



Résumé non-technique

Etude de l'érosion des sols
et du ruissellement sur le bassin
versant de la Moselle aval



Le contexte

Le Syndicat Mixte Moselle Aval est engagé dans une démarche d'élaboration d'un **Programme d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI)**.

A ce titre, le Syndicat réalise un certain nombre d'études préalables qui ont pour objectif d'identifier les études et actions de prévention des risques d'inondation :

- En supprimant ou en réduisant la probabilité d'occurrence du phénomène dangereux en agissant sur l'aléa à la source ;
- En agissant sur les enjeux directement (réduction de la vulnérabilité).

Les épisodes de fortes précipitations qui ont eu lieu ces dernières années (2016, 2018, 2021 et 2022) sur le territoire du bassin versant de la Moselle aval ont été marqués par l'apparition de coulées boueuses, expression du phénomène d'érosion et de ruissellement qui affecte aussi bien les zones agricoles (ravinement, coulées de boue submergeant les cultures, etc.) que les infrastructures et installations économiques (chaussées submergées par la boue, bâti particulier et économique, etc.), mais aussi les cours d'eau (envasement, disparition des fonctionnalités des zones de radiers : frayères, autoépuration, oxygénation, etc.).

Le ruissellement peut être directement responsable d'une inondation sur un territoire éloigné d'un cours d'eau mais aussi être contributeur au débordement de cours d'eau

permanents ou intermittents (talwegs), les deux types d'inondation pouvant se cumuler lors d'un même évènement.

L'étude déployée dans le cadre du PEP vise l'amélioration de la connaissance de ces phénomènes, et l'élaboration d'une cartographie des secteurs les plus sensibles afin d'identifier d'ici à 2024, l'efficacité d'un panel d'actions visant à diminuer les conséquences négatives de ces événements.

Réalisée par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) du Grand Est, dans le cadre d'une convention de recherche et développement, l'étude a officiellement démarré en janvier 2021 et s'est terminée en novembre 2022 pour la première phase.



Elle bénéficie du cofinancement de l'Etat (Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire) au titre du Fonds de Prévention des Risques Naturels Majeurs (FPRNM), et de la Région Grand Est.



Le ruissellement : un phénomène complexe...

Le ruissellement se produit lorsque la capacité d'infiltration du sol est inférieure à la quantité d'eau précipitée reçue au sol.

La formation du ruissellement dépend de deux phénomènes concomitants :

- √ **L'état de surface du sol** soit sa sensibilité à l'érosion et au ruissellement. Il dépend lui-même de trois facteurs :



La couverture du sol et les pratiques agricoles



La pente



Le type de sol (texture, structure) qui conditionne entre autres sa sensibilité à former une croûte à la surface du sol (battance)

- √ **L'intensité des précipitations**



L'énergie érosive des pluies

L'érosion et le ruissellement peuvent prendre différentes formes qui se combinent dans le temps et dans l'espace :

L'érosion de versant diffuse ou lame d'eau



Exemple d'érosion diffuse ou de lame d'eau sur le bassin versant de la Seille (Syndicat Moselle aval©)

La lame d'eau qui ruisselle est de faible épaisseur avec une vitesse d'écoulement faible. Cette forme d'érosion apparaît généralement dans des conditions de pluie continue sur sol nu ou peu couvert.

L'érosion linéaire ou concentrée



Exemple d'érosion linéaire ou concentrée en Indre-et-Loire (BRGM©)

Lors de pluies intenses (comme les pluies d'orage), les écoulements superficiels se concentrent entraînant le creusement de ravines et autres figures d'érosion des sols (rigoles).

