

**Rapport technico-scientifique relatif à**

**la carte du risque d'érosion**

**de la surface agricole utile**

**de la Suisse à l'aide d'un modèle numé-**

**rique de terrain (grille ou raster de 2x2**

**mètres)**

**(CRE2)**

**établi par**

**Simon Gisler (CDE Uni Berne)**

**Hanspeter Liniger (CDE Uni Berne)**

**Volker Prasuhn (Agroscope Reckenholz-Tänikon ART)**

**sur mandat de**

**l'Office fédéral de l'agriculture (OFAG)**

## Novembre 2010

### IMPRESSUM

#### Mandat :

OFAG (anton.candinas@blw.admin.ch)

#### Suivi du projet:

Groupe de travail Sol (A. Candinas, présidence, (OFAG), M. Fischler, (Secrétariat du projet, (mf k&p), L. Nyffenegger (OFAG), M. Affentranger (OFAG), J.P. Clément (OFEV), N. Emch (canton SO), C. Kündig (canton VD), A. Lehmann (canton FR), P. Julien (Agridea), P. Weisskopf (ART), M. Santschi (OFAG), A. Chervet (canton BE), A. Stübi (OFAG)

#### Support technique

Kurt Gerber, Christoph Hösli, Christian Hergarten (GIS-Unit CDE)  
Erich Szerencsits (ART)

#### Bases de données:

- DTM-AV, vecteur25: Swisstopo (Roberto Artuso, Support DTM-AV)

Données pédologiques:

- AG – AGIS Geoportal Aargau
- BL – U. Wyss, GIS-Fachstelle BL,  
P. Simon, Paiements directs BL
- BS – S. Adam, Amt für Umwelt und Energie BS
- ZH – A. Lehmann, Fachstelle Bodenschutz Zürich
- SO – G. von Rohr, Amt für Umwelt SO
- LU – B. Suter, UWE Luzern
- GE – A. Besson, HESS-SO Genève
- GL – M. Baltensweiler, Abt. Landwirtschaft GL,  
S. Zantop, Acroplan
- SG – D. Schlupe, Amt für Umwelt und Energie SG,

- TG – A. Kayser, Amt für Umwelt Thurgau

**Accompagnement du processus:**

Hans Hurni, Karl Herweg (CDE)

**TABLE DES MATIÈRES**

-	<b>1. Introduction.....</b>	<b>1</b>
o	1.1 Contexte .....	1
o	1.2 Mandat et objectif .....	2
o	1.3 pertinence de la carte, possibilités d'utilisation et limites de la carte CRE2 .....	3
▪	1.3.1 Guide succinct de la façon de procéder, à l'attention de l'utilisateur .....	6
-	<b>2. Le modèle d'érosion AVErosion .....</b>	<b>7</b>
o	2.1 Bases du modèle AVErosion 1.0 .....	7
o	2.2 Aperçu des données de base .....	10
o	2.3 Résultats de l'érosion brute.....	11
-	<b>3. Description des différentes bases de données .....</b>	<b>12</b>
o	3.1 Grille des parcelles et blocs de parcelles (ou blocs de champs) .....	12
▪	3.1.1 Vector25.....	13
▪	3.1.2 Zone de calcul .....	14
▪	3.1.3 Bloc de parcelles .....	15
▪	3.1.4 Etablissement d'un plan des blocs de champs .....	17
o	<b>3.2 Modèle numérique de terrain DTM-AV.....</b>	<b>23</b>
▪	3.2.1 Problèmes avec les modèles numériques de terrain.....	23
▪	3.2.2 Correction du modèle de terrain .....	29
o	<b>3.3 Données sur le sol.....</b>	<b>30</b>
▪	3.3.1 Carte d'aptitude des sols 1:200'000 - FRIEDLI (2006) .....	30
▪	3.3.2 Cartes détaillées des sols cantonales.....	31
▪	3.3.3 Carte matricielle des facteurs K.....	34
-	<b>4. Résultats .....</b>	<b>37</b>
o	4.1 Diffusion de données - cartes.....	44
o	4.2 Description des différents jeux de données raster.....	45
▪	4.2.1 Résultats.....	45
▪	4.2.2 Données de base.....	47
▪	4.2.3 Données supplémentaires.....	49
-	<b>5. Validation et tests de plausibilité.....</b>	<b>52</b>
o	Validation.....	52
o	5.2 Tests de plausibilité.....	53
▪	5.2.1 Comparaison de l'ERK2 avec la carte des risques d'érosion en Suisse (FRIEDLI 2006).....	55
▪	5.2.2 Cartes indicatives des cantons de Soleure, Lucerne et Genève .....	57

▪	5.2.3 Comparaison avec les données d'Avenches et du Boiron de Morges .....	61
-	<b>6. Aides à l'interprétation concernant la CRE2 (étude de cas).....</b>	<b>71</b>
○	6.1 Evaluation de la topographie du terrain et sens de l'écoulement à partir de la carte d'érosion .....	71
▪	6.1.1 Exemple 1: forme du terrain .....	72
▪	6.1.2 Exemple 2: pente longue.....	74
▪	6.1.3 Exemple 3 talweg/cuvettes .....	75
▪	6.1.4 Exemple 4: arête de terrain .....	76
▪	6.1.5 Exemple 5: haies .....	77
○	6.2 Eléments particuliers dans la CRE2.....	78
▪	6.2.1 Exemple 6: influence de différentes échelles (facteur K).....	78
▪	6.2.2 Exemple 7: problèmes aux limites de carrés.....	79
○	6.3 Comparaison avec des événements réels .....	80
-	<b>7. Autres analyses.....</b>	<b>86</b>
▪	7.1 Etablissement de statistiques sur la base de rec_eros_xxx .....	86
▪	7.2 Délimitation des régions de montagne I et II ou de la région des terres arables .....	89
▪	7.3 Adaptation individuelle des couleurs d'eros_z_xxx .....	90
▪	7.4 Subdivision d'un important bloc de parcelles.....	91
▪	7.5 Surfaces viticoles .....	93
-	<b>8. Perspectives .....</b>	<b>94</b>
○	8.1 Vers une ERK2 plus détaillée et optimisée.....	94
○	8.2 Actualisation de la carte.....	95
○	8.3 Logiciel AV-Erosion 1.0.....	96
-	<b>9. Bibliographie .....</b>	<b>97</b>
-	<b>Annexe.....</b>	<b>100100</b>

# 1. INTRODUCTION

## 1.1 Contexte

Depuis quelques années on observe en Suisse une augmentation des événements météorologiques extrêmes à l'origine de déficits ou, au contraire, d'excédents d'eau. Que le changement climatique soit ou non la cause de ces phénomènes, la question essentielle est de savoir comment y remédier, si la tendance devait se poursuivre. Dans le cadre d'une collaboration entre le CDE (Centre pour le développement et l'environnement, Institut géographique de l'Université de Berne) et ART (Agroscope Reckenholz-Tänikon) au titre du programme COST 634, il a été possible de mettre en évidence à plusieurs reprises des taux élevés d'érosion du sol sur de nombreuses parcelles agricoles. Cette érosion peut évidemment avoir des conséquences sur l'activité et la production agricoles (dégâts « sur site »). Elle peut en outre causer parfois aussi des dégâts considérables en dehors des surfaces touchées par l'érosion (dégâts « hors site ») : coulées d'eau et de sédiments dans les parcelles voisines, endommagement d'infrastructures privées et publiques, pollution de cours et plans d'eau, avec pour conséquences une augmentation des conflits de voisinage, des coûts de réparation et des sinistres pris en charge par les assurances.

Grâce aux travaux sur le terrain de deux doctorants (Schneider, Ledermann) et à la collaboration d'une quinzaine d'étudiants du niveau bachelor et master de l'Université de Berne, les relevés cartographiques de l'érosion effectués depuis de nombreuses années par ART dans le Frienisberg ont pu être étendus à une zone d'étude située en Haute-Argovie (Melchnau/Rohrbach) ainsi qu'à Fribourg (Murist/Estavayer). Ces études ont permis de recueillir une série d'observations sur l'efficacité et l'acceptabilité des mesures de préservation du sol.

Les données recueillies ont servi entre autres à tester et à valider un modèle simplifié de prédiction de l'érosion « AV Erosion », basé sur l'équation universelle des pertes de sol (Universal Soil Loss Equation), qui peut être obtenu gratuitement.

L'utilisation du modèle sur la base du DTM-AV de 2 mètres de résolution a été testée dans les trois régions (CHISHOLM 2008) dans le cadre d'une thèse de master. Dans le cadre d'une autre thèse (GISLER 2009), le modèle a même été testé sur la base de valeurs effectives d'assolement (facteur C) dans la région du Frienisberg. Les inspections des champs réalisées en commun par les scientifiques et les agriculteurs ont suscité un grand intérêt de la part des représentants des autorités cantonales et fédérales pour cet outil d'aide à l'évaluation de l'érosion à l'échelle de la parcelle.

La carte des risques d'érosion en Suisse élaborée récemment dans le cadre d'un mémoire de diplôme par S. Friedli (FRIEDLI 2006), en collaboration avec le CDE Uni Berne et ART, offre certes l'avantage d'être une carte digitale, mais, du point de vue de la résolution spatiale, elle n'est utilisable que pour obtenir une vue d'ensemble à l'échelle nationale et non pour la planification de mesures à l'échelle parcellaire. Les cartes du risque d'érosion établies à l'échelle 1:25 000 dans les trois cantons (SO, LU, GE) ont fait leurs

preuves dans la pratique selon l'appréciation des services cantonaux compétents. Le logiciel (AVErosion) utilisé dans ce projet et le modèle numérique de terrain DTM-AV (2x2m) sont fondés sur des approches similaires, mais plus innovantes et mieux ciblées, qui permettent une identification nettement plus précise des surfaces critiques – et notamment aussi des talwegs dans les petites dépressions de terrain (cuvettes).

## **1.2 Mandat et objectif**

Le projet présenté ici a été discuté lors d'une excursion du Beratungsgruppe Düngung und Umwelt (BDU), Untergruppe Bodenerosion (groupe de conseillers en matière de fumure et d'environnement, sous-groupe « érosion du sol », le 13 août 2008, et a été approuvé par tous les participants.

Le mandat ci-après a été attribué en mai 2009 par l'OFAG au CDE de l'Université de Berne :

1. Le projet comporte l'élaboration de cartes du risque d'érosion à grande échelle (environ 1:5 000) et à l'échelle de la parcelle pour les surfaces agricoles utiles de la Suisse ainsi que d'un manuel de l'utilisateur.
2. En collaboration avec Agroscope ART et les services cantonaux concernés (services de l'agriculture ou services de protection du sol), ces cartes sont affinées jusqu'à permettre l'identification de parcelles ou de parties de ces parcelles sur lesquelles les exigences des PER, celles de l'OPD ou encore celles de l'OSol relatives à la protection du sol ne peuvent probablement pas être respectées et/ou sur lesquelles il est nécessaire de prendre des mesures de lutte contre l'érosion.

Les travaux ont été encadrés par le « Groupe de travail Sol ». Toutes les méthodes et tous les résultats ont été présentés au groupe de travail au cours de plusieurs réunions. Ils ont été discutés et approuvés.

Membres du groupe de travail

A. Candinas, présidence (OFAG)

M. Fischler, secrétariat de projet (mf k&p)

L. Nyffenegger, M. Affentranger, M. Santschi, A. Stübi (OFAG)

J.P. Clément (OFEV)

N. Emch (canton SO)

C. Kündig (canton VD)

A. Lehmann (canton FR)

A. Chervet (canton BE)

P. Julien, AGRIDEA

P. Weisskopf (ART)

Le but de la présente étude était d'établir une carte du risque d'érosion potentiel de la surface agricole utile qui réponde aux critères énumérés ci-après :

- bases scientifiques reconnues ;
- uniforme pour toute la Suisse, dans la mesure du possible ;
- comparable à des cartes du même type utilisées dans les pays de l'UE ;
- numérisée et basée sur le système SIG ;
- programme librement accessible ;
- aussi simple que possible, avec des données utilisables directement ;
- bien acceptée par les utilisateurs et la pratique dans la mise en œuvre ;
- haute définition, pour être utilisable à l'échelle de la parcelle.

Le présent rapport est un **rapport technico-scientifique** qui explique les bases scientifiques, décrit la procédure technique suivie dans le SIG pour l'utilisation de la carte et offre une aide à l'interprétation des cartes. Il n'entre pas dans le cadre du présent rapport de décider si cette carte sera ou non utilisée ni, le cas échéant, de quelle manière.

### **1.3 Pertinence, possibilités d'utilisation et limites de la carte CRE2**

La carte CRE2 indique le **risque d'érosion potentiel** (érosion qui pourrait théoriquement se produire si le sol était complètement nu). La carte sera désignée ci-après par l'abréviation CRE2 (**carte du risque d'érosion au raster 2x2 m**). Les paramètres suivants ont été utilisés pour la modélisation du risque :

- inclinaison et longueur de la pente
- précipitations
- propriétés du sol

Ces facteurs locaux qui restent relativement stables dans le temps reflètent les conditions in situ. D'autres facteurs tels que l'utilisation actuelle des terres, le travail du sol et le mode d'exploitation n'ont donc pas été pris en compte. La carte se fonde sur l'hypothèse d'un sol nu, partout à découvert. Premièrement, on ne dispose pas d'informations sur l'utilisation du sol couvrant tout le territoire suisse et ces informations sont susceptibles de changer deux fois par an ou même chaque saison. C'est pourquoi la carte reproduit parfois une autre image que celle que l'on rencontre dans la réalité. Le calcul prend en compte non seulement les terres assolées, mais pratiquement toute la surface agricole utile, à l'exception des zones de montagne III et IV, des pâturages d'estivage, des cultures

fruitières, des surfaces utilisées pour l'horticulture et des bandes tampons. Aussi, de nombreuses surfaces indiquées sur la carte comme présentant un risque potentiel d'érosion, voire un risque élevé d'érosion, sont des herbages permanents ou des pâturages qui ne sont probablement pas menacés d'érosion en raison de la couverture végétale permanente. C'est particulièrement visible sur la carte qui inclut les zones de montagne 1 et 2 (fig. 4.1b). Toutefois, la carte représentant uniquement la zone de plaine et des collines (fig. 4.1a) inclut aussi diverses surfaces qui sont en fait utilisées en tant que prairies permanentes.

L'utilisation de la CRE2 a pour but de permettre l'identification des régions menacées, en première approche sur la base des facteurs locaux spécifiques qui les caractérisent. Dans une deuxième étape, il y a lieu de clarifier quels sont les modes d'exploitation et de travail du sol dans la région considérée. Si l'utilisation des terres ou le mode d'exploitation agricole exclut la présence des indices recensés de risque d'érosion (p. ex. herbages permanents), il existe une forte probabilité qu'il n'y ait pas de risque de pertes de sol dans cette région. Si on ne possède pas d'indications qu'une région potentiellement menacée (selon la carte) comporte en réalité des cultures à risque, comme les pommes de terre ou le maïs (mode de culture traditionnel), des clarifications plus précises permettront de savoir s'il convient de prendre des mesures de lutte contre l'érosion. La carte doit d'une part aider à localiser les régions potentiellement menacées et, d'autre part, indiquer par les informations détaillées qu'elle fournit des ébauches de solutions appropriées en cas de suspicion confirmée.

