

1. Nous avons vu, dans la première partie, les objectifs et le contexte de la formation théorique, ainsi que la préparation de la répartition spatiale des sondages de sol à réaliser sur le terrain, dans la seconde partie, comment réaliser et décrire des sondages de sol sur le terrain, dans la troisième partie, comment réaliser le diagnostic de sensibilité des sols à l'export des menus bois et dans la 4ème partie comment réaliser un diagnostic de sensibilité des sols au tassement. La 5ème partie, que nous allons aborder maintenant, explique pourquoi et comment réaliser un diagnostic de sensibilité des sols à l'érosion.
2. Bienvenue dans la cinquième partie de cette formation théorique. Elle comprend 3 sous-parties. La première sous-partie présentera l'érosion hydrique des sols et les pratiques influençant ce processus. Les deuxième et troisième parties détailleront, respectivement, comment réaliser un diagnostic de sensibilité à l'érosion et l'interpréter.
3. Cette première sous-partie décrit le processus d'érosion hydrique des sols et montre la rapidité avec laquelle un sol, qui a mis plusieurs siècles à se former, peut être partiellement perdu, de plusieurs cm en quelques instants, si on ne respecte pas certains principes.
4. Dans cette troisième partie, nous parlerons exclusivement d'érosion hydrique qui correspond à l'ensemble des processus de détachement, de transport et de dépôt du sol sous l'action de l'eau. L'érosion hydrique est la forme de dégradation des sols la plus puissante avec des impacts irréversibles à l'amont liés à une perte de sol, généralement la couche la plus fertile, indispensable à l'enracinement et à l'alimentation en eau et éléments nutritifs des végétaux. Mais aussi des impacts à l'aval avec des inondations boueuses, pouvant détruire des infrastructures, et des pertes de la qualité des eaux. Nous n'aborderons pas l'érosion éolienne, même si elle explique la présence de dépôts limoneux datant du quaternaire dans certaines zones, car ce processus touche actuellement surtout les zones péri-désertiques, comme les grandes plaines des États-Unis ou la frange du Sahel. Dans le cas de l'érosion éolienne, c'est sous l'effet du vent que le sol se délite et est transporté de l'amont vers l'aval. Ce type d'érosion entraîne essentiellement les limons et les sables fins alors que l'érosion hydrique peut toucher toutes les tailles de particules minérales.
5. L'érosion hydrique est causée par le ruissellement, c'est-à-dire à l'écoulement à la surface du sol des eaux de pluie ou de celles de la fonte des neiges. Pour qu'il y ait du ruissellement, il faut que l'eau ne s'infilte pas entièrement dans le sol. Ainsi, l'infiltration va contrôler l'intensité du ruissellement. Le ruissellement peut avoir deux origines:

- une réduction de la capacité d'infiltration créant un écoulement plus ou moins superficiel en fonction de la profondeur d'apparition de la couche imperméable, par exemple suite au tassement d'un sol, comme vu dans la partie précédente
- ou un écoulement en surface des précipitations tombant sur des sols déjà saturés en eau.

Le climat, la topographie, le type de sol, le couvert végétal et l'action humaine sont les principaux facteurs influençant le ruissellement et par conséquent l'érosion hydrique.

6. Pour qu'il y ait de l'érosion, il faut un agent érosif tels que la pluie ou le ruissellement et que le sol soit érodable. L'intensité de l'érosion est le produit de l'érosivité de l'agent érosif et de l'érodibilité du sol. Pour qu'il y ait érosion, il faut un agent dont l'érosivité n'est pas nulle et un sol dont l'érodibilité n'est pas nulle. Enfin, toutes choses égales par ailleurs, l'érosion augmente si l'érosivité augmente ou si l'érodibilité augmente. La pluie est l'agent essentiel de l'érosion hydrique, son effet varie en fonction des caractéristiques de chaque événement pluvieux et de la pluviométrie globale. On parle d'érosivité de la pluie. La **vitesse de l'écoulement à la surface du sol** va contrôler l'**érosivité** du ruissellement. L'érosivité du ruissellement est liée à la forme du ruissellement :

- s'il s'agit d'une nappe d'eau de faible épaisseur, sa vitesse sera faible. Son érosivité sera donc faible.

- Si le ruissellement se concentre dans des chenaux, sous forme de rigoles par exemple, sa vitesse sera importante. Le ruissellement concentré aura donc une forte érosivité.

L'érosivité du ruissellement concentré est liée à la pente : plus la pente est élevée, plus l'érosivité du ruissellement sera grande. L'**érodibilité du sol** dépend de la résistance mécanique des mottes de terre face à l'arrachement. Les pratiques humaines peuvent augmenter ou diminuer l'érodibilité d'un sol, en affectant notamment sa structure et sa stabilité, ainsi que le degré de couvert végétal (qu'il soit mort ou vivant).

