrastructure Design in a Changing Climate. », in Scientific Report, Nature, 2014, n° 4 – 7093, p.1-6.

<sup>31</sup> Eric Gaume, Marco Borga, Maria Carmen Llassat, Said Maouche, Michel Lang, Michalis Diakakis, « Mediterranean extreme floods and flash floods », in The Mediterranean Region under Climate Change. A Scientific Update, Coll. Synthèses, IRD Editions, 2016, p.133-144.

<sup>32</sup> Elen A. Bless, François Colin, Armand Crabit, Nicolas Devaux, Olivier Philippon et Stéphane Follain, « Landscape evolution and agricultural land salinization in coastal area: A conceptual model. », in Science of the Total Environment, Elsevier, 2018, n° 625, p. 647–656.

217 de la qualité de la production<sup>33</sup>. Par ailleurs, une entrée trop souvent délaissée concerne la  
218 thermique des sols. Au regard des flux de chaleurs entre le compartiment sol et le compartiment  
219 atmosphérique, conserver un volume terreux, le plus important possible, permettra une  
220 meilleure atténuation dans le sol des fluctuations climatiques atmosphériques<sup>34</sup>. Ici, l'effet  
221 désiré est celui de la conservation de l'inertie thermique des sols qui permet sur le temps de la  
222 saison un lissage dans les sols des périodes les plus froides et des périodes les plus chaudes, ou  
223 sur le temps de la journée une réduction des écarts thermiques journaliers. En d'autres termes,  
224 le maintien de conditions pédologiques stables permettra à l'avenir de garantir le maintien de  
225 conditions (eau, nutriments, chaleur) plus favorables pour la vigne, soit l'augmentation de la  
226 capacité de résistance et de résilience des vitisystèmes.

227  
228 Il est nécessaire de préciser les deux catégories de leviers d'action pouvant être mobilisés dans  
229 la stratégie globale tels que formulés par Follain et al.<sup>35</sup>. La première catégorie regroupe  
230 l'ensemble des pratiques qui réduisent la sensibilité des terres à l'érosion soit en minimisant  
231 l'érosivité des pluies, soit en diminuant l'érodibilité des sols. Dans le premier cas, la pluie ne  
232 pouvant être modifiée, l'objectif sera donc de diminuer tout ou partie de l'effet splash. Pour y  
233 parvenir, il est couramment préconisé de dissiper l'énergie cinétique des pluies par l'installation  
234 d'enherbements sur les durées les plus longues possibles. Quand cela n'est pas réalisable, le  
235 plus souvent par manque d'eau pour l'installation puis le maintien des couverts ou par crainte  
236 de concurrence non désirable avec la vigne, une alternative peut être l'installation d'un mulch  
237 ou la gestion de l'état de surface dont la pierrosité, c'est-à-dire la charge en éléments grossiers  
238 pierreux supérieurs à 2 mm<sup>36</sup>. Dans le second cas, l'ambition est d'augmenter l'agrégation des  
239 sols. L'augmentation de cette agrégation s'accompagnera la plupart du temps d'une  
240 augmentation de la porosité, elle-même favorable au maintien de l'infiltrabilité et d'une  
241 augmentation de la stabilité structurale, c'est-à-dire de la capacité des agrégats à résister à un

---

<sup>33</sup> Etienne Fayolle, Stéphane Follain, Philippe Marchal, Philippe Chéry, François Colin, « Identification of environmental factors controlling wine quality: A case study in Saint-Emilion Grand Cru appellation, France. », in *Science of the Total Environment*, Elsevier, 2019, n° 694, p. 133718.

<sup>34</sup> Daniel Hillel, *Introduction to Environmental Soil Physics*, in Academic Press Incorporation, Abridged edition, 2003, p. 498

<sup>35</sup> Stéphane Follain, Etienne Fayolle, Dorothée Noll, Amélie Quiquerez, « Érosion des sols viticoles et adaptation aux changements. Vulnérabilité, diagnostic et stratégie d'adaptation. » in *La Revue des Œnologues*, 2018, n°166, p. 12–15.

<sup>36</sup> Stéphane Follain, Rossano Ciampalini, Guillaume Coulouma, Armand Crabit, François Garnier, « The effects of redistribution processes on rock fragment variability within a vineyard topsoil in Mediterranean France. », in *Geomorphology*, Elsevier, 2012, n° 175–176, p. 45–53.

242 stress, qu'il soit physique, chimique ou mécanique<sup>37</sup>. Il est formellement démontré qu'à tous  
243 autres constituants identiques par ailleurs, l'augmentation de la stabilité structurale est  
244 étroitement liée à la teneur en matière organique des sols<sup>38,39</sup>. Aussi, toutes pratiques en capacité  
245 à augmenter le stock en matières organiques des sols (engrais verts, fumures, etc.) devraient  
246 être considérées comme positives.