Bien que le modèle (USLE ou MUSLE) soit un modèle validé, largement utilisé au plan mondial, comme tout modèle d'évaluation il est basé sur une forme d'abstraction et de simplification de la réalité afin de rendre les processus intelligibles et de pouvoir les représenter graphiquement. Autrement dit, dans quelques cas d'exception, le pronostic du risque d'érosion peut ne pas avoir été correctement évalué. Il peut ainsi arriver que des phénomènes isolés d'érosion se produisent dans des régions qui ne figurent pas sur la carte comme des zones à risque ou que des régions soient plus fortement touchées par l'érosion que n'en rend compte la carte. Ces écarts par rapport à la réalité peuvent avoir diverses causes énoncées ci-après.

### **Divergences par rapport au risque d'érosion pronostiqué**

- résurgences d'eau de pente d'origine géologique
- conduites de drainage défectueuses
- infiltrations d'eau provenant de surfaces situées au-dessus ou en dehors du bloc de parcelles concerné (run-on) :
  - de routes ou de chemins
  - de la forêt

- de regards inondés ou bouchés
- d'inondations par des cours d'eau
- Épisodes pluvieux extrêmes localisés
- Compactage massif du sol en raison du passage de véhicules non appropriés ou sols à la structure fortement endommagée pour d'autres raisons
- Sols localement très érodibles qui n'ont pas été recensés en raison du système de classification sommaire de la carte d'érosion des sols
- Erosion dans les raies de charrue sur les bords de parcelle ou dans les traces de passage
- L'unité de calcul du bloc de parcelles ne correspond pas à la réalité : modifications récentes de la taille du bloc de parcelles suite à l'aménagement ou à la suppression de routes, de haies, etc. (par exemple lors d'améliorations foncières). Lors de modifications de sites pertinents en ce qui concerne l'écoulement des eaux ou l'érosion (p. ex. en travers de la pente), il est nécessaire de refaire les calculs.

Il s'agit là de processus qui ne peuvent pas être représentés par la méthode et le modèle utilisés et qui peuvent donc se traduire par des résultats divergents sur la carte et dans la réalité. Une divergence des résultats est toutefois également possible en sens inverse, car les bases de données sont modifiables, surtout en ce qui concerne l'unité de calcul (« bloc de parcelles »). Autrement dit, il se peut qu'il existe, par exemple, de nouveaux chemins, routes, bâtiments, etc. dont l'emplacement modifie les conditions topologiques et par conséquent, le risque d'érosion.

Il convient en outre de noter que le modèle d'érosion utilisé (MUSLE87) est fondé sur une perte de sol moyenne à long terme, c'est-à-dire sur une période d'au moins 20 ans. Il est ainsi tout à fait possible qu'une culture à risque ait été plantée sur une parcelle menacée d'érosion, mais que l'on n'ait enregistré aucun phénomène d'érosion majeur sur cette parcelle durant la première année de mise en culture. La parcelle en question ne doit cependant pas être classifiée comme étant « non menacée », car des manifestations d'érosion peuvent très bien se produire au cours des années suivantes.

Les expériences faites jusqu'ici avec le modèle MUSLE87 et la comparaison avec les événements réels prouvent cependant que les pronostics concordent assez largement avec la réalité.

### **1.3.1 Guide succinct de la façon de procéder, à l'attention de l'utilisateur**

- Localiser la région déterminante sur le plan de situation\_Eros\_CH
- Ouvrir les données de la feuille LK50 correspondante (eros\_z\_xxx.lyr et rec\_eros\_xxx<sup>1</sup>)
- Pour une meilleure orientation, d'autres fichiers de données peuvent être joints, p. ex. carte Vector25, photos aériennes, orthophotos, etc. (cf. Annexe 3a, b)
- Se faire une idée d'ensemble à l'aide de la CRE2 comprenant 3 classes (rec\_eros\_xxx) et examiner la présence d'un risque d'érosion dans une unité d'observation, p. ex. bloc de champs ou parcelle
- Une évaluation statistique peut également être faite à cette fin (cf. chapitre 7.1)
  - o De plus, d'autres unités de calcul peuvent être superposées, p. ex. plans de parcelles, etc. (cf. chap. 7.1)
- Vérifier l'usage agricole de l'unité prise en considération : S'il s'agit d'une surface herbagère permanente, pas de risque d'érosion, s'il s'agit de terres ouvertes, prairies artificielles, vignes ou si l'usage n'est pas clair, le risque d'érosion est possible, dans ce cas examiner la carte CRE2 comprenant 9 classes (eros\_z\_xxx) pour une analyse plus détaillée.
- Sur la carte eros\_z\_xxx des caractéristiques relatives au relief peuvent être estimées à partir desquelles il est possible d'en tirer des conclusions au sujet de facteurs déterminants pour un risque d'érosion augmenté (cf. chap. 6)
  - o En outre, les données relatives aux différents facteurs peuvent être consultées; k\_fak\_xxx, s\_fak\_xxx, l\_fak\_xxx und r\_fak\_xxx (cf. annexe 4 pour une vue d'ensemble au plan national)
  - o Si l'utilisateur dispose de cartes pédologiques plus détaillées, il peut les scanner (cf. chap. 4.2.2.)
- Puis procéder à des clarifications concernant l'assolement et les méthodes de travail du sol sur la /les parcelle/s concernées/s
- En cas d'assolement ou de travail du sol problématiques, il y a lieu d'arpenter le terrain pour déterminer la cause de l'érosion. Le cas échéant, établir un plan de mesures.

---

<sup>1</sup> „xxx“ plage réservée pour le numéro de la carte LK50, p. ex. eros\_z\_205

## 2. LE MODÈLE D'ÉROSION AVEROSION

Le logiciel qui est utilisé pour le calcul des potentielles pertes de sol s'appelle AVErosion 1.0 ; il est une extension du programme ArcView 3.x. Le modèle a été développé par SCHÄUBLE (1999, 2005) et il est actuellement utilisé par le Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) dans le cadre de Cross Compliance (Bischoff & Gullich 2009, Bischoff et al. 2009, URL: [http://www.tll.de/verstola/lwbs\\_idx.htm](http://www.tll.de/verstola/lwbs_idx.htm)). En Suisse il a été testé dans le cadre de deux travaux de diplôme (CHISHOLM 2008, GISLER 2009). Comme dans le cadre de ces travaux (SCHÄUBLE (1999, 2005), CHISHOLM (2008) et GISLER (2009), les caractéristiques, les fonctionnalités et les exigences auxquelles doivent satisfaire les fichiers de données ont été discutées de manière approfondie, le présent rapport ne fait état que des informations les plus importantes concernant le programme et les fichiers de données. Pour de plus amples informations, prière de consulter les sources indiquées. Le logiciel peut être téléchargé gratuitement à l'adresse:  
URL : <http://www.terracs.com/produkte/software/av-erosion.html> (état: 3.8.2010).

### **2.1 Bases du modèle AVErosion 1.0**

Les pertes de sol moyennes qui s'étendent sur de nombreuses années sont calculées en  $t/(ha*a)$  à l'aide du logiciel AVErosion 1.0, en utilisant MUSLE87 (Modified Universal Soil Loss Equation 1987).

Les cinq fichiers de données nécessaires sont les suivants :

- raster parcellaire (unité de calcul)
- modèle altimétrique numérisé
- raster avec les données du facteur R
- raster avec les données du facteur K
- raster avec les données du facteur C

MUSLE87 est une version légèrement modifiée de la USLE (Universal Soil Loss Equation) et de la RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) de WISCHMEIER & SMITH (1978), dont une forme adaptée est connue en allemand sous le nom de Allgemeine Bodenabtragungsgleichung (ABAG).

MUSLE87 calcule à l'aide de 6 facteurs dérivés des layers disponibles les pertes de sol moyennes sur une longue durée en  $t/(ha*a)$ .

La formule de l'équation MUSLE87 est la suivante :

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Avec :

- A** = Perte de sol annuelle moyenne à long terme exprimée en t/(ha\*a)
- R** = Précipitations et facteur de ruissellement, érosivité des pluies
- K** = Érodibilité des sols (sensibilité du sol à l'érosion)
- L** = Longueur de la pente
- S** = Inclinaison de la pente
- C** = Couverture du sol et mode de travail du sol
- P** = Prévention de l'érosion

Le calcul des facteurs de relief à l'aide de MUSLE87 a lieu dans la dimension du rayon d'action, c'est-à-dire en prenant en compte les conditions de proximité et les changements de direction de la pente. Il se fonde sur le concept de « Unit Contributing Area » et utilise des algorithmes « Multiple-flow », contrairement à l'USLE classique, qui est basée sur le concept « Regular Slope » et utilise des algorithmes « Single-flow » (cf. fig. 2.1). La différence avec le calcul USLE classique concerne principalement le facteur L ; le facteur P est également modifié. AVErosion effectue au préalable une vérification et une correction automatiques du modèle numérique de terrain (cf. ch. 3.2.2).

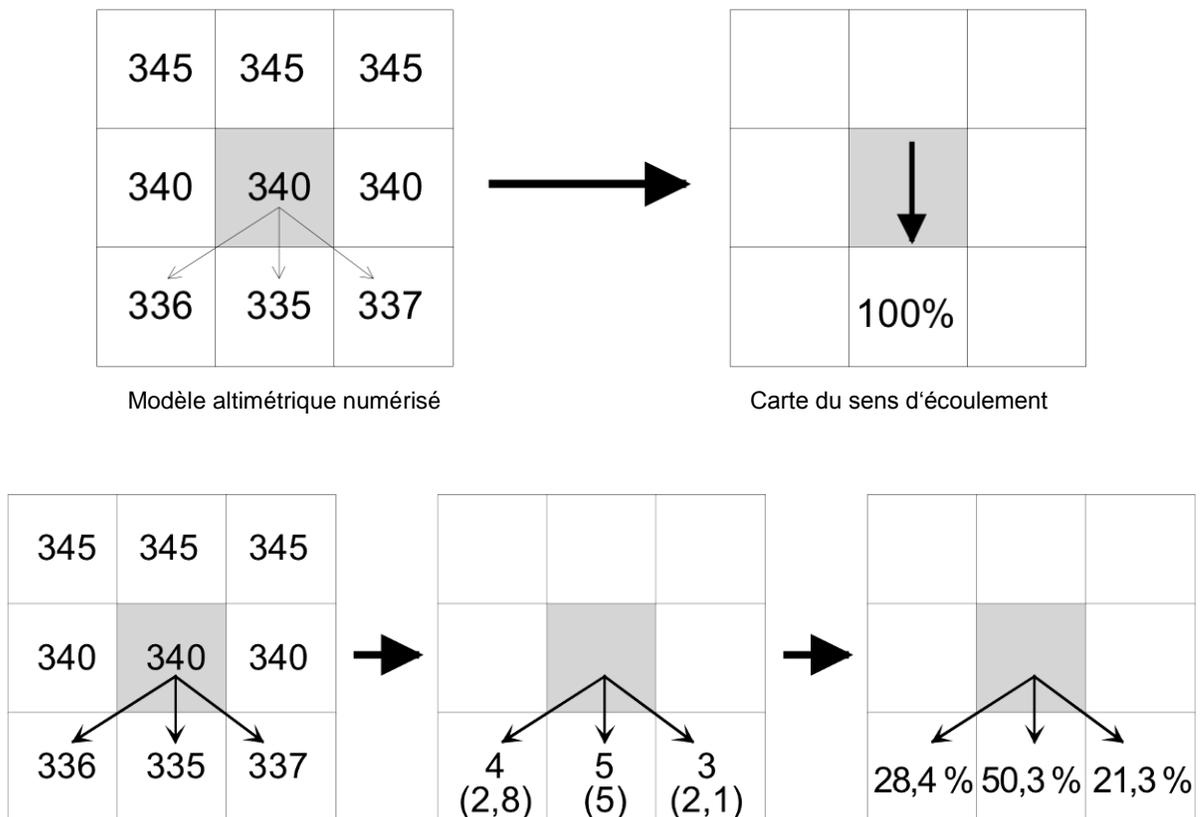


Fig. 2.1: lignes d'écoulement avec USLE (haut) et MUSLE87 avec le calcul Multiple-flow (bas).  
Source : SCHÄUBLE (1999)

Calcul du facteur L à l'aide de MUSLE87 et USLE :

**Facteur L:**

- $m = \beta / (1 + \beta)$ , exposant de la longueur de pente, qui indique le rapport entre l'érosion en rigoles et l'érosion en nappe
- $\beta = (\sin \Theta) / 0.0896) / (3 * (\sin \Theta)^{0.8} + 0.56)$ , sensibilité à l'érosion en rigoles. Celle-ci croît avec la déclivité du terrain
- $\Theta$  = Inclinaison de la pente en degrés [°]
- $\lambda$  = distance d'écoulement maximale en mètres (= USLE) ou dimensions du bassin d'alimentation en nombre de cellules cumulées \* dimension des cellules en mètres (=MUSLE87)

$$L_i = \frac{\lambda_i^{m+1} - \lambda_{i-1}^{m+1}}{(\lambda_i - \lambda_{i-1}) * 22.13^m} \quad \text{anstatt: } L = \frac{\lambda}{22.13^m}$$

**Légende:**

$i$  =  $i$ -ème section de la pente, depuis le haut

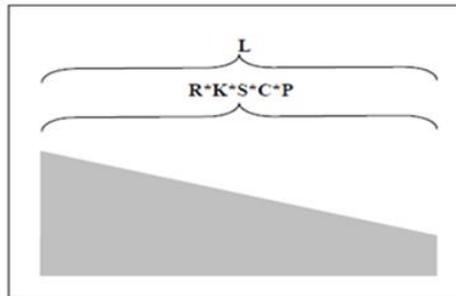
$L_i$  = facteur L local, à un point particulier ou une section de la pente

$\lambda_i$  = distance entre le début de la pente ou une barrière hydrologique et le bord inférieur de la  $i$ -ème section de la pente, en mètres

$m$  = exposant de la longueur de pente pour la totalité de la surface en pente, correspond à la valeur  $m$  du chap. 2.2

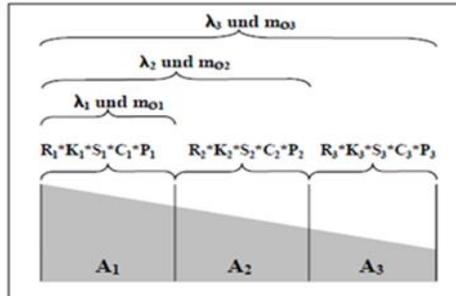
La formule étendue USLE est maintenant comme suit pour le calcul MUSLE :

$$A_i = R_i * K_i * S_i * C_i * P_i * \underbrace{\frac{\lambda_i^{(m+1)} - \lambda_{i-1}^{(m+1)}}{(\lambda_i - \lambda_{i-1}) * (22.13)^m}}_{\text{lokaler L-Faktor (= } L_i)}$$



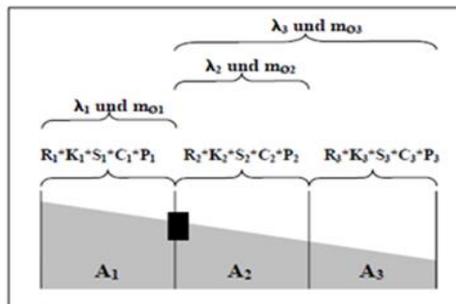
Quelle: Eigener Entwurf

**Risque d'érosion standard selon RUSLE**  
 $A=R*K*S*C*P*L$  ou  $L=(\lambda/22.13)^m$



Quelle: Eigener Entwurf

**Risque d'érosion élargi selon RUSLE**  
 $A=(A1+A2+A3)/3$



Quelle: Eigener Entwurf

**Risque d'érosion élargi selon RUSLE, avec obstacle**  
 $A=(A1)$  et  $A=(A2+A3)$

Fig. 2.2: calcul du facteur L selon MUSLE87. Source : SCHÄUBLE (1999)

## 2.2 Aperçu des données de base

### *Raster parcellaire*

Le raster parcellaire est l'unité de calcul et sert à délimiter les calculs par rapport à l'extérieur. Il fonctionne à l'aide de limites telles que des routes, les chemins, les rivières, ruisseaux, etc., en tant que barrière de ruissellement pour le calcul des différents facteurs. Il peut s'agir de parcelles cultivées ou non, de blocs de parcelles, de parcelles en propriété, de parties de champs ou autres unités de surface délimitées.

