

**Zeitschrift:** Mémoires de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles  
**Herausgeber:** Société Vaudoise des Sciences Naturelles  
**Band:** 27 (2017)

**Artikel:** Influence des formations superficielles sur l'évolution des sols du Jura suisse : origine, composition et transformation du matériel minéral parental  
**Autor:** Martignier, Lorraine  
**Kapitel:** 9: Conclusion et perspectives  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-632528>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 01.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## CHAPITRE 9. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La présente recherche a permis de mieux caractériser l'origine de la fraction minérale des sols du Jura, donnant ainsi une suite au travail de POCHON (1978). L'identification des formations superficielles distribuées sur les deux toposéquences a été réalisée en regroupant un faisceau d'informations issues des observations de terrain et d'analyses variées. L'étude de la composition minéralogique, granulométrique et géochimique des sols et des roches a révélé les discontinuités lithologiques existant entre les différents dépôts minéraux et permis de caractériser chaque couche sédimentaire. Les mélanges ayant eu lieu au sein de certains dépôts ont pu être identifiés en les comparant avec des matériaux de référence, définis comme étant des pôles sédimentaires constituant les entrées du système étudié. Le déchiffrement de la complexité et de la diversité des formations superficielles a également nécessité l'utilisation d'observations microscopiques variées telles que la micromorphologie ciblée illustrant la texture homogène des loess et des *cover-beds* et l'exoscopie des grains de quartz permettant la distinction de sources multiples (autochtone, éolienne, glaciaire) au sein de la fraction sableuse des sols. Les caractéristiques des dépôts de loess jurassiens purent être précisées, ainsi que leur contribution à la fraction minérale des sols à des degrés variés (loess remobilisés, mélangés aux *cover-beds* ou contaminations paraautochtones).

L'identification des différents types de formations superficielles présents le long des toposéquences et de leurs dynamiques de mise place a permis de décomposer le système en « briques » élémentaires, puis de les assembler à nouveau en séquences afin de comprendre la distribution des sédiments dans le paysage en lien avec l'histoire géomorphologique de la région. La stratification des dépôts le long des versants a pu être expliquée en reconstituant la chronologie relative de l'histoire du paysage local depuis le LGM, faisant intervenir les dynamiques glaciaires, périglaciaires et éoliennes. De surcroît, la comparaison avec différentes sources bibliographiques a permis de dater certains sédiments de périodes précises du Pléniglaciaire ou du Tardiglaciaire et de contraindre ainsi la reconstitution chronologique. Il apparut alors que les derniers dépôts minéraux de surface (*cover-beds*) furent mis en place lors de la phase froide du Dryas récent, érodant ou recouvrant les sols développés durant les périodes plus clémentes du Bølling et de l'Allerød. La pédogenèse actuelle est en conséquence entièrement holocène et se développe dans une couverture sédimentaire complexe et variée. Les sols étudiés sont relativement jeunes et encore fortement influencés par la nature du matériel minéral parental, constitué des dépôts hérités de la dernière phase glaciaire. La fraction minérale est encore incomplètement transformée par l'altération et les origines distinctes des composants minéraux peuvent être discernées. Dans ce contexte, la présente recherche a permis de souligner la diversité existant au sein de la couverture des formations superficielles jurassiennes et l'importance de la caractérisation de ces dépôts minéraux variés en tant que matériel parental complexe des sols.

Le substrat lithologique calcaire joue un rôle important dans les sols étudiés. Cependant, le calcaire est le plus souvent présent sous forme de fragments redistribués au sein des formations superficielles, alors que la roche en place n'intervient que peu sur le développement des sols, mis à part au travers des conditions de drainage qu'elle conditionne. Les dynamiques glaciaires et périglaciaires à l'œuvre lors de la dernière phase froide ont favorisé la fracturation et le broyage des roches calcaires, puis la redistribution et le brassage du squelette calcaire ainsi formé au travers de la mise en place des sédiments de surface. Dans la majorité des cas, ces matériaux autochtones ont été déplacés et mélangés à des composants allochtones tels que les loess ou les moraines alpines. Il apparaît alors que la totalité des sols étudiés contiennent des particules exogènes en proportions variables, qu'elles soient issues de la couverture hétérogène des for-



mations superficielles ou amenées par des poussières ou de la pollution actuelles (contaminations parautochtones). Dans ce contexte, est-il imaginable que des sols entièrement autochtones existent dans le Jura? Si l'autochtonie des sédiments au sens strict du terme est difficilement envisageable pour les sols étudiés, il semble cependant que certaines contaminations (anciennes ou actuelles) soient trop faibles pour modifier significativement la pédogenèse vers une voie d'évolution différente de celle influencée par les matériaux calcaires. En conséquence, au regard du développement pédogénétique, les sols pourraient être considérés comme suivant une évolution sous l'influence des matériaux autochtones redistribués. Dès lors, serait-il pertinent de parler de « pédogenèse autochtone », à défaut d'observer des sédiments autochtones?