... aux causes multiples

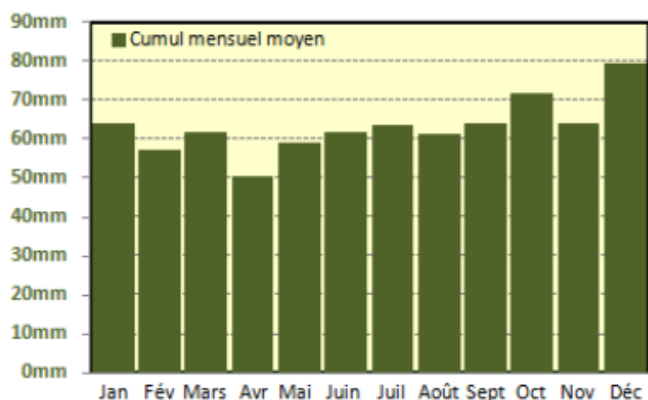


Des précipitations intenses

Le bassin versant de la Moselle aval est situé dans une région où le climat est de type semi-continental marqué par des hivers longs, assez froids et pluvieux.

Les précipitations sont significatives avec en moyenne 760 mm de pluie par an avec deux périodes plus propices [cf. diagramme].

Les pluies s'abattent sur une variété de sols favorisant plus ou moins fortement leur infiltration.



Précipitations moyennes mensuelle (1981-2010)

Station de relevés de Frescaty (sud de Metz)

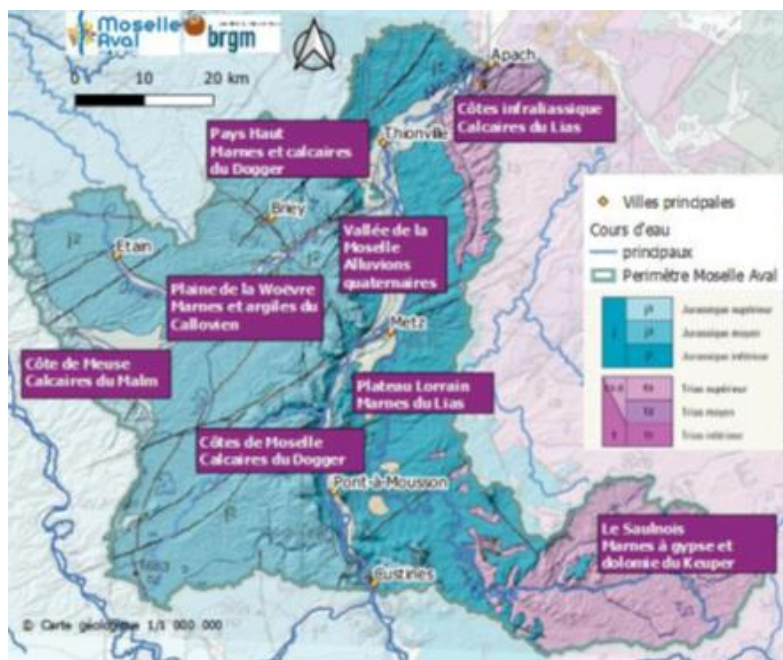
Le mois de décembre est le plus pluvieux de l'année avec un cumul mensuel moyen de 79,2 mm.

Le mois d'octobre est également très pluvieux avec un cumul mensuel moyen supérieur à 70 mm.



La capacité d'infiltration des sols

Elle dépend de la géologie qui se décline de l'ouest à l'est du bassin versant de la façon suivante :



Contexte géologique du bassin versant global de la Moselle aval (BRGM, 2022)