247

248 La seconde catégorie de leviers regroupe l'ensemble des actions complémentaires à envisager  
249 lorsque les actions du premier groupe ne sont pas réalisables ou suffisantes. Dans ce cas,  
250 l'objectif n'est plus de limiter la production de sédiment mais de limiter le transfert des  
251 sédiments dans l'espace, c'est à dire empêcher que les particules ne soient transportées sur une  
252 grande distance des positions topographiques les plus hautes vers les positions topographiques  
253 les plus basses. Sur une entrée scientifique, nous savons que les flux hydro-sédimentaires en  
254 condition de paysage agricole sont fortement modulés par les éléments structurant l'espace, qui  
255 constituent autant de voies de transferts préférentiels, de freins et de barrières. L'ensemble de  
256 ces éléments structurants du paysage gouvernent la connectivité hydro-sédimentaire<sup>40, 41</sup> du  
257 système. Dans le cas de la lutte contre l'érosion hydrique, il est donc question de contrôler et  
258 de moduler cette connectivité hydro-sédimentaire du système. Sur une entrée opérationnelle,  
259 pour y parvenir, il est important de limiter la progression de la lame d'eau ruisselante et donc  
260 d'installer des freins aux écoulements et d'augmenter la capacité d'infiltration des sols. Là, très  
261 souvent, l'installation de bandes enherbées en périphérie des parcelles offre des résultats  
262 satisfaisants car ces structures constituent de véritables pièges à sédiments<sup>42</sup>.

263

264 Lorsque cela n'est pas suffisant, il est important de concevoir un dimensionnement parcellaire  
265 apte à contenir les eaux de ruissellement et à favoriser le dépôt des sédiments sur les versants,

---

<sup>37</sup> Yves Le Bissonnais, « Aggregate stability and assessment of crustability and erodibility: 1. Theory and methodology », in *European Journal of Soil Science*, Wiley, 1996, n° 47, p. 425–437.

<sup>38</sup> Yves Le Bissonnais, Dominique Arrouays, « Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. » in *European Journal of Soil Science*, Wiley, 1997, n° 48, p. 39–48.

<sup>39</sup> Claire Chenu, Yves Le Bissonnais, Dominique Arrouays, « Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. » in *Soil Science Society of America Journal*, SSSA-Wiley, 2000, n° 64, p. 1479–1486.

<sup>40</sup> Louise J. Bracken, Jacky Croke, « The concept of hydrological connectivity and its contribution to understanding runoff-dominated geomorphic systems. », in *Hydrological Processes*, Wiley, 2007, n° 21, p. 1749–1763.

<sup>41</sup> Louise J. Bracken, John Wainwright, Genevieve A. Ali, Doerthe Tetzlaff, Mark William Smith, Sim M. Reaney, André G. Roy, « Concepts of hydrological connectivity: Research approaches, pathways and future agendas. », in *Earth-Science Reviews*, Elsevier, 2013, n° 119, p. 17–34.

<sup>42</sup> Silvio J. Gumière, Yves Le Bissonnais, Damien Raclot, Bruno Cheviron, « Vegetated filter effects on sedimentological connectivity of agricultural catchments in erosion modelling: a review. », in *Earth Surface Processes and Landforms*, Wiley, 2011, n° 36, p. 3–19.

266 évitant ainsi une perte en terre vers les parcelles en aval ou plus encore vers le réseau  
267 hydrographique<sup>43, 44, 45</sup>. Cette seconde catégorie, remet donc sur le devant de la scène,  
268 l'importance de la structuration des paysages, de la répartition spatio-temporelle des usages des  
269 terres et de la complexité des vignobles dans la gestion des flux d'eau<sup>46,47,48,49</sup> et de  
270 sédiments<sup>50,51,52</sup>.

271

272 Au cours du temps, les paysages viticoles se sont transformés et structurés par la construction  
273 de limites parcellaires linéaires telles les banquettes, les talus et les chemins. Parfois, ces limites  
274 ont été complexifiées par l'ajout de terrasses, de meurgers, de murets et de fossés pour  
275 s'accommoder du relief, contraindre les chemins de l'eau et contenir les pertes en terres. Les  
276 évolutions contemporaines des vignobles ont souvent mené à une simplification des mosaïques  
277 paysagères complexes et fonctionnelles. Aujourd'hui, il nous appartient de reconstruire ces  
278 fonctionnalités pour assurer la durabilité et l'adaptabilité du système de production.

279

280

281

---

<sup>43</sup> Rossano Ciampalini, Stéphane Follain, Yves Le Bissonnais, « LandSoil: a model for the analysis of the impact of erosion on agricultural landscape evolution », in *Geomorphology*, Elsevier, 2012, n° 175–176, p. 25–37.