### *Modèle altimétrique numérisé*

Les facteurs S, L et P sont calculés à partir du modèle altimétrique numérisé. Le DTM-AV de la topographie nationale a été employé pour ce projet. Le modèle altimétrique a une résolution de 2x2m et une marge d'erreur moyenne de  $\pm 50\text{cm}$  (swisstopo 2005).

### *Raster avec les facteurs K*

Ce raster contient des informations sur l'érodibilité du sol et a été établi à partir de la carte des facteurs K de FRIEDLI (2006), complétée par des cartes détaillées des sols cantonales.

#### *Raster avec les facteurs R*

Ce raster indique l'érosivité des précipitations, à savoir la distribution de l'énergie érosive des précipitations, en Suisse et a été directement reprise de FRIEDLI (2006) sans modifications.

#### *Raster avec les facteurs C*

Le facteur C indique l'effet de protection contre l'érosion de la couverture et du travail du sol par rapport à un champ laissé en jachère nue pendant de longues années. Comme il n'était pas possible dans le cadre de ce projet d'enregistrer l'assolement et les méthodes de travail actuels des terres assolées, ce facteur a été fixé à 1. Cela a pour conséquence que le résultat du calcul est une estimation de l'érosion **potentielle** sur la base des facteurs naturels du site, sans prise en compte de la couverture du sol.

### **2.3 Resultats de l'érosion brute**

AVErosion calcule à partir de ces données de base les 6 facteurs nécessaires. Les facteurs C, K et R peuvent cependant être repris sans autres calculs nécessaires. Les facteurs S, L et P sont calculés à partir du modèle numérique d'altitude. Celui-ci est toutefois soumis d'abord à un examen et des rectificatifs sont effectués. Lors de cet examen, on identifie les affaissements sans écoulement on les élimine dans la phase de rectification afin qu'il en résulte un modèle numérique d'altitude correct (informations détaillées à ce sujet au chap. 3.2.2). La grille des parcelles sert de délimitation pour le calcul des facteurs S, L et P et de la carte des risques d'érosion qui en découle. Dans notre cas, il s'agit d'une carte des blocs de parcelles (cf. ch. 3.1.3 et 3.1.4). Les limites de cette dernière déterminent le début et la fin de chaque calcul. Si tous les six facteurs sont présents, les différents rasters sont multipliés entre eux et les cartes des risques d'érosion qui en résultent sont ainsi créées.

Celles-ci montrent l'érosion brute sous forme de pertes de sol annuelles moyennes en  $t/(ha \cdot a)$ . Dans notre cas, il s'agit des pertes de sol potentielles sur la base des facteurs locaux, sans prise en compte de la couverture du sol. **L'érosion brute montre l'ensemble des pertes de sol et ne prend pas en compte la différence entre les pertes et les dépôts de sol.**

AVErosion fournit deux cartes. L'une avec une haute résolution, c'est-à-dire 2x2m, et une autre avec les valeurs moyennes par bloc de parcelles. Cette dernière n'a cependant pas été davantage utilisée pour ce projet. Les facteurs S et L calculés ont également été donnés sous forme de jeux de données raster.

### **3. DESCRIPTION DES DIFFÉRENTES BASES DE DONNÉES:**

Ci-après, nous allons décrire de manière plus détaillée les données de base établies pour le présent projet. Le développement de la grille des parcelles, la préparation et l'établissement de la grille du facteur K sont expliqués et les problèmes rencontrés avec les modèles d'altitude utilisés sont abordés. Nous ne revenons pas en détail sur les facteurs C, R, S, L et P vu qu'ils sont directement repris d'autres travaux, qu'ils correspondent à des produits issus d'autres données de base ou qu'ils sont utilisés en tant que constantes. Vous trouvez de plus amples informations au sujet de ces facteurs en consultant les sources indiquées.

#### **3.1 Grille des parcelles et blocs de parcelles (ou blocs de champs)**

La grille des parcelles indique la surface faisant l'objet du calcul. Les différents facteurs sont générés à l'intérieur de ces délimitations et l'érosion qui en résulte calculée. Il peut s'agir de parcelles cultivées, de blocs de champs, de parcelles en propriété, de parties de champs ou autres unités de surface délimitées. Comme l'érosion entraîne des problèmes essentiellement dans les champs labourés, nous allons dans un premier temps essayer de délimiter les terres ouvertes. Cependant la situation en matière de données digitalisées au niveau national n'est actuellement pas favorable (un plan à l'échelle des parcelles couvrant l'ensemble du territoire est prévu pour 2015) et ne permet pas une délimitation pertinente des terres ouvertes. Aussi, nous avons cherché d'autres solutions. Finalement deux solutions étaient envisageables. Première solution: les données de la mensuration officielle qui prévoient sans la catégorie Couvert végétal une classe « terres ouvertes, prairies, pâturages » et seconde solution: les données de la carte Vector25 (swisstopo).

Données de la mensuration officielle (= plan cadastral digitalisé).

Avantages:

- Une précision un plus élevée que Vector25
- La catégorie « terres ouvertes, prairies, pâturages », est subdivisée dans certains cantons en deux catégories « terres ouvertes, prairies » et « pâturages »

Inconvénients:

- Les données ne sont pas disponibles pour l'ensemble du territoire
- Les fichiers de données sont accessibles au niveau des communes (problème d'acquisition des données)

Carte Vector25 (swisstopo) (= modèle paysager digitalisé)

Avantages:

- Fichier de données homogène
- Les données sont disponibles pour l'ensemble du territoire
- Représente l'ensemble de la surface agricole utile
- Bon réseau de cours d'eau et de routes, afin de délimiter les différentes surfaces
- Divers autres attributs déterminants pour l'érosion
  - o haies, arbres, cultures fruitières, vignes, réseau de chemins de fer, bâtiments isolés, marais, etc.

Inconvénients:

- La précision de 3-8m est un peu plus faible que celle des données de la mensuration officielle

En raison des avantages cités, la carte Vector25 a été choisie en tant qu'unité de calcul.

**3.1.1 Vector25**

La grille des parcelles (plan du bloc de champs) a été établie à partir de la carte Vector25. Le jeu de données Vector25 est le modèle numérique de paysage de la Suisse ; il est en principe établi à partir de la carte-pixel de la carte topographique au 1:25 000 (PK25) et des données évaluées sur le plan photogrammétrique. Il y a 9 niveaux thématiques :

<b>Réseau routier (STR)</b>	<b>Réseau de cours d'eau (GWN)</b>	<b>Haies et arbres (HEB)</b>
<b>Réseau de chemins de fer (EIS)</b>	<b>Surfaces primaires (PRI)</b>	<b>Aménagements (ANL)</b>
<b>Autre trafic (UVK)</b>	<b>Bâtiments (GEB)</b>	<b>Objets isolés (EOB)</b>

Ces niveaux ont des attributs différents, sous forme de lignes, de points ou de polygones, qui peuvent être utilisés dans le SIG.

Depuis la version 2007, GN25 est utilisé pour la mise à jour de la plupart des niveaux. GN25 est la mise à jour générale au 1:25 000 = données issues de la photogrammétrie. La LK25 continue à être utilisée pour le niveau « Haies et arbres » (HEB). Depuis la version 2008, on travaille en outre avec des orthoimages. Comme les mises à jour reposent sur l'actualisation de la carte topographique et sur les données photogrammétriques et que celles-ci sont complétées et renouvelées en permanence, la carte Vector est également mise à jour en continu par cycles de 6 ans (cf. fig. 3.1).

Depuis 2011, Vector25 est séparé du modèle topographique de paysage TLM. Ce modèle se fonde exclusivement sur des images aériennes (photogrammétrie numérique). La mise

à jour 2008 est donc la dernière pour le jeu de donnée Vector25. Lors d'une mise à jour, tous les niveaux d'une feuille sont actualisés. Cela a lieu dans l'ordre suivant PRI, GWN, STR, EOB, EIS, ANL, UVK, GEB et HEB (swisstopo – Vector25, version 2008).

En cas d'actualisation de la CDE2, il ne sera plus possible de compter sur une carte Vector25 à l'avenir ; le nouveau TLM devra être utilisé. Les différences entre TLM et Vector25 et les conséquences qui en résultent pour un nouveau calcul à l'aide d'AVErosion sont encore inconnues.

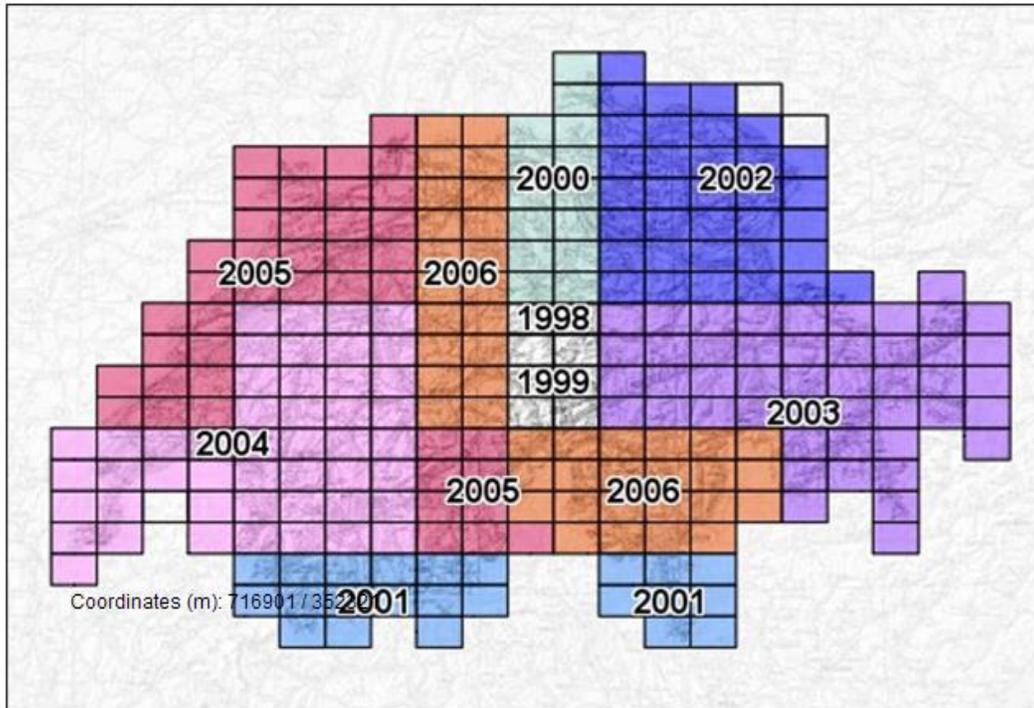


Fig. 3.1: Etat des mises à jour Vector25. Source : [http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/landscape/vector25\\_production.print.html#mapviewjump](http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/landscape/vector25_production.print.html#mapviewjump).

### **3.1.2 Zone de calcul**

Il a été décidé, d'entente avec le GT Sol, de calculer l'ensemble de la surface agricole utile (SAU) dans les zones de plaine, de collines et de montagnes I et II. Les zones de montagne III et IV, ainsi que la région d'estivage, les cultures fruitières, l'horticulture et les bandes tampon, sont exclues des calculs (fig. 3.2). Selon l'USP (2009), seulement 1480 ha ou 0,4 % de la totalité des terres assolées se trouvent dans les régions de montagne III et IV. Une part relativement faible (9 %) des terres assolées se trouvent dans les régions de montagne I et II. Deux cartes ont donc été réalisées (seulement la région de plaine, fig. 4.1a; région de plaine plus zones de montagne I et II, fig. 4.1b). **La région de plaine comprend les régions de plaine et des collines.**

### Délimitation de la zone de calcul au moyen des zones agricoles

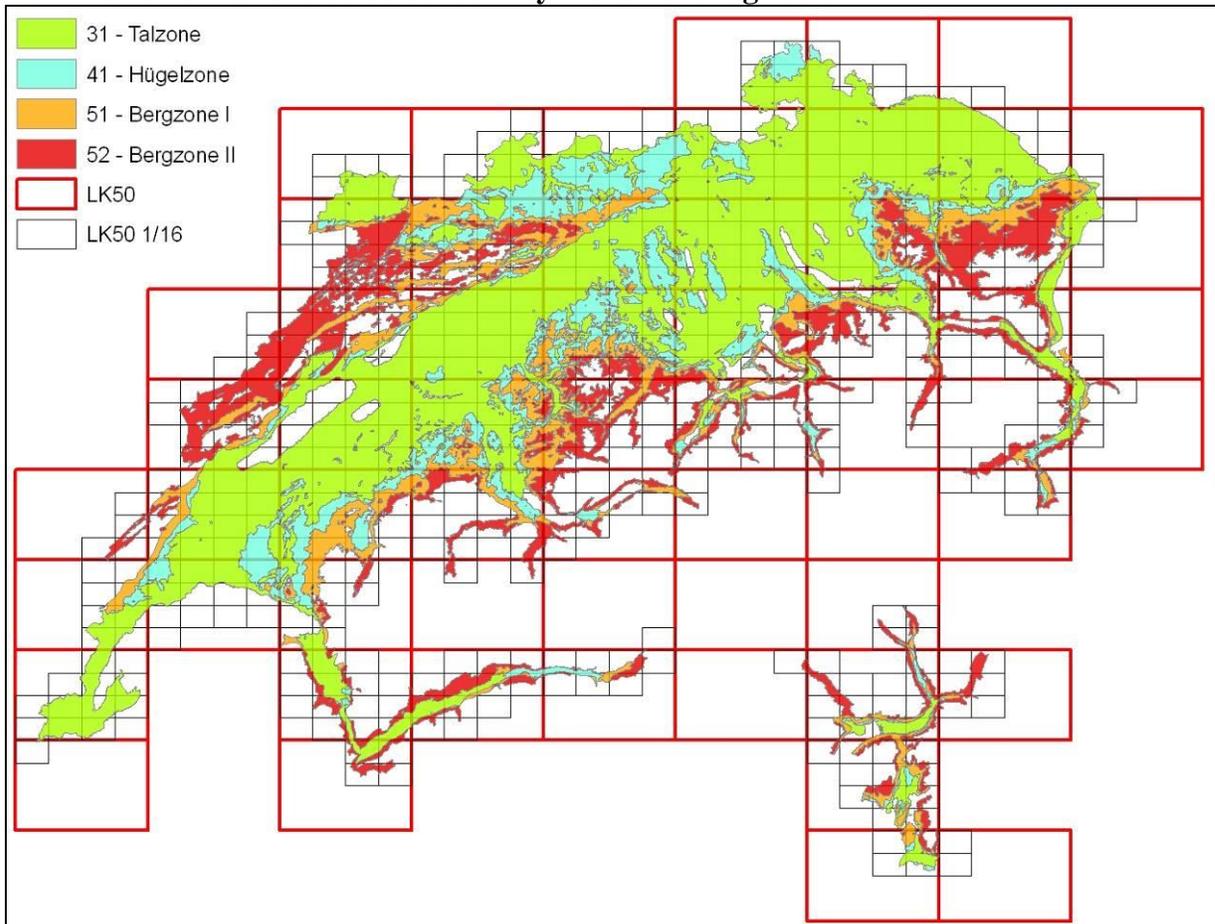


Fig. 3.2: Source : Zones agricoles et LK50 (swisstopo), document interne.