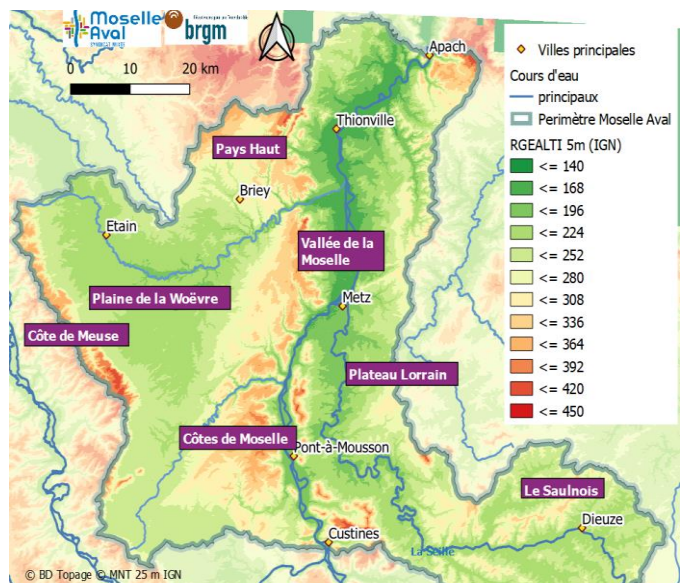
- Les sols calcaires et marneux des plateaux du Pays Haut et des Côtes de Meuse, couverts d'une couche d'argile rouge, favorables à l'agriculture céréalière ;
- Les marnes et argiles couvrant la plaine de la Woëvre (Jurassique supérieur) constituent des sols lourds et collants, difficiles à cultiver. Les parcelles les moins humides sont drainées permettant leur mise en culture tandis que les fonds de vallée restent dédiés aux prairies ;
- Les limons, localement important couvrant les terrains marno-argileux du Lias au niveau de la partie occidentale du Plateau Lorrain ;
- Entre pays calcaires et pays d'argiles, le pays du Saulnois est constitué par une succession de lits de marnes intercalés entre des bancs de calcaires donnant des sols argilo-calcaires ;
- Dans les fonds de vallées, les alluvions du quaternaire donnent des sols de nature variable.



L'importance de la pente

Le bassin versant présente également trois zones de côtes se succédant d'Ouest en Est [Cf. carte] : la côte de Meuse, la côte de Moselle et celle des grès infraliasique.

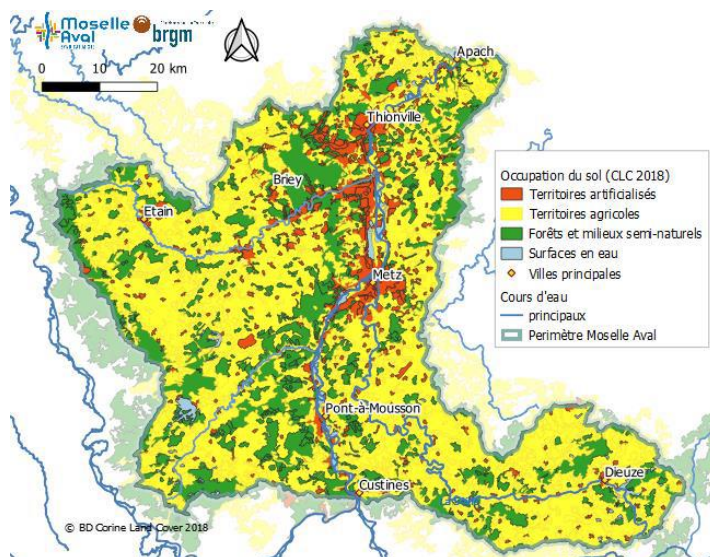
De direction Nord Sud, ces côtes se composent à l'Ouest d'un front de pente abrupt de 100 à 150 mètres de hauteur suivi d'un revers de côte qui se présente comme un plateau régulièrement incliné vers l'Est : plaine de la Woëvre et plateau lorrain



Carte topographique et géographique du bassin versant global de la Moselle aval. (BRGM, 2022)




L'importance de la couverture végétale



Carte d'occupation des sols du bassin versant global de la Moselle aval. (BRGM, 2022)

Au niveau des plaines et plateaux, l'agriculture occupe une grande part du territoire (plus de 62%).

Parallèlement, les fonds de vallées voient l'étalement de leur urbanisation (6.8%) accompagnée par une artificialisation accrue des sols. Les pieds de côtes des agglomérations sont également urbanisés, à flanc de pente.



Les coulées boueuses observées récemment sur le bassin versant sont les conséquences de plusieurs décennies de transformation des paysages agricoles et de l'urbanisation des fonds de vallées.

Dans le premier cas, depuis les années 1960, plusieurs campagnes de remembrement agricole ont abouti à :

- L'augmentation de la taille des parcelles et à la simplification des systèmes culturaux et corrélativement à la suppression des haies, des talus et des fossés ;
- La régression des prairies permanentes au profit des terres labourées ;
- Au drainage des terres agricoles conduisant à la raréfaction des écosystèmes humides.