<sup>44</sup> Mélodie David, Stéphane Follain, Rossano Ciampalini, Yves Le Bissonnais, Alain Couturier, Christian Walter, « Simulation of medium-term soil redistributions for different land use and landscape design scenarios within a vineyard landscape in Mediterranean France. » in *Geomorphology*, Elsevier, 2014, n° 214, p. 10–21.

<sup>45</sup> Stéphane Follain, *Géomorphologie des sols cultivés. Des modèles d'évolution à la conservation des sols.*, Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Montpellier, 2015, 117 p.

<sup>46</sup> François Colin, Sylvain Guillaume, Bruno Tisseyre, « Small catchment agricultural management using decision variables defined at catchment scale and fuzzy rule based system: A Mediterranean vineyard case study. », in *Water Resources Management*, Springer, 2011, n° 25, p. 2649–2668.

<sup>47</sup> François Colin, Roger Moussa, Xavier Louchart, « Impact of the spatial arrangement of land management practices on surface runoff for small catchments. », in *Hydrological Processes*, Wiley, 2012, n° 26, p. 255–271.

<sup>48</sup> Florent Levavasseur, Jean-Stéphane Bailly, Philippe Lagacherie, François Colin, Mickael Rabotin, « Simulating the effects of spatial configurations of agricultural ditch drainage networks on surface runoff from agricultural catchments. » in *Hydrological Processes*, Wiley, 2012, n° 26, p. 3393–3404.

<sup>49</sup> François Colin, *Hydrologie et qualité des eaux dans les paysages agricoles : contributions d'approches spatialisées à la caractérisation, la compréhension et la gestion des ressources en eau de surface.*, Mémoire d'Habilitation à Diriger de Recherches, Université de Montpellier, 2014, 78 p.

<sup>50</sup> Stéphane Follain, *Géomorphologie des sols cultivés. Des modèles d'évolution à la conservation des sols.*, Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Montpellier, 2015, 117 p.

<sup>51</sup> Amélie Quiquerez, Stéphane Follain, Jean-Pierre Garcia, « Evolution et transformation des sols viticoles en lien avec l'évolution et la dynamique des paysages et parcellaires viticoles. », in *La Revue des Œnologues*, 2018, n° 169, p. 29–31.

<sup>52</sup> Anna Smetanová, Yves Le Bissonnais, Damien Raclot, Joao Pedro Nunes, Feliciano Licciardello, F., Caroline Le Bouteiller, Jérôme Latron, Emilio Rodriguez Caballero, Nicole Mathys, Sebastien Klotz, Insaf Mekki, Francesc Gallart, Albert Solé Benet, Nuria Pérez Gallego, Patrick Andrieux, Roger Moussa, Olivier Planchon, Marisa Santo, Omran Alshihabi, Mohamed Chikhaoui et Stéphane Follain, « Temporal variability and time compression of sediment yield in small Mediterranean catchments: impacts for land and water management. », in *Soil Use & Management*, Wiley, 2018, n° 34, p. 388–403.

## 282 **CONCLUSION**

283 L'érosion des sols viticoles fait peser une grande menace sur le maintien des terroirs. Cette  
284 menace existe depuis l'installation des parcelles en vigne mais s'accroît aujourd'hui sous  
285 l'effet des changements climatiques et humains. Une des formes les plus problématique et  
286 récurrente de l'érosion est l'érosion hydrique. Cette forme survient lorsque la dissipation de  
287 l'énergie de l'eau issue des précipitations dépasse la capacité de résistance des sols. Elle n'est  
288 pas toujours bien perçue soit parce qu'elle prend place sous forme diffuse soit parce qu'un  
289 événement climatique intense à son origine n'a pas eu lieu de mémoire de vigneron sur une ou  
290 plusieurs de ses parcelles. Face à une probable diminution des temps de retour des événements  
291 intenses, l'enjeu est pourtant majeur pour le maintien des conditions de la production. Dès lors,  
292 une démarche durable impose de lutter contre le risque d'érosion. Des solutions existent et  
293 consistent à atténuer l'aléa climatique en luttant contre l'effet « splash » et à minimiser la  
294 vulnérabilité des parcelles et des paysages viticoles. Ces actions de lutte anti-érosive entrent en  
295 synergie avec l'augmentation dans les vignobles des bonnes conditions de l'alimentation  
296 hydrique et minérale de la vigne et avec l'atténuation en aval de problématiques telles que la  
297 genèse des inondations, les éventuels transferts de contaminants ou la turbidité et l'envasement  
298 des milieux aquatiques.

299 Le défi face au risque érosif consiste donc à adapter les terroirs, par des pratiques parcellaires  
300 et une structuration spatiale, pour les rendre plus résilients aux changements et encore plus  
301 vertueux dans les territoires.