#### **3.1.3 Bloc de parcelles**

Le «bloc de champs» a été choisi comme unité de base. Cette unité est utilisée dans certaines parties de l'Allemagne (p. ex. Thüringen, Niedersachsen u.a.) comme unité de base pour le calcul de l'érosion. Comme le Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) établit également depuis longtemps leurs estimations du risque d'érosion à l'aide du programme AVErosion et utilise le bloc de champs comme unité de base, nous avons décidé d'employer la même unité dans ce projet.

La définition du gouvernement du Schleswig-Holstein est la suivante:

- ❖ *Un bloc de champs est une surface d'un seul tenant, utilisable pour l'agriculture, qui est entourée par des limites extérieures relativement stables et identifiables dans la nature (par exemple forêt, routes, surfaces construites, cours d'eau, talus, fossés).*
- ❖ *Un bloc de champs peut être exploité par un ou plusieurs agriculteurs.*

Un bloc de champs peut donc être constitué de plusieurs parcelles cultivées comme on en trouve dans un plan des parcelles (cf. fig. 3.3). Il peut être soumis à plusieurs types d'utilisation (terres ouvertes/herbages permanents/vigne ou diverses cultures des champs) et être exploité par plusieurs agriculteurs.



Fig. 3.3: Blocs de champs. Source : document interne, photographie aérienne © Google-Earth.

L'unité «Bloc de champs» représente un compromis avec le principe de la pente érodable, qui est important pour le calcul de l'érosion. Les limites de parcelles cultivées ne constituent généralement pas un obstacle durable et suffisant pour le ruissellement et l'érosion ; c'est pourquoi la pente érodable est calculée sur plusieurs parcelles cultivées pour l'ensemble de la pente. La forêt, les routes, les cours d'eau, etc. représentent en revanche des obstacles permanent et efficaces.

Un bloc de champs est ainsi une sorte de bassin d'alimentation hydrologique fermé, car tous les pixels dans le bloc de champs peuvent être liés ensemble sur le plan hydrologique (à condition que la pente le permette) et peuvent donc s'influencer mutuellement du point de vue de l'érosion. **Les autres blocs de champs ou surfaces en dehors d'un bloc de champs ne peuvent pas influencer les flux hydriques et l'érosion à l'intérieur du bloc de champs dans le modèle**, alors que dans la réalité cela est possible (cf. ch. 1.4). Les apports d'eau parasite ne sont donc pas possibles dans le modèle.

### **3.1.4 Etablissement d'un plan des blocs de champs**

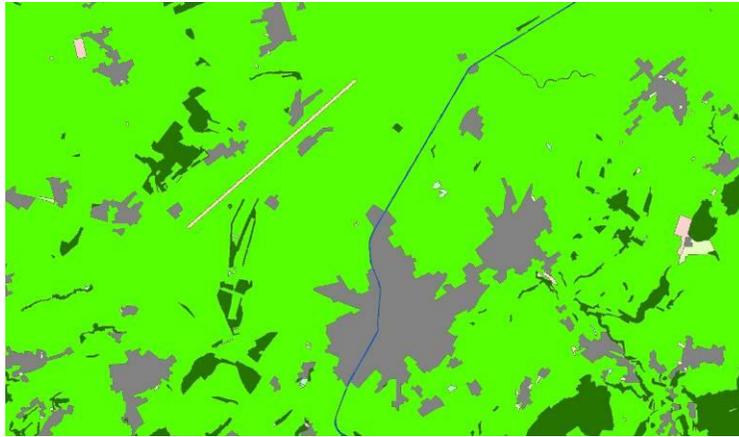
Afin d'établir un plan homogène pour les blocs de champs dans toute la Suisse sur la base de Vector25 (swisstopo), la procédure suivante a été employée (cf. annexe 5) :

- ❖ Les blocs de champs sont fondés sur les « surfaces primaires » de Vector25, qui indiquent la couverture topologique primaire du sol et constituent un réseau continu de surfaces sur l'ensemble de la Suisse (swisstopo 2007 - Vector25).
  - La catégorie « Z\_Uebrig » en a été tirée (surface exploitée à des fins agricoles au sens large).
  - La catégorie « Z\_Reben » a été ajoutée en tant que classe indépendante.
  
- ❖ Les différents objets qui délimitent les blocs de champs les uns par rapport aux autres sont ensuite ajoutés à cette base.
  - En font partie les routes, chemins, rivières, ruisseaux, lignes de chemins de fer, etc.
    - Comme ces objets linéaires n'ont pas de largeur définie dans Vector25, différentes largeurs leur ont été attribuées. Pour ce faire, on s'est fondé sur les dispositions légales, des comparaisons et des largeurs déjà attribuées dans un précédent projet (Erich Szerencsits, ART) (cf. annexe 5).
  
- ❖ Les bandes tampon ont en outre été ajoutées aux objets linéaires, là où ces bandes de protection étaient exigées par la loi, et aux objets polygones, p. ex. 3m autour des surfaces de forêt.
  - Les bandes tampon ont été fixées sur la base du document : Pufferstreifen – richtig messen und bewirtschaften (KIP & PIOCH 2009).
  - Ces surfaces ont également été comptabilisées sur la base des surfaces primaires (Z\_Uebrig, Z\_Reben).
  
- ❖ Les haies et les arbres isolés ont été retirés de la surface primaire avec un espace tampon.
  
- ❖ Les zones habitées, bâtiments et aménagements ont également été retirés, avec leur taille individuelle.
  
- ❖ Les cultures fruitières et les pépinières ont également été éliminées de la surface de calcul, bien qu'elles fassent partie de la SAU.
  - D'une part, il n'y a pas d'érosion dans ces surfaces.
  - D'autre part, on leur attribue un effet protecteur pour les champs suivants. Cet effet apparaît seulement dans la modélisation avec AVErosion lorsque ces champs sont supprimés (raccourcissement de la pente érodable).

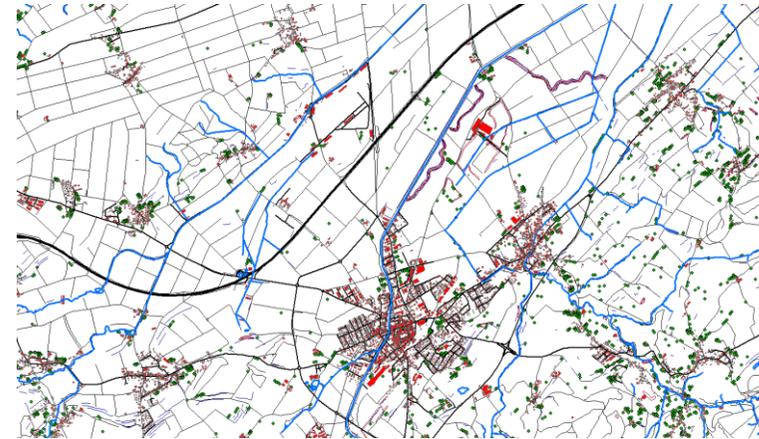
La fig. 3.4 à la page suivante contient une représentation schématique de ce processus. Les surfaces primaires sont découpées avec les objets linéaires et des objets polygones sélectionnés, avec leurs largeurs et espaces tampon correspondants<sup>2</sup>. Il reste un jeu de données qui peut être défini comme un plan des blocs de champs. Les blocs de champs ainsi créés sont des surfaces partielles clairement délimitées les unes par rapport aux autres. Elles servent de grille des parcelles pour les données de base dans AVErosion.

---

<sup>2</sup> L'annexe 5 contient une liste de tous les attributs utilisés et non utilisés de Vector25 et leurs largeurs et espaces tampon correspondants



Surfaces primaires – jeu de données polygone d'un seul tenant et sur l'ensemble des surfaces



Eléments linéaires et objets polygone avec leurs largeurs et espaces tampon correspondants



Carte des blocs de champs ainsi créée, après l'intégration de tous les attributs pertinents

Fig. 3.4: Représentation schématique de la création d'une carte des blocs de champs. Source : Carte Vector25 (swisstopo), document interne.

La surface qui reste à la fin de ce processus est la surface utilisée à des fins agricoles au sens large. La catégorie « Z\_Uebrig » comprend quelques zones qui ne peuvent pas être comptabilisées dans la SAU. Comme cela ne concerne qu'une petite partie des surfaces et que l'élimination de telles surfaces prendrait beaucoup de temps (comparaison avec les photos aériennes, etc.), ces zones se trouvent encore sur la carte des blocs de champs. L'utilisateur doit décider lui-même s'il veut prendre en compte de telles surfaces (p. ex. terrains de golf) pour ses recherches. Plusieurs exemples sont donnés ci-dessous, sans prétention d'exhaustivité (fig. 3.5 – 3.7). Les cas problématiques sont p. ex. les places de camping, les terrains de golf, les jardins familiaux, terrains de football, pistes de chars, etc.

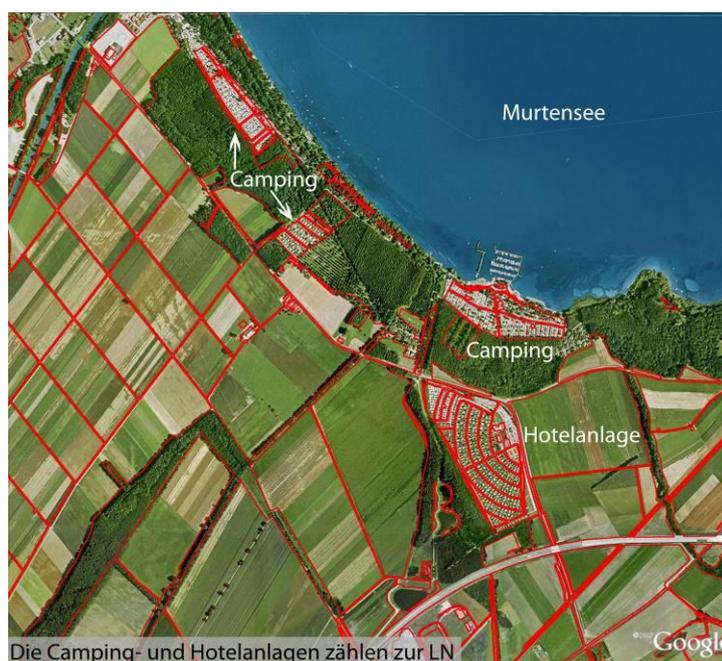


Fig. 3.5: Places de camping en tant que partie de la SAU. Source : Photo aérienne de Google-Earth, carte des blocs de champs de Vector25 (swisstopo), document interne.

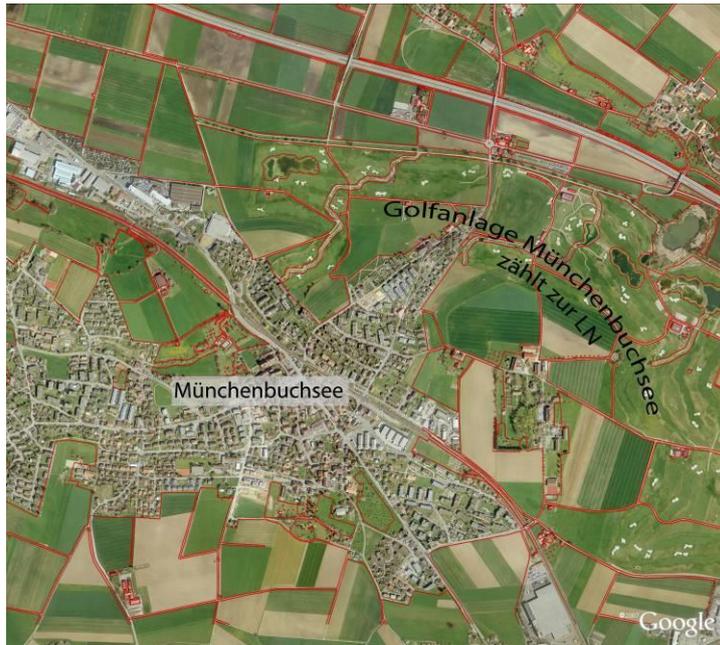


Fig. 3.6: Terrain de golf en tant que partie de la SAU. Source : Photo aérienne de Google-Earth, carte des blocs de champs de Vector25 (swisstopo), document interne.