Une fois le matériel parental des sols caractérisé, l'étendue de son influence sur les processus de pédogenèse fut évaluée au travers de l'étude de trois phases minérales: la calcite, les phyllosilicates et les oxy-hydroxydes de fer. La calcite primaire contenue dans les substrats lithologiques montre une dissolution dans les sols, visible par l'évolution de la composition minéralogique totale dans les profils et par les observations micromorphologiques. Une partie des produits d'altération libérés participe à la formation de carbonates secondaires aux morphologies distinctes (calcite en aiguilles ou cristaux rhomboédriques), en fonction des conditions édaphiques. Cependant, la composition isotopique du carbonate composant ces phases secondaires a montré la contribution de gaz carbonique dissous issu de l'activité biologique du sol, alors qu'une partie des ions provenant de la dissolution de la calcite primaire est évacuée dans les eaux de percolation, créant ainsi un bilan géochimique déséquilibré. Les phyllosilicates primaires hérités des substrats (roches silicatées et résidus insolubles des roches carbonatées) ont pu être caractérisés par la minéralogie de la fraction < 2 µm et les observations au TEM, complétées par des analyses de micro-diffraction électronique et de leur composition chimique (sonde EDS). Dans les horizons superficiels des sols, les phyllosilicates subissent une altération physique et chimique intense (fragmentation, exfoliation, ouverture irrégulière des feuilletts et substitutions des cations interfoliaires). Les produits de ces transformations sont mal cristallisés et convergent vers le stade final d'évolution que représentent les interstratifiés illite-vermiculite aux espaces interfoliaires bloqués par des polymères hydroxy-Al et -Fe (IV-Al-Fe). À l'échelle des profils de sol, le lessivage des fractions argileuses provoque l'accumulation des particules fines dans les horizons profonds et la formation de revêtements de phyllosilicates orientés sur les parois des pores. Les oxy-hydroxydes de fer, quant à eux, présentent des origines diverses dans la fraction minérale des sols (éoliens, issus des substrats calcaires ou de paléosols remaniés), identifiables en micromorphologie. Les redistributions du fer en fonction des conditions d'oxydation entraînent la formation de nodules et de différents types de revêtements autour des racines ou des pores du sol, ainsi que de particules cryptocristallines adsorbées aux phyllosilicates. Les résultats et observations fournis par la présente étude ont permis de mettre en lumière le rôle primordial des phases minérales secondaires et transformées dans les sols jurassiens et l'existence de cycles internes à la couverture édaphique, encore très peu caractérisés dans cette région.

Les types de sols étudiés et les processus pédologiques associés sont représentatifs d'une partie de l'environnement édaphique du Haut-Jura, sans pour autant prétendre être applicables à l'ensemble du massif jurassien. En effet, et bien que le Jura semble une région relativement homogène du point de vue des substrats lithologiques, la variabilité de la couverture sédimentaire ainsi que des autres facteurs stationnaires influençant la pédogenèse permettent le développement d'une grande diversité de sols. Trois dynamiques principales de pédogenèse (Ca, Fe et Al) ont été proposées dans le présent travail, influencées par trois éléments chimiques majeurs et variant en intensité en fonction de l'épaisseur des dépôts non carbonatés recouvrant la roche calcaire. Les processus dominés par Ca sont à l'œuvre dans les sols comprenant une importante



fraction carbonatée, sous forme de fragments redistribués ou issue des substrats lithologiques. Si les recharges en Ca par la dissolution du calcaire ou par la bioturbation ne parviennent pas à compenser les pertes par décalcification, Fe devient un acteur privilégié de la pédogenèse. Ces conditions sont atteintes dans les sols présentant des horizons superficiels décarbonatés d'une épaisseur totale > 35 cm. D'origine majoritairement allochtone dans les sols étudiés, le fer a des dynamiques très actives s'exprimant dans les nombreux sols brunifiés rencontrés sur les toposéquences, ainsi qu'au sein des horizons rédoxiques observés. Finalement, dans des dépôts épais présentant des conditions très acides, Ca et Fe sont remplacés par Al dans les processus de pédogenèse, ce dernier étant libéré lors de l'acidolyse des phyllosilicates. L'altération est intense et les transferts de matière (particules, éléments) sont efficaces, mais les conditions climatiques et stationnelles ne permettent pas l'installation de processus de podzolisation sur les sites étudiés.