Dans le second cas, le développement des zones bâties a conduit à l'imperméabilisation des sols.

L'activité humaine a ainsi entraîné une perte de potentialité d'infiltration et de stockage des eaux de ruissellement accélérant le déplacement de sédiment et la vitesse du ruissellement.

Dans les zones agricoles, le ruissellement entraîne le départ de terre par érosion, de façon insidieuse en emportant les éléments fertiles du sol, ou de façon spectaculaire en creusant de profondes ravines.

En zones bâties ces coulées boueuses affectent le bâti et les infrastructures routières et peuvent saturer les réseaux d'évacuation des eaux pluviales et les ouvrages hydrauliques.

Aussi, les deux causes principales de production des phénomènes d'érosion et de ruissellement sont la perte de perméabilité et de rugosité de la surface du sol associée à des épisodes de fortes précipitations.

Historique des événements

L'analyse des déclarations CATNAT depuis 1982, confortée par les articles de la presse quotidienne, font ressortir **trois épisodes majeurs** :

- Les pluies des hivers 1982 et 1999 ;
- Les pluies du printemps 1983.

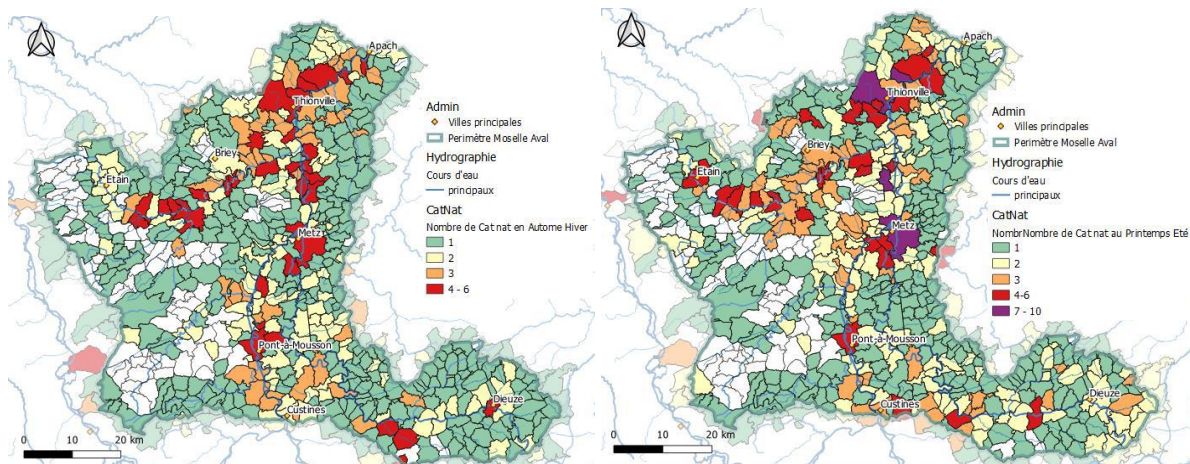
L'hiver 1999 a été caractérisé par de violentes tempêtes. La majorité des dommages pour les communes reconnues CATNAT en hiver 1999 **est lié aux tempêtes et non aux inondations par ruissellement**.

Les autres événements historiques sont les suivants :

4 épisodes hivernaux	1993/ 1995/ 1997/ 2001
1 épisode automnal	2006
3 épisodes printaniers	2012 / 2016 / 2018
2 épisodes estivaux	1995 / 2021

L'analyse des articles de presse montre que les épisodes ayant lieu en hiver et automne sont la conséquence de tempêtes et ou pluies intenses survenant sur des sols saturés entraînant des crues et inondations alors que les événements de printemps et été interviennent plutôt en contexte orageux avec mention de coulées de boue.

Cette analyse permet d'observer un basculement de temporalité dans l'occurrence des événements liés aux inondations et coulées de boues : l'ampleur des événements printaniers a fortement augmenté au cours des 5 dernières années, avec 89 CAT NAT reconnues en 2016 et 62 en 2021 [Cf. cartes ci-après].