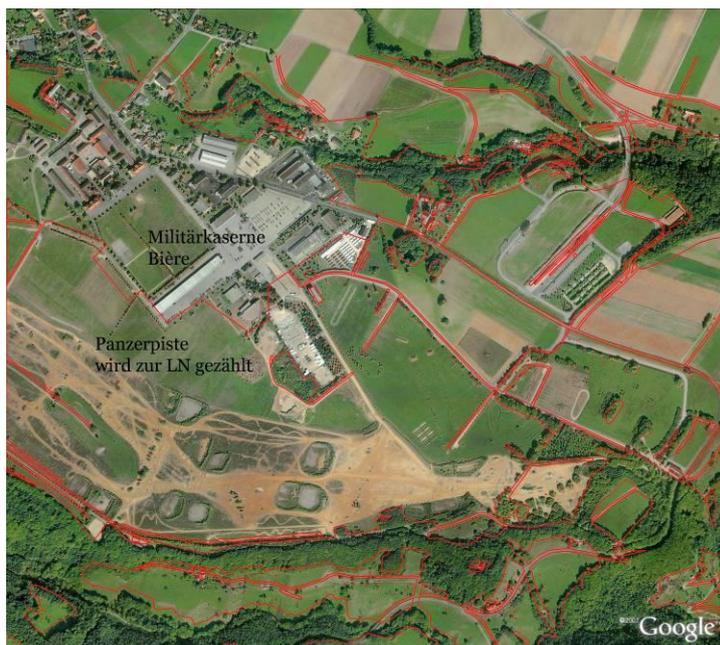


Fig. 3.7: Piste de chars en tant que partie de la SAU. Source : Photo aérienne de Google-Earth, carte des blocs de champs de Vector25 (swisstopo), document interne.

La décision d'utiliser Vector25 comme base et les blocs de champs comme unité de base est favorable aux surfaces périphériques. C'est pourquoi une grande partie des surfaces concernées (surtout en direction des Préalpes et du Jura) sont actuellement utilisées comme prairies ou pâturages et ne sont pas pertinentes pour les estimations actuelles concernant l'érosion. L'expérience acquise avec des cartes semblables montre cependant que la couverture complète d'une région est mieux appréciée dans la pratique qu'une carte trouée et non homogène, qui ne cherche qu'à décrire les surfaces vraiment pertinentes. Une délimitation trop stricte de

la surface ne tiendrait pas non plus compte de la conversion et de la réaffectation des terres agricoles, d'autant plus qu'une telle délimitation ne pourrait pas être réalisée actuellement de manière complète avec les données disponibles. La devise était donc : « mieux vaut calculer trop de surfaces que trop peu. » Les surfaces non pertinentes peuvent être éliminées après coup sans problèmes au moyen d'outils SIG à cet effet (cf. ch. 7.2).

**La taille minimale pour un bloc de champs a été fixée à 25 ares** (sauf pour la vigne). Les surfaces qui n'atteignent pas cette taille minimale sont éliminées et donc exclues du calcul. On a également essayé d'éliminer les blocs de champs extrêmement étroits qui résultent du recoupement des divers plans thématiques de Vector25 (de manière non exhaustive).

Les limites de la région de montagne III et les frontières du pays constituent une situation spéciale. Les blocs de champs ne se terminent pas automatiquement ces limites, mais les dépassent. Lorsque les données de bases étaient disponibles pour ces régions, un calcul était effectué à l'aide de AVErosion ; sinon, le bloc de champs était supprimé. Le tableau ci-dessous et le diagramme à la page suivante donnent un aperçu de la carte de blocs de champs.

#### Statistique des blocs de champs

Nombre de blocs de champs	<b>180'920</b>
Surface en ha	<b>905'876.88</b>
Surface en km <sup>2</sup>	<b>9'058.77</b>
Min en ha *	0.25
Max en ha	1'444.38
Moyenne en ha	5.01
Ecart type	10.94
Médiane	2.36

Tableau 3.1: Statistique des blocs de champs. Le tableau montre les données clé des blocs de champs. Ceux-ci représentent la surface agricole utile (SAU) pertinente pour la CRE2, et ainsi la zone à calculer. Source : document interne

\* La surface minimale se fonde sur la taille minimale fixée des blocs de champs de 25 ares. Certains blocs de la classe « Vigne » n'atteignent pas cette taille minimale. Ceux-ci ne sont pas pris en compte pour l'indication du minimum, mais ils le sont pour les autres valeurs.

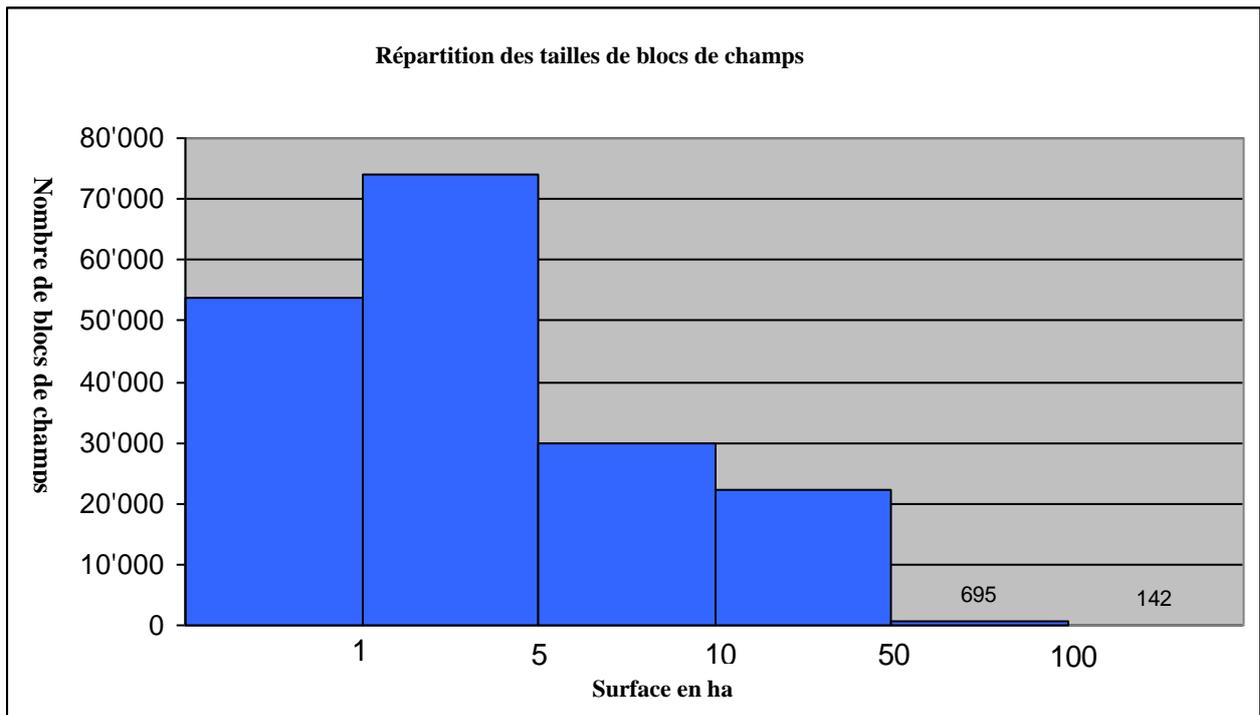


Fig. 3.8: Diagramme de la répartition des tailles de blocs de champs. Source : document interne

### **3.2 Modèle numérique de terrain DTM-AV**

Le DTM-AV est le modèle numérique de terrain de la Mensuration officielle (swisstopo). Il a été relevé entre 2000 et 2007 au moyen du « Airborne Laser Scanning » (scannage laser aérien).

**Un modèle de grille de 2x2 m** a été interpolé à partir des données brutes (données ponctuelles). Ce DTM-AVGRID2 a été utilisé dans le cadre de notre projet.

**La précision est de  $\pm 50$  cm dans les terrains ouverts** et de  $\pm 150$  cm dans les terrains construits ou couverts de végétation.

Le DTM-AV couvre l'ensemble de la Suisse jusqu'à une altitude de 2000 m. Les données ont été commandées sous forme de fichiers ASCII pour chaque feuille de cartes LK50 et ont servi de base pour le calcul du risque d'érosion ; elles ont également servi de directive pour la résolution des cartes qui en ont résulté (swisstopo 2007).

#### **3.2.1 Problèmes avec les modèles numériques de terrain**

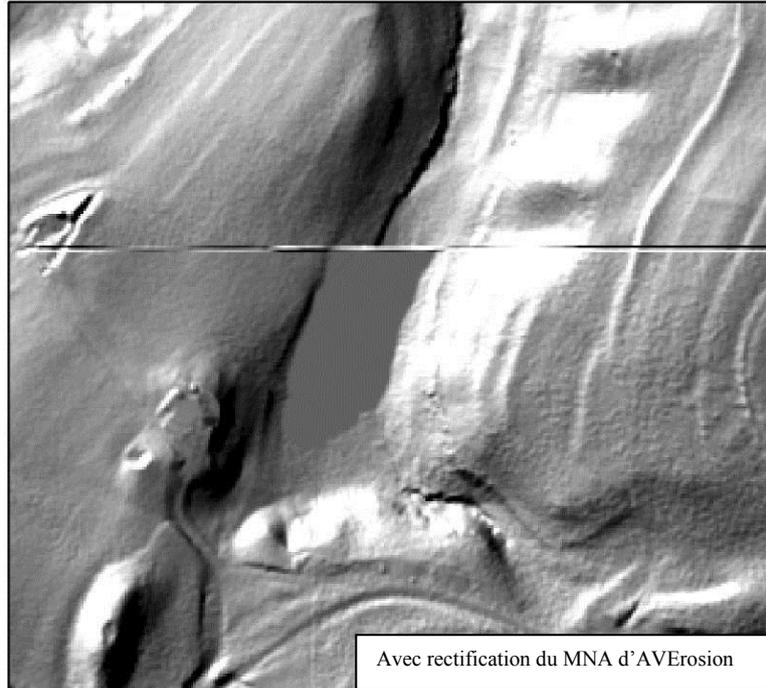
Le DTM-AV a servi de base pour les facteurs fondamentaux S et L, ainsi que pour le facteur de protection contre l'érosion P, qui joue un rôle secondaire dans le calcul du risque d'érosion et qui ne sera pas décrit plus avant ici. Le modèle de terrain détaillé offre la possibilité de reconnaître et de localiser sur la carte de petites structures d'érosion.

Malgré la grande précision du DTM-AV, il pose parfois des problèmes. Le jeu de données a été commandé chez Swisstopo et livré dans des carrés représentant 1/16 d'une feuille de cartes au 1:25 000. Pour en faciliter l'utilisation, 16 de ces carrés ont été placés en mosaïque sur une feuille de cartes. Lors des premiers tests avec le modèle de terrain et les calculs de l'érosion, on a constaté qu'il y avait parfois des erreurs aux bords de ces cartes, mais aussi dans certains cas aux bords des carrés 1/16. En analysant ces zones de plus près, il s'est avéré que la dernière rangée de pixels d'un carré ne correspondait pas toujours à la première rangée de pixels du carré suivant. Cela signifie que la transition d'un carré à l'autre n'était pas invisible ; il y avait donc une sorte de « fossé » ou de « barrage » dans ces zones (cf. fig. 3.9). Ces structures ont posé quelques problèmes lors des calculs de l'érosion. Une première étape pour calculer l'érosion dans AVErosion est la correction du modèle de terrain. Cette correction permet de garantir que le modèle est correct au plan hydrologique, c'est-à-dire qu'il ne contient plus de creux sans écoulement et que l'« eau virtuelle » peut s'écouler sans obstacles le long de la pente. En termes simples, cela signifie que les creux sont comblés et qu'une pente minimale est ensuite créée à ces endroits.

Dans le cadre de ce phénomène, les structures mentionnées occasionnent des problèmes à certaines limites de carrés. Si, par exemple, les rangées de pixels erronées créent une sorte de « barrage » dans le modèle de terrain, AVErosion le reconnaît et commence à remplir cette zone jusqu'au niveau du barrage. Un lac de retenue artificiel est ainsi créé. Celui-ci a également des conséquences sur les résultats du calcul de l'érosion (cf. fig. 3.9 et 3.10).

Il existe une deuxième possibilité d'erreur dans le cas d'un « fossé artificiel », créé par les rangées de pixels erronées dans le modèle de terrain. Ceux-ci fonctionnent comme un canal qui recueille et détourne l'eau jusqu'à un point situé plus bas que le canal, ce qui permet à l'eau virtuelle de s'écouler de nouveau. Ce phénomène a aussi des effets sur le calcul de l'érosion (fig. 3.11).

La limite des carrés est bien visible sous forme de lignes sur le hillshade. Il en résulte en partie une sorte de barrage qui, lors de la correction du modèle numérique d'altitude (MNA) conduit à la formation d'un lac de rétention parce que l'affaissement sans écoulement est plein



Le « lac de rétention » n'existait pas avant la rectification du MNA. Les lignes des limites des carrés sont toutefois bien visibles.

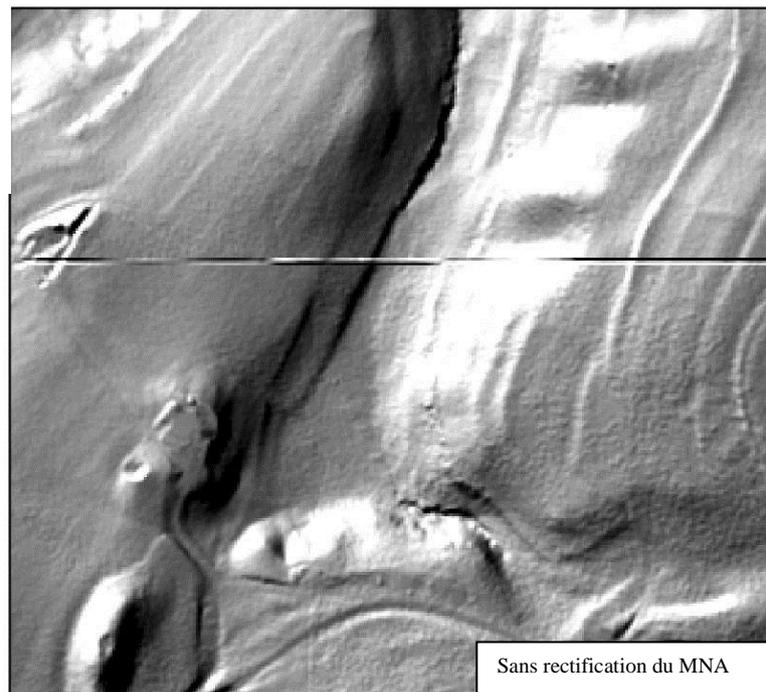
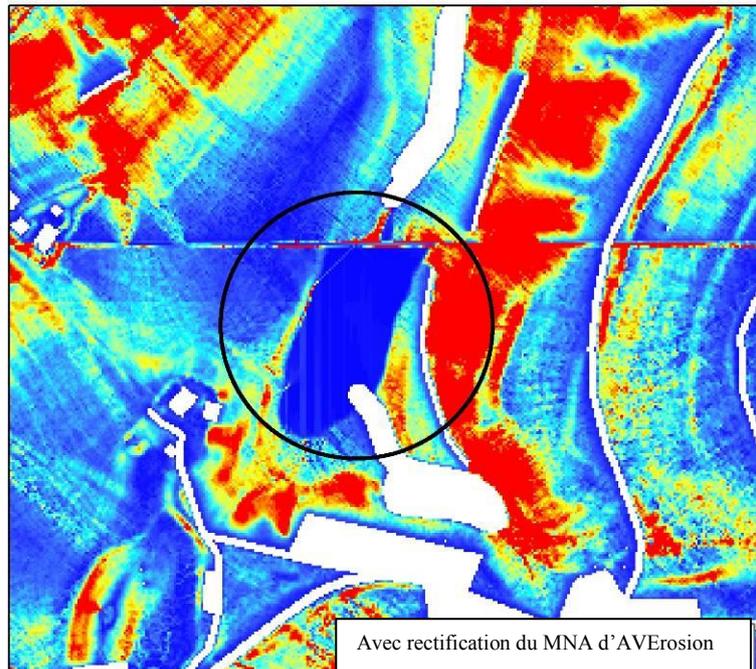


Fig. 3.9: Hillshade de la limite des feuilles de cartes 1204/1224 (LK25). Source : DTM-AV© swiss-topo, document appartenant aux auteurs.