7. Nous allons maintenant détailler les effets des pratiques sylvicoles et des événements naturels sur l'érosion hydrique. La pratique la plus connue pour limiter l'érosion hydrique est de reboiser les terrains nus. En effet, le couvert forestier, les couches de litière et les débris ligneux restant au sol influencent fortement l'intensité du ruissellement de surface, et donc son érosivité, et la résistance mécanique du sol à l'arrachement, et donc son érodibilité. D'autre part, ils interceptent une partie de l'eau de pluie et diminuent la force érosive des gouttes de pluie atteignant la surface du sol. Enfin, les parties souterraines de la végétation en place améliorent également la cohésion des sols et renforcent leurs propriétés mécaniques. Des pertes conséquentes de sol par érosion hydrique liées à des déboisements plus ou moins anciens sont bien documentées. Par exemple, sur le pourtour méditerranéen, des forêts sur sols profonds étaient bien présentes là où nous trouvons actuellement la

roche presque à nue sur de grandes superficies. C'est l'émergence de l'agriculture et de l'élevage et leur intensification de quelques siècles avant notre Ere jusqu'à l'époque romaine qui ont abouti à l'érosion de ces sols. Nous retrouvons actuellement les traces de ces sols perdus, dans les sédiments qui ont été datés dans les ports antiques. Dès 1860, en France, la loi de reboisement des montagnes lance de vastes campagnes de reboisement pour limiter les phases d'érosion massive qui conduisaient à l'ensablement des estuaires et des cours d'eau et à des inondations boueuses. Le succès de ces reboisements contre l'érosion est encore visible aujourd'hui.

8. Au contraire, mettre le sol à nu lors d'une coupe rase ou d'une coupe sanitaire augmente considérablement le risque d'érosion. Une coupe rase augmente à la fois l'érosivité et l'érodibilité. Une expertise scientifique récente, menée par Darboux et al en 2022, montre une augmentation ou une stagnation de l'érosion suite à une coupe rase par rapport à un peuplement non récolté. Dans le cas où la coupe rase n'a pas augmenté le taux d'érosion, les auteurs expliquent ce résultat par la présence d'une zone non exploitée en bordure de cours d'eau ou à la forte infiltrabilité du sol. Dans les cas montrant une augmentation de l'érosion, les causes invoquées sont une augmentation du ruissellement, par baisse de l'infiltrabilité du sol ou par la diminution de l'interception des pluies par la végétation ou par des perturbations du sol. Les perturbations du sol sont liées à l'exploitation et à la préparation pour la mise en place d'un nouveau peuplement. L'étude d'Edeso et al., de 1999 montre que le taux d'érosion hydrique des sols augmente considérablement avec l'intensité des perturbations. D'un taux d'érosion inférieur à 1 tonne par hectare et par an sous une forêt mature avant sa coupe, on passe à 7 tonnes par hectare et par an après enlèvement du couvert. Le taux d'érosion a atteint 70 t par hectare et par an après l'enlèvement du couvert associé à un export des menus bois et à l'usage du travail du sol. 70 t/ha et par an, cela représente 7 millimètre de sol de perdu en une année. Or, la production naturelle de sol est de moins de 1 tonne par hectare et par an, soit une épaisseur allant du centième au dixième de millimètre de sol par an. En fait, l'érosion de 7t/ha/an, soit 7 dixième de millimètre par an, est déjà bien au-delà du taux de production naturelle du sol, et n'est donc pas durable.
9. Nous allons expliquer l'impact du travail du sol sur sa structure et sa teneur en carbone pour expliquer pourquoi travailler le sol peut augmenter considérablement l'érosion hydrique. Pour observer l'impact du travail du sol sur sa structure, nous allons utiliser la méthode du profil cultural. Cette méthode consiste à creuser une fosse perpendiculaire au sens du travail, on délimite des zones de structure homogène, photo du haut avec les petits bâtonnets blancs qui délimitent les zones. Pour chaque zone on qualifie l'état interne des agrégats c'est-à-dire la présence ou l'absence d'espaces vides à l'intérieur des agrégats et le mode d'assemblage des particules de sol. Les zones favorables sont en vert foncé, les zones défavorables sont en rouge et noir, en jaune et orange les états intermédiaires.
10. Travailler le sol ne permet pas toujours un ameublissement et une aération du sol. Pour avoir un effet positif sur la structure du sol, il est nécessaire de travailler dans de bonnes conditions avec un sol ni trop humide ni trop sec. Ici nous avons quelques exemples d'effets négatifs du travail du sol sur sa structure. A Chinon, en haut à