Répartition cartographique des arrêtés CATNAT par commune (hors tempête hiver 1999) pour les épisodes hivernaux (à gauche) et printaniers (à droite) (BRGM,2022)

L'identification des zones les plus sensibles aux phénomènes d'érosion des sols

La modélisation MESALES (INRAE, BRGM) a été mobilisée dans l'optique d'une identification et d'une hiérarchisation des zones du territoire du bassin versant de la Moselle aval les plus sensibles aux phénomènes d'érosion. Dans sa version actuelle (2018), le modèle MESALES permet de qualifier spatialement l'aléa érosif et ruissellement des versants cultivés par saison et pour l'année entière.

Dans ce modèle, l'érosion est envisagée du point de vue des surfaces émettrices de particules solides (érosion de versant), qui sont la plupart du temps des parcelles agricoles. La sensibilité des sols à l'érosion et au ruissellement est calculée en combinant quatre facteurs : l'occupation des sols, la topographie, le sol, et le climat. En revanche le travail de la terre (labour, taux de matière organique), l'occupation du sol par les intercultures, etc. n'ont pas été intégrés à cette étude qui s'applique à un vaste territoire.

Sur la base de ces facteurs, six variables sont utilisées :

FACTEURS	VARIABLES
Occupation des sols	Taux de couverture des sols
Topographie	Intensité de la pente Aire drainée
Pédologie	Battance Erodibilité
Climat	Erosivité des pluies

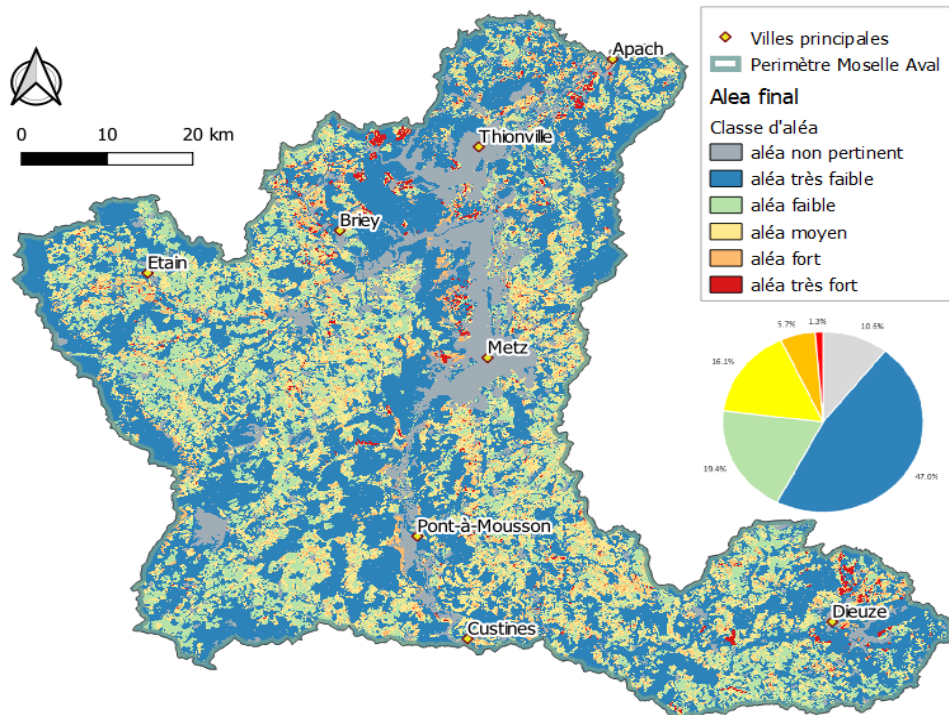
Le modèle se présente sous la forme d'un arbre de décision où différentes variables sont croisées jusqu'à une classification donnant un résultat final.