La limite des carrés est bien visible sur la carte illustrant le risque d'érosion. Sur cette image, on voit les effets du «barrage artificiel» qui s'est constitué à la limite des feuilles de cartes. La rectification du MNA a conduit à la constitution d'un lac artificiel par remplissage de l'affaissement sans écoulement. Comme il n'y a guère lieu de s'attendre à une érosion sur une surface plane, la surface apparaît en bleu.



Cette image montre le risque d'érosion calculé sans rectification préalable du MNA. Les limites de carrés sont toujours visibles, mais le lac artificiel disparaît.

#### Risque d'érosion

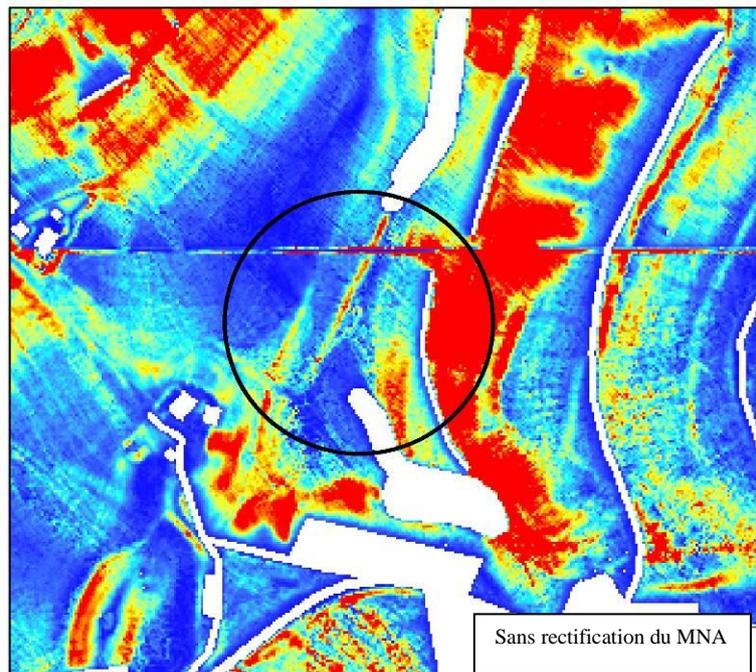
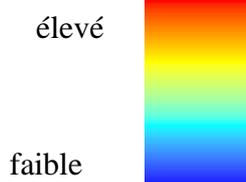


Fig. 3.10: Effets sur l'érosion des limites de carrés erronées dans le DTM-AV. Source : document interne. Facteurs utilisés: K et R (FRIEDLI 2006), DTM-AV © swisstopo.

Pour tenir compte de ces problèmes, un contact a été pris avec Swisstopo. La cause des erreurs dans les carrés est que des entreprises différentes disposant d'outils différents ont réalisé les travaux pendant le processus d'établissement des cartes (fig. 3.12). De telles erreurs apparaissent donc plus souvent là où deux étapes de la réalisation se rencontrent. Une autre source d'erreurs provient de l'ancien workflow lors de l'élaboration des carrés. Celui-ci se concentrait trop sur la conformité à l'intérieur d'une feuille de cartes (LK25) et trop peu sur la concordance avec les feuilles de cartes voisines. Comme certaines erreurs ont déjà eu lieu lors de la reprise de la valeur de base pour le modèle de terrain, car on a fait recours à des entreprises et à des outils différents, ces erreurs ne peuvent plus être corrigées. Cependant, Swisstopo a pu traiter les données pour minimiser les zones erronées à l'intérieur des carrés. L'ensemble du jeu de données révisé a été de nouveau commandé, cette fois sur la base des feuilles de cartes LK50. Il faut toutefois signaler qu'il y a toujours de telles erreurs dans le DTM-AVet qu'elles entravent également l'évaluation de l'érosion. Si des lignes apparemment absurdes sont présentes lors de l'examen des cartes, il s'agira peut-être de telles erreurs du modèle de terrain. Il convient d'utiliser les résultats dans ces domaines avec précaution<sup>3</sup>.

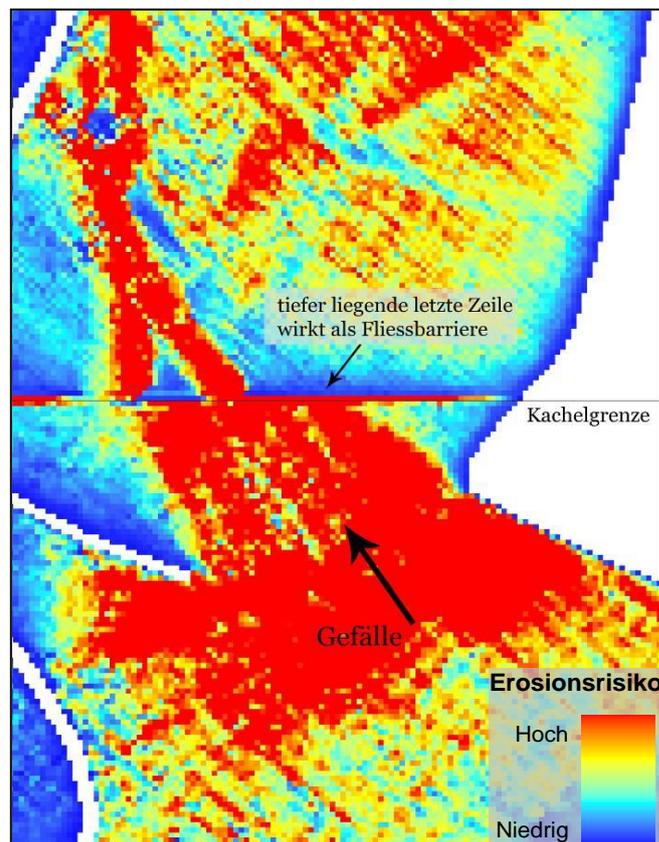


Fig. 3.11: Effets sur l'érosion des erreurs aux limites des carrés. Source : document interne

<sup>3</sup> Swisstopo prépare actuellement un nouveau modèle de terrain qui est produit dans l'ensemble de la Suisse sans bords de carrés. Cela permettra à l'avenir de résoudre la plupart des problèmes de ce genre.

Si l'on souhaite obtenir une modélisation correcte avec AVErosion pour ces surfaces, il faut prendre contact avec Swisstopo et déterminer si des données mises à jour sont disponibles. Il faut ensuite effectuer un nouveau calcul avec AVErosion – y compris la correction du modèle de terrain, ch. 3.2.2.

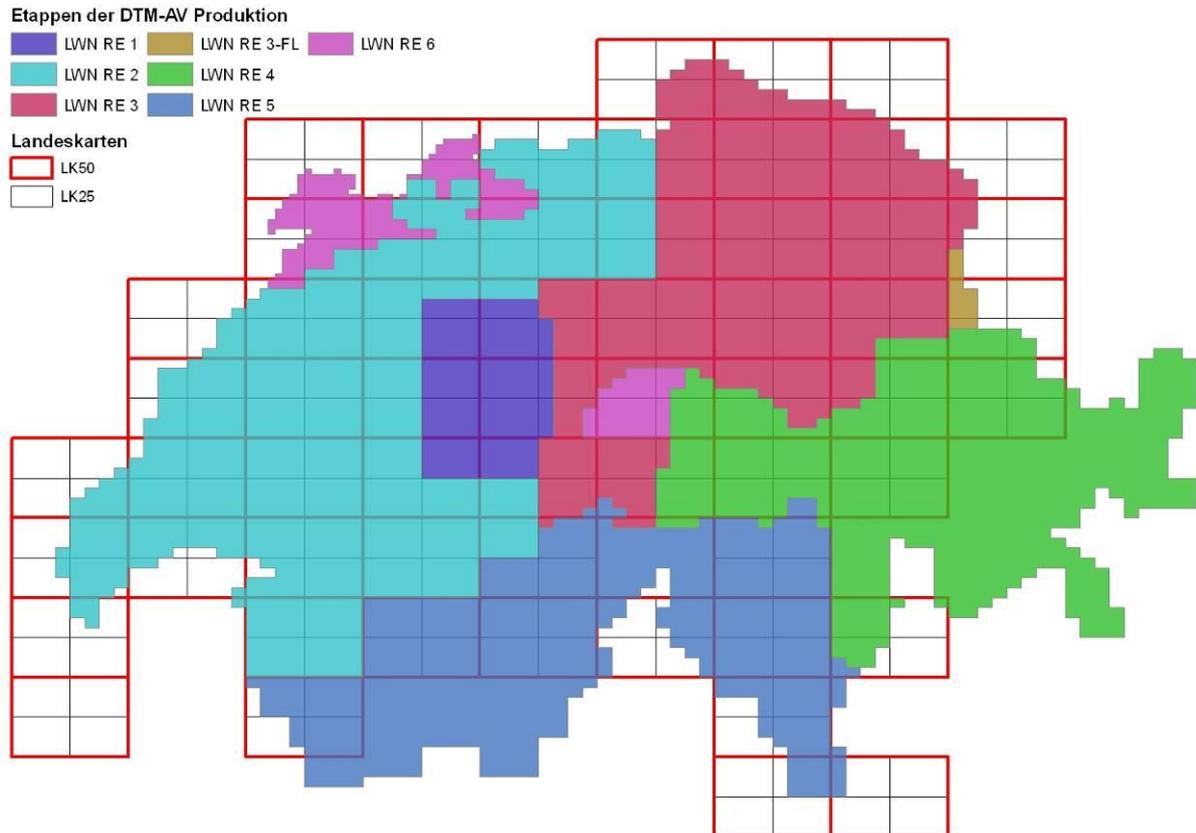


Fig. 3.12: Etapes de la réalisation DTM-AV(LWN RE1, LWN RE 2, LWN RE 3, LWN RE 3-FL, LWN RE 4, LWN RE5, LWN RE 6). Les feuilles de cartes LK50 et LK25 de la zone de calcul figurent à l'arrière plan. Les problèmes sont plus fréquents le long des limites d'étapes, mais il peut également y avoir des carrés erronés au niveau du raccords entre les feuilles de cartes. Source : geodata © swisstopo, document interne.

### 3.2.2 Correction du modèle de terrain

AVErosion effectue une vérification et une correction automatiques du modèle numérique de terrain. Cette correction permet de garantir que le modèle est correct au plan hydrologique, c'est-à-dire qu'il ne contient plus de creux sans écoulement et que l'« eau virtuelle » peut s'écouler sans obstacles le long de la pente. Le processus est le suivant : le creux est comblé et une pente minimale (**max. 0,002 %**) est ensuite créée à cet endroit (fig. 3.13).

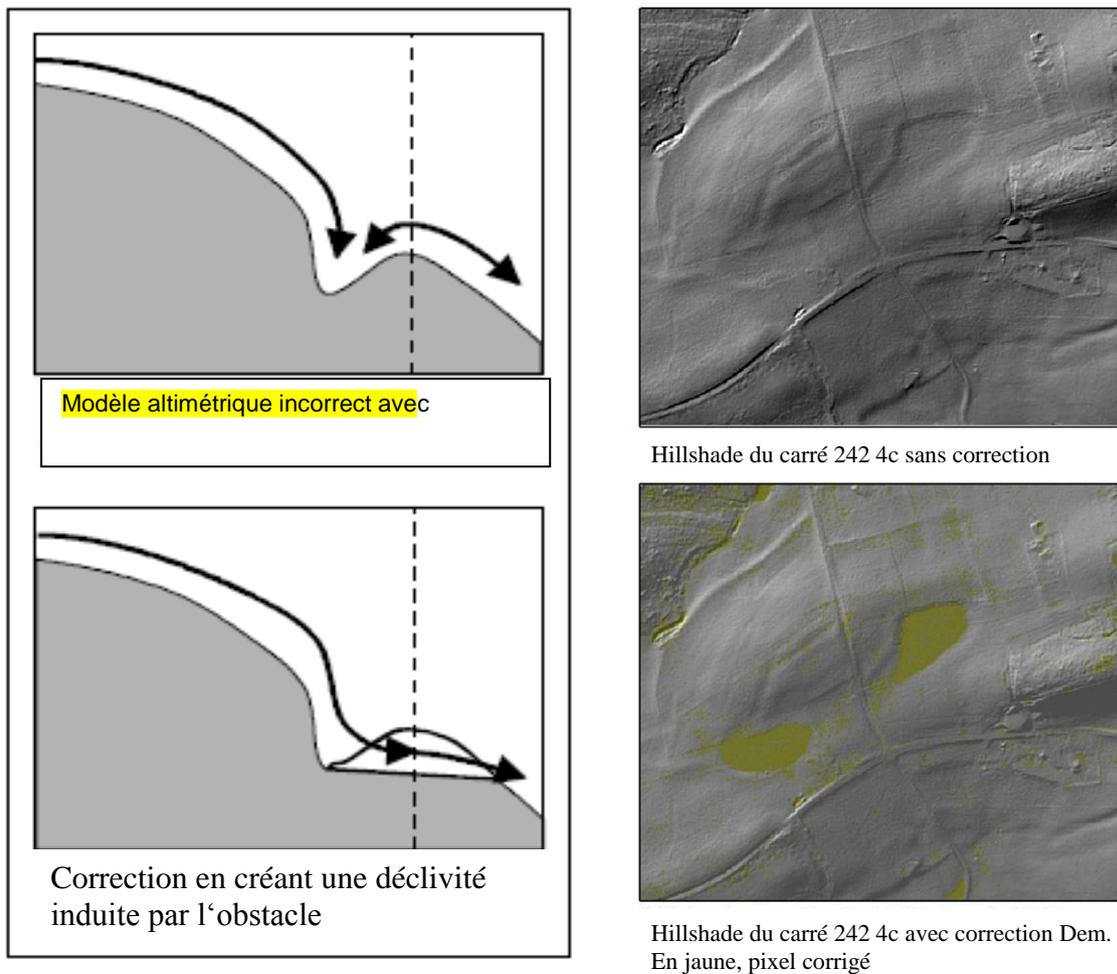


Fig. 3.13: Correction du modèle de terrain dans AVErosion. Source : à gauche: Schäuble (2005), à droite: document interne, avec Hillshade tiré de DTM-AV (swisstopo).