gauche, deux zones de structure très défavorable en noir ont été créées, sous le passage des roues probablement du culti3B qui est un outil tracté, alors que le sol avait une structure initialement assez favorable. En jaune sur le côté droit du profil cultural. Les outils razherb et culti3B ont quand même réussi à améliorer la structure en surface et le long de la dent de sous-solage, en vert sur le graphique. A Fretigney, en bas à gauche, une zone défavorable en rouge a été créée dans l'axe du sous soleur multi-fonction, l'utilisation de l'outil en condition de sol humide a lissé, plissé le sol et créé des poches saturées en eau, visibles sur la photo en bas à droite. Il a toutefois réussi à créer une structure favorable en surface mais celle-ci alterne avec des zones vides qui ne sont pas des environnements favorables pour le développement des racines. Les zones de structure défavorable en rouge et noir sur les graphiques possèdent des vitesses d'infiltration de l'eau dans le sol très faibles. Elles vont donc favoriser le ruissellement, en plus de défavoriser l'enracinement du peuplement. Un travail de sol réalisé dans les mauvaises conditions n'ameublissent et n'aèrent donc pas le sol. Garder également en tête qu'un travail du sol réussi, c'est-à-dire ayant été réalisé dans les bonnes conditions d'humidité, ne va toutefois améliorer la structure que sur un petit volume de sol. Si cela peut suffire à améliorer les taux de reprise de la plantation ou de la régénération, cela ne résoudra pas entièrement des problèmes de tassement et d'érosion.

11. La stabilité de la structure du sol dépend en grande partie de sa teneur en matière organique qui est fortement affectée par le travail du sol. L'analyse globale des publications scientifiques internationales réalisées par Achat et al. en 2015 démontre une perte de l'ordre de 15% du carbone organique stocké dans l'horizon organo-minéral 0-10 cm, en préparant de manière mécanisée le sol avant la plantation, histogramme de droite sur la graphique. La coupe rase sans préparation du sol ne cause qu'un déstockage de carbone au niveau des couches de litière mais pas dans le sol minéral. Cette perte de matière organique réduit la stabilité de la structure et diminue ainsi la résistance du sol à l'arrachement. De plus, le stockage de carbone dans les sols est très important pour l'atténuation des effets des changements climatiques, le stock de carbone dans les sols étant plus important que celui de la biomasse aérienne y compris en forêt tempérée. Une initiative, nommée 4pourmille lancée lors de la COP 21 à Paris, préconise, en parallèle de la nécessité de réduire nos émissions de gaz à effet de serre, d'augmenter les stocks de carbone dans les sols à l'échelle de la planète pour compenser une partie de nos émissions de gaz à effet de serre. La majorité des sols forestiers français ne pouvant pas stocker beaucoup plus de carbone, il est fondamental de limiter le déstockage de carbone afin de ne pas augmenter nos émissions de gaz à effet de serre. Limiter le déstockage de carbone des sols forestiers pour lutter contre l'érosion et une aggravation des changements climatiques est possible en limitant le travail du sol aux cas de blocage par tassement et/ou végétation concurrente, en travaillant de manière localisée et dans les bonnes conditions. L'idéal étant de rendre le travail du sol inutile en ayant de bonnes pratiques sylvicoles et d'exploitation.
12. Concernant les pratiques sylvicoles affectant l'érosion hydrique des sols, nous avons déjà expliqué dans la partie 4 que le tassement des sols augmente le risque d'érosion dans les zones de pente. Les cloisonnements et les pistes forestières augmentent fortement le taux d'érosion pour trois raisons principales :

1- la disparition du couvert végétal augmente l'érosivité de la pluie et diminue la cohésion des particules de sol

2- le tassement diminue légèrement l'érodibilité du sol en densifiant le sol mais augmente fortement le ruissellement et les vitesses d'écoulement en diminuant l'infiltration de l'eau dans le sol

3- la fonction de collecteur des eaux de ruissellement qui augmente le coefficient de ruissellement et les vitesses d'écoulement, et donc l'érosivité du ruissellement. Cela s'accroît au fur et à mesure que la piste ou le cloisonnement se creuse par érosion.

En prenant en compte ces éléments lors de l'implantation des pistes et des cloisonnements sur des parcelles en pente, il est possible de limiter les impacts sur l'aval et les cours d'eau. Il est ainsi judicieux, dès que cela est possible, de tracer des cheminements perpendiculairement à la pente principale ou de laisser des bandes boisées à l'aval des cloisonnements et des pistes pour créer des zones de réinfiltration et de sédimentation.

13. Pour terminer notre aperçu des effets des pratiques sylvicoles et des événements naturels sur l'érosion hydrique, traitons succinctement des incendies. Les incendies de forêt augmentent rapidement et fortement le taux d'érosion via :

1- la disparition du couvert végétal et de la litière qui augmente l'érosivité de la pluie

2- l'augmentation momentanée de la température dans le sol, qui produit des substances hydrophobes et supprime la vie du sol. Cela va, en plus de la disparition du couvert et de la litière, augmenter fortement le ruissellement et les vitesses d'écoulement en diminuant l'infiltration de l'eau dans le sol