La caractérisation de l'**aléa érosif annuel** est réalisée à partir du calcul de l'aléa de chaque saison sur 3 ans afin de tenir compte des rotations culturales. Cette opération permet d'intégrer :

- La variabilité temporelle du régime des précipitations ;
- La couverture du sol par les cultures et par saisons sur 3 années consécutives.

La qualification de l'aléa est réalisée suivant une note allant de 1 à 5 et correspond à différents niveaux d'aléa (de très faible à très fort). L'aléa est qualifié à la résolution du MNT (par « pixel ») et est agrégé à l'échelle de la masse d'eau pour faciliter la lecture.

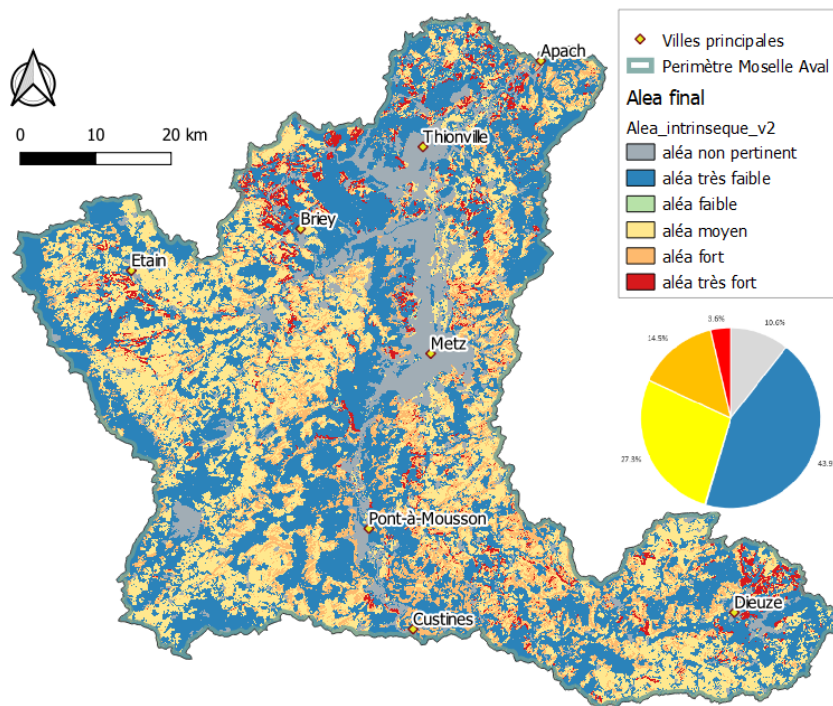
Les résultats de calcul pour l'aléa annuel montrent **qu'un quart du territoire se situe en aléa annuel moyen-fort à très fort.**



Carte de l'aléa annuel sur 3 ans. (BRGM, 2022)

En prenant l'hypothèse de terres cultivées mises à nues sur trois années consécutives, une carte d'aléa érosion intrinsèque permet d'identifier les secteurs propices aux phénomènes du point de vue de la topographie et de la nature des sols.

Les résultats de calcul pour l'aléa intrinsèque montrent que la moitié du territoire (50%) se situe en aléa intrinsèque moyen-fort à très fort ; les aléas forts à très forts représentent 18 % du territoire. [Cf. carte ci-après]



Carte de l'aléa intrinsèque sur 3 ans. (BRGM, 2022)

Les bassins versants classés en aléa intrinsèque fort à très fort se situent essentiellement le long du front de la cuesta infraliassique qui délimite le plateau Lorrain de la vallée de la Moselle, ainsi que dans le Pays Haut.