### **3.3 Données sur le sol**

Le facteur K décrit l'érodibilité ou la sensibilité à l'érosion du sol (PRASUHN & GRÜNING 2001). Selon WISCHMEIER & SMITH (1978), celui-ci dépend de cinq facteurs de la couche superficielle :

- % limon et sablon (0,002 – 0,1 mm)
- % sable à l'exception du sablon (0.1 mm)
- % substance organique (SO)
- Classe d'agrégat (A)
- Classe de perméabilité (D)

Des analyses de sol spéciales sont nécessaires pour obtenir les données indiquées pour chaque couche superficielle. Les classes de fraction du sol ne sont pas courantes en Suisse, et les données nécessaires sur les classes d'agrégats et de perméabilité ne sont pas non plus relevées en temps normal. C'est pourquoi il n'y a que peu de résultats d'analyses en Suisse sur le facteur K. Les données provenant de l'analyse de terrain PER seraient plus ou moins appropriées pour évaluer le facteur K sur le plan des parcelles ou des blocs de champs, mais elles ne sont pas disponibles au format numérique. C'est pourquoi il a fallu déterminer une procédure provisoire et recourir aux sources de données existantes. D'une part, la carte de facteur K de FRIEDLI (2006) et, d'autre part, quelques cartes du sol détaillées de certains cantons, dont on pouvait tirer des informations importantes pour déterminer la valeur K. Les différents jeux de données et méthodes utilisés sont brièvement expliqués ci-dessous.

#### **3.3.1 Carte d'aptitude des sols 1:200 000 - FRIEDLI (2006)**

La carte des facteurs K de FRIEDLI (2006), portant sur l'ensemble de la Suisse, a servi de base pour la carte matricielle des facteurs K. Cette carte subdivisée par hectares est disponible pour l'ensemble de la Suisse. Elle montre l'érodibilité des différents types de sols, répartis en cinq classes de facteur K. **Cette carte est fondée sur la carte numérique d'aptitude des sols de Suisse au 1:200 000 BEK200**, complétée à l'aide de la carte des sols au 1:25 000. A partir des descriptions de ces cartes, les types de sol ont été répartis en diverses classes d'érodibilité du sol à l'aide de caractéristiques telles que « pierrosité », « élément de forme du paysage », « teneur en eau », et données sur la texture. Une valeur moyenne de facteur K est alors attribuée à ces classes ; cette valeur constitue la base de la carte matricielle. Celle-ci comporte un éventail de facteurs K allant de 0,15 à 0,55 (cf. tableau 3.2). De plus amples informations sur l'établissement de la carte et une illustration se trouvent dans FRIEDLI (2006:32ss) et PRASUHN et al. (2010). Le classement en cinq classes, dans un premier temps seulement qualitatif, a eu lieu sur la base de descriptions des différents unités cartographiques dans le tableau d'attributs appartenant à la carte et sur la base du savoir-faire d'experts. La conversion en valeurs quantitatives, nécessaire pour le calcul du modèle, est incertaine et doit être considérée avec prudence. La procédure choisie paraît donc justifiée, car le facteur K est relativement moins sensible dans le cadre du modèle. Cela signifie qu'une modification de la hauteur du facteur K n'a qu'une influence relativement limitée sur la quantité de perte calculée. La résolution dans l'espace de la BEK200 est, par la force des choses, mauvaise à cette petite échelle.

C'est pourquoi le facteur K dérivé de la BEK200 a la plus mauvaise résolution de tous les facteurs de modèle utilisés. Outre la faible résolution dans l'espace, la détermination quantitative est également incertaine, en raison de lacunes dans les données ; c'est pourquoi le facteur K présente les imprécisions et incertitudes les plus importantes.

Classe qualitative	Domaine Données ( $\text{kg}\cdot\text{h}\cdot\text{N}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ )	Moyenne ( $\text{kg}\cdot\text{h}\cdot\text{N}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ )
très faible	0.11 – 0.20	0.15
faible	0.21 – 0.30	0.25
moyenne	0.31 – 0.40	0.35
élevée	0.41 – 0.50	0.45
très élevée	0.51 – 0.60	0.55

Tableau 3.2: Facteurs K utilisés pour les classes de sensibilité à l'érosion. Source : d'après FRIEDLI (2006)

### **3.3.2 Cartes détaillées des sols cantonales**

Comme les informations contenues dans une carte au 1:200 000 sont très abstraites en comparaison avec la réalité, d'autres cartes du sol détaillées ont été cherchées en complément pour ce projet. Certains cantons ont établi des cartes du sol à des échelles allant de 1:5 000 à 1:50 000 au format numérique. D'entente avec les cantons, ces cartes ont pu être utilisées pour le projet. Afin de convertir les informations de ces cartes en un facteur K quantifiable, la procédure suivante a été choisie :

En Allemagne, la norme DIN 19708 régit la manière dont le facteur K est déterminé à partir de données sur le sol, sans devoir effectuer d'analyses spéciales coûteuses. Le calcul du facteur K se fonde selon cette norme sur les données concernant la texture ( $K_b$ , granulométrie fine), pierrosité ( $K_s$ ) et teneur en humus ( $K_h$ ). Ces trois facteurs sont multipliés ensemble et le résultat indique le facteur d'érodibilité (facteur K) pour un sol donné ( $K = K_b \cdot K_h \cdot K_s$ ). Ces trois données ont été cherchées dans les cartes numériques des sols cantonales et les valeurs chiffrées correspondantes leur ont été attribuées au moyen des tableaux de valeurs de la norme DIN 19708.

#### Texture ( $K_b$ , granulométrie fine)

La classification suisse de la texture du sol attribue à chaque sol, selon sa composition en argile, limon et sable, un type de sol parmi 10 (anciennes cartes des sols) ou 13. La classification allemande est nettement plus différenciée, avec un nombre de types de sols beaucoup plus important (40) (cf. tableaux 3.3, 3.4 et fig. 3.14). Il a donc fallu relier aussi bien que possible la classification suisse à la classification allemande à l'aide des relations de granulométrie (part d'argile, de limon, de sable ; fig. 3.14). La valeur  $K_b$  correspondant à chacun des 10 ou 13 types de sol a ensuite été reprise à partir des tableaux DIN 19708. Lorsqu'il y avait des formes mixtes dans les données sur le sol (p. ex. glaise sablonneuse), les deux valeurs ont été compensées selon la proportion 60:40 et la valeur chiffrée qui en résultait a été utilisée. La valeur  $K_b$  sert de base pour le calcul du facteur K et constituait l'exigence minimale pour les cartes du sol numériques. Si cette valeur n'existait pas, la carte ne pouvait pas être utilisée.

Bodenart	Kb	Bodenart	Kb	Bodenart	Kb	Bodenart	Kb
Ss	0,13	Uu	0,71	Lt2	0,26	Tu2	0,14
Su2	0,23	Us	0,63	Lt3	0,21	Tu3	0,32
Su3	0,35	Uls	0,50	Tu3	0,32	ffS	0,74
Su4	0,45	Ut2	0,61	Lts	0,15	fS	0,34
Slu	0,40	Ut3	0,56	Ts2	0,04	fSms	0,25
Sl2	0,21	Ut4	0,53	Ts3	0,06	fSgs	0,25
Sl3	0,26	Ls2	0,35	Ts4	0,08	mS	0,07
Sl4	0,24	Ls3	0,28	Tl	0,09	mSfs	0,16
St2	0,11	Ls4	0,19	Tt	0,02	mSgs	0,07
St3	0,10	Lu	0,41	Tu4	0,45	gS	0,07

Klassen der Feinerdekörnung

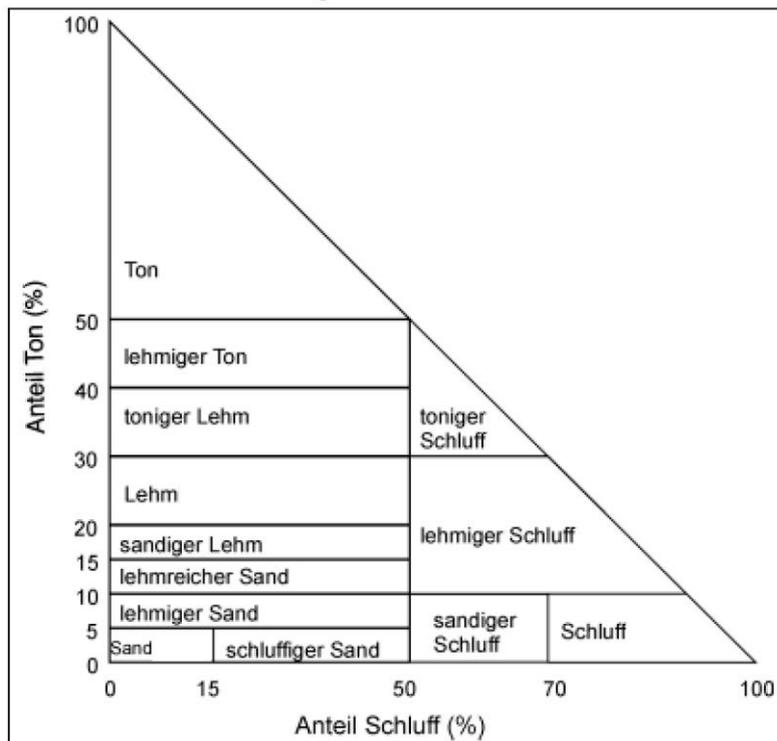


Fig. 3.14: Haut : classification allemande des types de sol avec leurs valeurs Kb respectives (source : DIN 19708, 2005). Bas : classes de granulométrie fine. Les valeurs de facteur K ont dû être attribuées à ces 13 classes à l'aide de ce tableau. Source : Station fédérale de recherches en agroécologie et agriculture, Zurich-Reckenholz. Classification des sols (2002).

N°	Type de sol	Argile	Limon	Facteur K
9	T	>50	<50	0.06
8	IT	50-40	<50	0.09
1	S	<5	>15	0.13
3	IS	10-5	<50	0.18
7	tL	40-30	<50	0.20
4	IrS	15-10	<50	0.24
6	L	30-20	<50	0.25
13	tU	50-30	>50	0.25
5	sL	20-15	<50	0.30
2	uS	<5	15-50	0.35
12	IU	30-10	>50	0.50
10	sU	<10	50-70	0.60
11	U	<10	>70	0.70

Tableau 3.3: type de sol et valeurs de facteur K, par analogie avec la norme DIN 19708. (V. Prasuhn, ART). Répartition des valeurs de facteur K de la CRE2, sur la base de la répartition allemande et de la classification suisse des sols.

### Pierrosité (Ks)

En ce qui concerne la pierrosité, on a employé une procédure semblable à celle utilisée pour la texture. La pierrosité est répartie en 4 ou 10 classes dans la plupart des cartes des sols des cantons. Ces classes sont basées sur les données concernant la part du volume en % de la part en sol grossier. Les valeurs DIN 19708 (tableau 3.4) peuvent donc être attribuées à ces classes et la valeur Ks correspondant peut être reprise. La valeur Ks est un facteur de correction qui renforce ou diminue l'érodibilité d'un sol en fonction de sa pierrosité. Plus la pierrosité d'un sol est importante, plus la vulnérabilité du sol à l'érosion due à l'eau est faible et, par conséquent, plus sa valeur Ks est basse. Les formes mixtes entre deux classes sont également indiquées ici avec la pondération 60:40 (60 % première classe, 40 % deuxième classe).

Grobbodenanteil des Oberbodens		Grobdodenbedeckung	Ks
Volumenanteil in %	Kurzzeichen	Flächenanteil in %	
< 2	x1, g1, gr1	< 2	1,00
2 bis < 10	x2, g2, gr2	2 bis < 10	0,87
10 bis < 25	x3, g3, gr3	10 bis < 25	0,64
25 bis > 50	x4, g4, gr4	25 bis > 50	0,39
50 bis < 75	x5, g5, gr5	50 bis < 75	0,19
>= 75	X, G, Gr	>= 75	0,10

Tableau 3.4: répartition allemande de la pierrosité de la couche superficielle. Ce tableau a servi de base pour la répartition des données de pierrosité dans les cartes cantonales des sols.  
**Source : DIN 19708 (2005).**

Vol%	Code	Facteur de correction
<5	0	1
5-10	1	0.87
10-20	2	0.64
10-20	3	0.64
20-30	4	0.39
20-30	5	0.39
30-50	6	0.39
30-50	7	0.39
>50	8	0.19
>50	9	0.19

Tableau 3.5: pierrosité et facteur de correction y relatif. Résultat de la pierrosité établi à l'aide de la répartition allemande selon DIN 19708. Source : V. Prasuhn, ART

### Teneur en humus (Kh)

Dans la plupart des cartes des sols, la teneur en humus est indiquée par des valeurs numériques relatives à la part en masse en %. Comme pour la pierrosité, ces données sont pondérées à l'aide des valeurs de la norme DIN 19708 (tableau 3.6) et la valeur Kh correspondante leur est attribuée. La valeur Kh est également un facteur de correction qui augmente ou réduit le facteur K en fonction de la teneur en humus de la couche superficielle.

Humusgehalt		Kh
Massenanteil in %	Kurzzeichen	
< 1	h1	1,15
1 bis < 2	h2	1,05
2 bis < 4	h3	0,90
4 bis >= 15	h4 bis h5	0,80
Anm.: Kh ist nicht definiert für Humusgehalte von > 15 % (h6 und h7)		

Tableau 3.6: répartition allemande de la teneur en humus. Ce tableau a servi de base pour la répartition des données sur la teneur en humus dans les cartes cantonales des sols. **Source : DIN 19708 (2005).**

### **3.3.3 Carte matricielle des facteurs K**

Après l'attribution des valeurs K aux informations de la carte des sols selon la norme DIN 19708, celles-ci sont calculées ensemble ( $K = K_b * K_s * K_h$ ). Si des données concernant la composition granulométrique, la pierrosité et la teneur en humus étaient disponibles pour un deuxième élément du complexe pédologique, ces valeurs ont été prises en compte sans le premier élément du complexe pédologique dans une proportion de 60:40, dans la mesure où aucune autre pondération n'était indiquée dans la carte des sols. Les facteurs K ont alors été attribués à chaque polygone de la carte numérique des sols à l'aide d'un numéro d'identification correspondant et une grille d'une résolution de 2x2m a été établie sur cette base. L'exactitude de la carte est cependant toujours basée sur l'échelle de départ de la carte des sols utilisée. Après que cela a été fait pour toutes les cartes des sols disponibles, la carte

de base du facteur K de FRIEDLI (2006) a été découpée à l'aide de ces nouvelles cartes des facteurs K détaillées des différents cantons. Il en a résulté un jeu de données sans lacunes sur l'ensemble de la Suisse pour le facteur K qui utilise les données de base les plus précises à disposition.