Lors de la présente recherche, la complexité du matériel minéral parental des sols fut étudiée à la lumière d'une approche mixte, mêlant des techniques empruntées à la sédimentologie, à la géomorphologie et à la pédologie, et combinant des méthodes et des observations à différentes échelles spatiales allant du travail de terrain à la caractérisation des phyllosilicates au microscope électronique à transmission. L'intérêt de recherches interdisciplinaires comme celle-ci réside dans la possibilité de dépasser les limites des champs d'études propres à chaque discipline et dans la combinaison de connaissances variées et complémentaires. Cette approche bio-géochimique intégrée est nécessaire quand l'objet d'étude est aussi complexe que le sol et son matériel minéral parental et s'inscrit au cœur de la problématique de la *critical zone*. Cette étude, menée dans un but initial descriptif et qui visait à mieux comprendre la couverture des formations superficielles du Jura et leur influence sur la pédogenèse, s'est vite trouvée confrontée à la richesse et la diversité du système sédimentaire et édaphique jurassien, beaucoup plus complexe qu'imaginé au départ. Suite à ce travail, de nombreuses questions se posent encore et des pistes multiples et variées peuvent être lancées sur les sols du Jura.

## Perspectives

La caractérisation de la fraction minérale des sols le long de deux toposéquences du Jura vaudois a permis de mieux comprendre l'histoire géomorphologique des versants et d'identifier les différentes composantes minérales et leurs mélanges. L'étude des formations superficielles apparaît comme un outil indissociable de celle de la couverture pédologique et mériterait d'être étendue à d'autres régions, par exemple en réalisant la cartographie de zones plus grandes ou en continuant l'étude de cas spécifiques le long de transects. Les dépôts de loess, dont la problématique a déjà été fort bien traitée par POCHON (1978) puis complétée par d'autres auteurs, ne sont cependant toujours pas bien connus (ni reconnus) à l'échelle du massif jurassien, particulièrement en ce qui concerne la zone d'étendue des dépôts, leur intégration dans les sols et leurs mélanges (quantitatifs?) avec d'autres phases minérales. L'influence de la nature complexe des matériaux minéraux parentaux sur le fonctionnement du sol pourrait être élargie à d'autres compartiments dans le but d'étudier les influences croisées entre les différents facteurs de pédogenèse. La caractérisation de la matière organique des sols apparaît comme primordiale et complémentaire dans cette optique, en prenant en compte l'activité biologique à différents niveaux (végétation, faune du sol, microflore, etc.). L'intégration des phases minérales et organiques en lien avec l'activité biologique permettrait l'étude des cycles des éléments et des énergies dans les sols étudiés et ainsi une meilleure caractérisation du fonctionnement intrinsèque de l'environnement édaphique jurassien. La quantification des flux et leur cinétique représentent également un champ d'étude complexe et prometteur dans la compréhension des cycles internes aux écosystèmes, incluant les phases minérales primaires, secondaires et altérées.

À une autre échelle, les transformations des phases minérales fines dans les sols ont été abordées lors du présent travail, mais mériteraient d'être caractérisées plus précisément. Les phyllosilicates notamment pourraient faire l'objet de recherches plus poussées, par exemple en exploitant de manière plus détaillée les résultats des analyses minéralogiques par rayons X ou en multipliant les séances de microscopie électronique. De même, les dynamiques du fer ont été évoquées, mais une caractérisation fine des processus à l'œuvre serait nécessaire pour comprendre la spéciation et la mise en place des microsites où les oxydes de fer sont dissous ou précipités. L'extraction séquentielle des différentes formes du fer paraît indispensable à cette problématique, ainsi que la cartographie élémentaire de nodules de fer en lames minces par analyses à la microsonde électronique. En ce qui concerne ces mêmes phases, comme pour le carbonate de calcium, des expérimentations en laboratoire (par exemple par percolation, altération accélérée – par méthode Soxhlet par exemple, etc.) pourraient être envisagées afin de caractériser les conditions cinétiques d'altération ou de précipitation, ainsi que l'évolution des solutions d'altération.