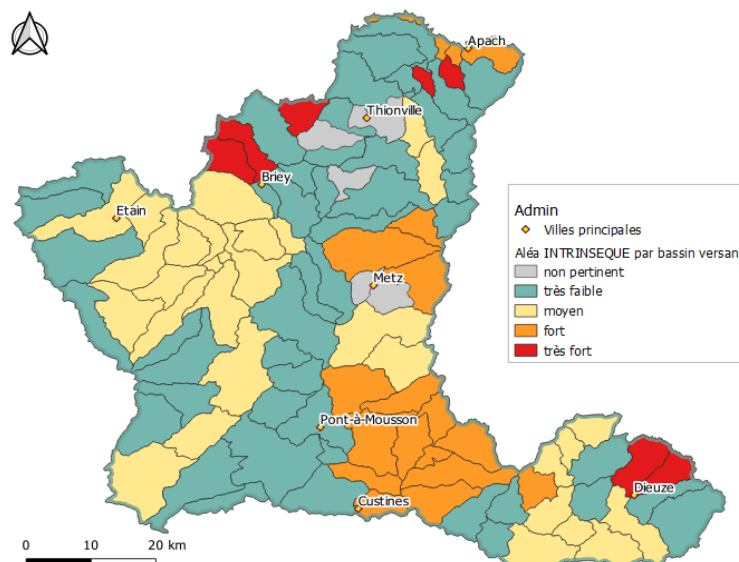
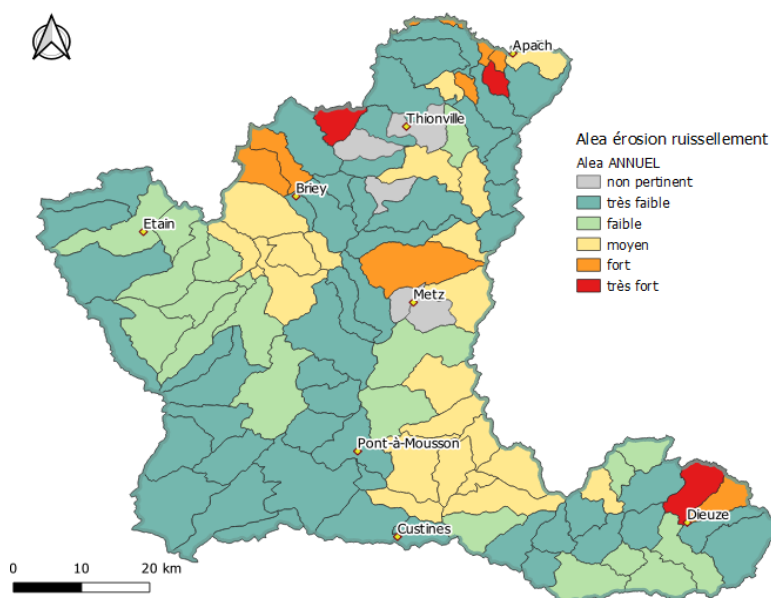
Par comparaison avec la carte d'aléa annuel, la carte d'aléa intrinsèque confirme le rôle protecteur de la couverture végétale dans la réduction de la susceptibilité.

Les écarts entre ces deux cartographies mettent en évidence les territoires les plus sensibles à d'importants changements futurs de pratiques agricoles, en cas de retournement de prairie par exemple.

L'agrégation de ces résultats par bassin versant permet d'identifier et de hiérarchiser ceux qui sont les plus sensibles (aléa fort à très fort) aux phénomènes d'érosion et de ruissellement.

Sept bassins versants sont classés en aléa intrinsèque très fort et dix-huit en aléa fort contre trois en aléa très fort et sept en aléa fort pour l'aléa annuel.

En haut : aléa ANNUEL érosion ruissellement ; en bas : aléa INTRINSEQUE érosion ruissellement. (BRGM, 2022)



L'affectation d'un taux de couverture minimum sur les terres labourables (sol nu 3/3 ans) pour le calcul de l'aléa intrinsèque a pour conséquence l'augmentation du niveau d'aléa de 1 à 3 classes, selon les bassins versants.

Parmi ceux-ci, **dix bassins versants sont classés en aléa annuel fort à très fort**. Ils se situent en tête de bassin de la Seille, de la confluence de la Seille avec la Moselle, de la Moselle aval et du Pays Haut. Ces bassins versants combinent des sols limoneux battants avec une occupation du sol agricole laissant les sols à nu au moins 2 années sur 3 ou trois années consécutives sur une période.

Les saisons propices à l'érosion

La variabilité saisonnière de la distribution des surfaces occupées par les différentes classes d'aléa s'explique par la variabilité saisonnière du taux de couverture du sol par la végétation combinée à la variabilité saisonnière de l'érosivité des pluies. Le modèle est appliqué à chaque période agronomique, selon les cartographies saisonnières de taux de couverture du sol et du climat.

L'aléa érosion des sols semble le plus élevé sur la période d'août à septembre, période durant laquelle une grande partie des sols sont à nu à la suite des récoltes et où l'érosivité des pluies est importante.

Sur la période d'avril à juin, les surfaces occupées par les classes d'aléa moyen à très fort sont faibles (3 %) en raison d'un taux de couverture important des cultures d'hiver.

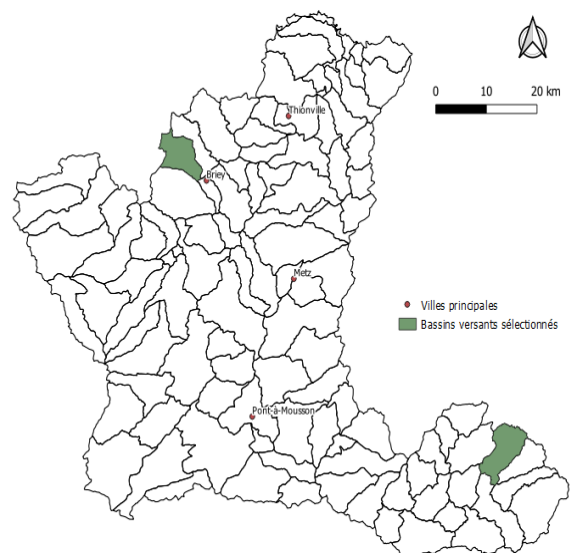
L'identification de pistes d'actions, phase 2 de l'étude

Au terme de l'étude, huit bassins versants classés en aléa intrinsèque très fort et en aléa annuel fort à très fort ont été identifiés et analysés. Sur ces emprises, deux sous-bassins versants ont été sélectionnés pour une modélisation quantitative fine de l'érosion et du ruissellement avec le modèle WaterSed.


La sélection de ces deux sous-bassins a été établie sur la base des critères suivants :

- Une superficie de près de 5 km² par sous-bassin versant ;
- Une exposition à un aléa intrinsèque et annuel fort à très fort ;
- Des caractéristiques pédologiques et d'occupation de sols différentes entre les deux sous-bassins de manière à être représentatifs du bassin versant global de la Moselle aval ;
- La présence d'enjeux urbains.

Les deux sous-bassins versants pilotes sélectionnés sont situés à l'amont des bassins versants du Woigot et du Spin.



Les deux sous-bassins retenus sont inclus dans les emprises en vert



L'application du modèle MESALES sur le territoire du bassin versant global de la Moselle aval a permis de qualifier spatialement l'aléa érosif et ruissellement des versants cultivés par saison et pour l'année entière. En prenant l'hypothèse de terres cultivées mises à nues sur trois années consécutives, la carte d'aléa érosion intrinsèque permet d'identifier les secteurs naturellement propices aux phénomènes de ruissellement du point de vue uniquement de la topographie et de la nature des sols.

L'agrégation de ces résultats a permis d'identifier et hiérarchiser les bassins versants les plus sensibles aux phénomènes d'érosion et de ruissellement.

Les résultats de calcul pour l'aléa annuel montrent qu'un quart (1/4) du territoire est concerné par un aléa moyen à fort et trois quarts (3/4) par un aléa faible à très faible ou non pertinent.

Les résultats de calcul pour l'aléa intrinsèque montrent que près de la moitié (1/2) du territoire est concernée par un aléa moyen à très fort. Par comparaison avec la carte d'aléa annuel, la carte d'aléa intrinsèque confirme le rôle protecteur de la couverture végétale dans la réduction de la susceptibilité. Cette conclusion pose ainsi les jalons de pistes d'actions qu'il convient toutefois de caractériser dans le cadre d'une deuxième phase de l'étude.