La figure 3.15 donne un aperçu des données sur le sol à l'échelle correspondante. Là où il n'y a pas de données sur le sol, la carte de base BEK200 est utilisée.

**Les cantons suivants ont fourni des données sur le sol (souvent non exhaustives) :**

**1:5 000: AG, BL, BS, GL, LU, SO, ZG, ZH**

**1:10 000: LU, SG**

**1:25'000: LU**

**1:50'000: TG, GE**

Il existe une nouvelle carte du sol de la vallée du Rhône (VS), mais elle n'a pas encore pu être mise à disposition. Des cartes du sol numériques au 1:25 000 existent pour le canton de Vaud, mais elles n'étaient pas encore prêtes à être livrées sous une forme adaptée pour le projet. Divers cantons disposent de cartes du sol numériques qui ne sont pas vectorisées ou ne contiennent pas les paramètres requis dans le tableau d'attributs associé.

Le tableau ci-dessous montre la surface totale des données sur le sol des différents cantons à l'échelle correspondante, la surface concernée qui se trouve dans une zone que nous devons calculer (SAU) et la part de l'ensemble de la surface agricole utile qui est pertinente pour le projet. On constate ainsi qu'environ un quart de la surface que nous avons calculée est couverte par des données cantonales sur le sol et que les données de base disponibles sont meilleures que celle de la carte de FRIEDLI (2006) à l'échelle 1:200 000.

Canton	Echelle	Surface des données sur le sol	Surface dans le périmètre des blocs de champs (SAU*)		Part de la SAU** totale en %
		en ha	en ha	en km <sup>2</sup>	
AG	5'000	1'683	1'428	14.28	0.2
BL/BS	5'000	21'732	17'890	178.90	2.0
GL	5'000	990	990	9.91	0.1
LU	5'000	5'809	4'011	40.12	0.5
SO	5'000	18'473	9'020	90.20	1.0
ZG	5'000	10'580	8'782	87.82	1.0
ZH	5'000	76'058	64'080	640.80	7.2
<b>Total 5'000</b>		<b>135'329</b>	<b>106'203</b>	<b>1'062.04</b>	<b>12.0</b>
LU	10'000	4'611	3'925	39.26	0.4
SG	10'000	45'761	35'469	354.69	4.0
<b>Total 10'000</b>		<b>50'373</b>	<b>39'395</b>	<b>393.95</b>	<b>4.4</b>
LU	25'000	27'928	17'307	173.07	2.0
TG	50'000	66'087	44'396	443.97	5.0
GE	50'000	17'268	11'261	112.61	1.3
<b>Total 25'000 et 50'000</b>		<b>111'284</b>	<b>72'965</b>	<b>729.66</b>	<b>8.3</b>
<b>Total</b>		<b>296'987</b>	<b>218'564</b>	<b>2'185.65</b>	<b>24.7</b>
<b>Total de la</b>			<b>886'661</b>	<b>8'866.61</b>	

#### **SAU\***

Tableau 3.7: évaluation statistique des données sur le sol. Source : document interne.

\*la « SAU » se réfère à la surface agricole utile pertinente pour le projet.

\*\*les données sont calculées à partir de la surface des données sur le sol dans la SAU.



## 4. RÉSULTATS

Une carte est élaborée sur la base des résultats des calculs effectués par le modèle AVErosion. Elle représente le risque potentiel d'érosion en tant que perte de sol annuelle moyenne à long terme exprimée en t/(ha\*a). Les valeurs modélisées sont toutes beaucoup plus élevées (environ d'un facteur 10) que les valeurs réelles, du fait que le travail du sol et le mode d'exploitation du sol (facteur C) ont été factorisés et intégrés dans le calcul en tant que constante de valeur 1. Il a donc fallu fixer des limites afin de classer les résultats dans des fourchettes et établir une échelle de risque. In Allemagne, l'ordonnance « Direktzahlungen-Verpflichtungenverordnung (DirektZahlVerpflV) » du 4 novembre 2004 (dernière modification en date du 20 avril 2010) (<http://www.gesetze-im-internet.de/direktzahlverpflv/BJNR277800004.html> - F07771814\_03#F07771814\_03) fixe des dispositions en matière de protection des sols contre l'érosion par l'eau dans le cadre de l'éco-conditionnalité<sup>4</sup>. Etant donné que la Suisse ne dispose pas d'autres bases scientifiques pour fixer ces limites, elle a repris les valeurs de tolérance établies par l'Allemagne pour procéder à la classification des risques. L'ordonnance allemande est en vigueur le 1<sup>er</sup> juillet 2010. Un exemple de mise en application dans le Land du Bade-Wurtemberg est décrit dans la Gesetzblatt {sorte de « feuille officielle »}(GBI Nr 9, 22. Juni 2010) relative à l'ordonnance du ministère de l'espace rural, de l'alimentation et de la protection des consommateurs sur la répartition des surfaces agricoles selon le degré de risque d'érosion (Erosionsschutzverordnung – ErosionsSchV) du 29 mai 2010 (en langue allemande).

Classe de risque d'érosion hydrique	Description	$K * S$ <sup>1)</sup>	$K * S * R$ <sup>2)</sup>	$K * S * R * L$ <sup>3)</sup>
1	2	3	4	5
$CC_{Wasser1}$	Risque d'érosion	0,3 – < 0,55	15 – < 27,5	30 – < 55
$CC_{Wasser2}$	Risque d'érosion élevé	$\geq 0,55$	$\geq 27,5$	$\geq 55$

Tableau 4.1: Classes de risque d'érosion hydrique en Allemagne Source : DirektzahlVerpflV (obligations à remplir pour les paiements directs) du 20 avril 2010, annexe 1

- 1) Détermination du risque potentiel d'érosion hydrique (en fonction de la topographie) selon la norme DIN 19708 (Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG, DIN – Deutsches Institut für Normung e. V., Februar 2005). La norme DIN est publiée aux Editions Beuth Berlin.
- 2) L'utilisation du facteur R Erosivité des pluies est optionnelle. Ce facteur doit être calculé et utilisé en fonction du type de région, conformément à la DIN 19708, section 4.2 et tableau C.1.
- 3) L'utilisation du facteur Longueur de la pente est optionnelle. Ce facteur doit être calculé en fonction du site, conformément à la DIN 19708, section 4.5.

<sup>4</sup> « L'écoconditionnalité est un mécanisme qui subordonne les paiements directs au respect par les agriculteurs de normes de base concernant l'environnement, la sécurité alimentaire, la santé animale et végétale, le bien-être des animaux et le maintien des terres dans de bonnes conditions agricoles et environnementales ». (Commission européenne – Agriculture et développement rural)

Les classes de risque d'érosion hydrique ( $CC_{\text{Wasser}}$ ) sont répertoriées et expliquées à l'annexe 1 de l'ordonnance susmentionnée (DirektZahlVerpflV) du 20 avril 2010 (en allemand seulement). La répartition des parcelles cultivées entre les différentes classes est effectuée sur la base de l'évaluation du risque de pertes de sol. Les valeurs de tolérance correspondant à une classe sont indiquées pour chacun des facteurs utilisés: Inclinaison de la pente (S), Longueur de la pente (L), Sensibilité du sol à l'érosion (K) et Erosivité des pluies (R). Le tableau 4.1 indique les classes de risque d'érosion hydrique ( $CC_{\text{Wasser}}$ ).

Les critères minimaux dont une évaluation du risque d'érosion d'une surface donnée doit rendre compte sont par conséquent la sensibilité du sol à l'érosion (facteur K) et l'inclinaison de la pente (facteur S). Ils peuvent être complétés par le facteur R (érosivité des pluies) et le facteur L (longueur de la pente). Etant donné que dans le présent projet, tous les facteurs de risque ont été relevés et intégrés au calcul du risque d'érosion, on a utilisé les fourchettes de valeurs indiquées dans la colonne 5 pour procéder à la répartition en classes de risque. C'est donc la répartition figurant au tableau 4.2. de l'ordonnance allemande qui est appliquée dans le cas du projet (carte CRE2).

#### Répartition en classes de risque

1	Pas de risque d'érosion	0 – 30
2	Risque d'érosion	30 – 55
3	Risque d'érosion élevé	> 55

Tableau 4.2: Répartition par classe de risque sur la base du produit des facteurs  $K*S*R*L$ . Source : Représentation personnelle selon ordonnance allemande du 20 avril 2010 sur les obligations à remplir pour les paiements directs, annexe 1

#### Carte du risque d'érosion de la surface agricole utile de la Suisse (CRE2)

Les cartes des pages suivantes (fig. 4.1a et 4.1b) montrent une vue d'ensemble à l'échelle du territoire du risque potentiel d'érosion modélisé de la surface agricole utile de la Suisse. Sur ces cartes, le risque d'érosion est représenté selon un système de 9 classes établi en fonction de la perte potentielle moyenne de sol à long terme, exprimée en  $t/(ha*a)$ . Une couleur a été attribuée à chacune des classes de risque définies plus haut : vert pour le niveau de risque 1, jaune pour le niveau 2 et rouge pour le niveau 3. La figure 4.1a représente la CRE2 pour la région de plaine (= zone de plaine et des collines) et la figure 4.1b, la région de plaine et les zones de montagnes 1 et 2.

	Terres ouvertes (ha)	Prairies artifi- cielles(ha)	Vignes (ha)	Total (ha)	% du total
Plaine et région des collines	261'979	104'664	10'924	377'567	90
Zones de mon- tagne 1+2	13'034	24'057	2'034	39'125	9

Zones de montagne 3+4	389	1'091	126	1'606	0,4
<b>Total</b>	<b>275'402</b>	<b>129'812</b>	<b>13'084</b>	<b>418'298</b>	

Tab. 4.3: Répartition des terres ouvertes, des prairies artificielles et des vignobles sur les zones agricoles en 2009. Source :

USP 2009

#### **CRE2 pour la région de plaine (zone de plaine et de collines)**

Sur la carte représentée à la figure 4.1a, la surface calculée est limitée à la surface agricole utile de la région de plaine en Suisse, autrement dit, sans les régions de montagne I, II, III, IV, les zones d'estivage, les cultures fruitières, l'horticulture et les bordures tampons. **Près de 90 % des grandes cultures et des surfaces viticoles de la Suisse se trouvent dans la région de plaine qui couvre 377 567 ha** (tab. 4.3). La surface totale calculée représentée sur la CRE2 s'élève à 606 715 ha<sup>5</sup>, soit environ 57 % de la surface agricole utile de la Suisse (1 055 684 ha). **Toutefois, seulement 62 % environ de la surface représentée sur la CRE2 (région de plaine) correspondent à des zones de grandes cultures et de vignobles ; 38 % correspondent à des herbages permanents.** En regardant la carte plus en détail, on s'aperçoit qu'une grande partie des surfaces sur lesquelles le risque d'érosion est élevé se situe en bordure de la zone de montagne. Or, c'est justement à cette altitude que se situent le plus souvent les herbages permanents.

#### **CRE2 de la région de plaine, zones de montagne 1 et 2 incluses**

La surface calculée représentée sur la carte 4.1b englobe, outre la surface représentée sur la carte 4.1a, 280 428 ha situés dans les zones de montagne 1 et 2. **Il s'agit là principalement d'herbages permanents.** 39 125 ha seulement de la surface calculée, soit 14 %, correspondent à des grandes cultures ou à des surfaces viticoles (tab. 4.3). La surface totale calculée représentée sur la CRE2 (zones de montagne 1 et 2 incluses) s'élève à 606 715 ha, soit environ 84 % de la surface agricole utile totale de la Suisse (1 055 684 ha). **Toutefois, seulement 47 % environ de la surface représentée sur la CRE2 (zones de montagne 1 et 2 incluses) correspondent à des zones de grandes cultures et de vignobles ; 53 % correspondent à des herbages permanents.** En regardant la carte plus en détail, on s'aperçoit qu'une grande partie des surfaces sur lesquelles le risque d'érosion est élevé se situe dans les zones de montagne 1 et 2. La surface calculée prend en compte toutes les formes d'utilisation agricole des sols. Ainsi, les surfaces de prairies et de pâturages des Préalpes et du Jura ont été également intégrées dans le calcul. Compte tenu que ces régions correspondent à des terrains généralement en forte pente et que selon le modèle de calcul la pente est un facteur de perte de sol, ces régions sont en grande partie colorées en rouge sur les cartes. C'est ce qui saute aux yeux au premier coup d'œil lorsqu'on consulte la carte. Dans la

<sup>5</sup> En ce qui concerne l'évaluation statistique du risque d'érosion au niveau cantonal (figure 4.2), la surface calculée est moins étendue (606 233 ha) en raison de la conversion des données vectorielles en données raster. Cela n'a néanmoins qu'une influence minime sur la répartition relative des surfaces.

réalité, cependant, la plupart des surfaces de ces régions sont des zones couvertes en permanence de végétation où l'érosion ne constitue par conséquent aucun problème.

### **Statistique cantonale du risque d'érosion de la SAU de la région de plaine (CRE2)**

La carte 4.2 est le résultat de l'évaluation du risque potentiel d'érosion établie à l'échelon cantonal sur la base des trois niveaux de risque. La surface calculée, sur laquelle la statistique se fonde, est, comme pour la CRE2, la surface agricole utile de la région de plaine, autrement dit sans les zones de montagne I, II, III, IV, les zones d'estivage, les cultures fruitières, les surfaces utilisées pour l'horticulture et les bordures tampons. La taille des diagrammes circulaires reflète l'importance de la surface de la SAU par canton. **Au total, 56 % des surfaces ont été classées comme non menacées par l'érosion et les 44 % restants comme potentiellement menacés par l'érosion, voire fortement menacés d'érosion.** Cela dit, il convient de considérer que

**a) les évaluations statistiques se rapportent à des cellules 2x2 m et non pas à des blocs entiers de parcelles ou à des parcelles isolées. Il y a risque réel d'érosion seulement dans le cas de surfaces en contiou couvrant plusieurs cellules de raster potentiellement menacées par l'érosion.**

**b) 38 % des surfaces calculées dans la région de plaine correspondent à des herbages permanents et ne présentent par conséquent aucun risque réel d'érosion.**

Il ressort de l'évaluation cantonale que les cantons LU, AA, JU, AG et FR possèdent une part particulièrement élevée de surfaces potentiellement menacées par l'érosion. Sauf dans le cas du canton AG, les autres cantons jouxtent souvent une zone de montagne. Aussi, de nombreuses surfaces de ces cantons doivent être des herbages permanents. Les cantons UR, GL, NW, OW, VS, GR, GE et TI présentent un risque potentiel d'érosion particulièrement faible. Ce sont en majorité des cantons où la part représentée par les grandes cultures, pratiquées dans les fonds de vallées, est très réduite.

## Erosionsrisikokarte der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz (ERK2)

ohne Bergzonen und Sömmerungsgebiete

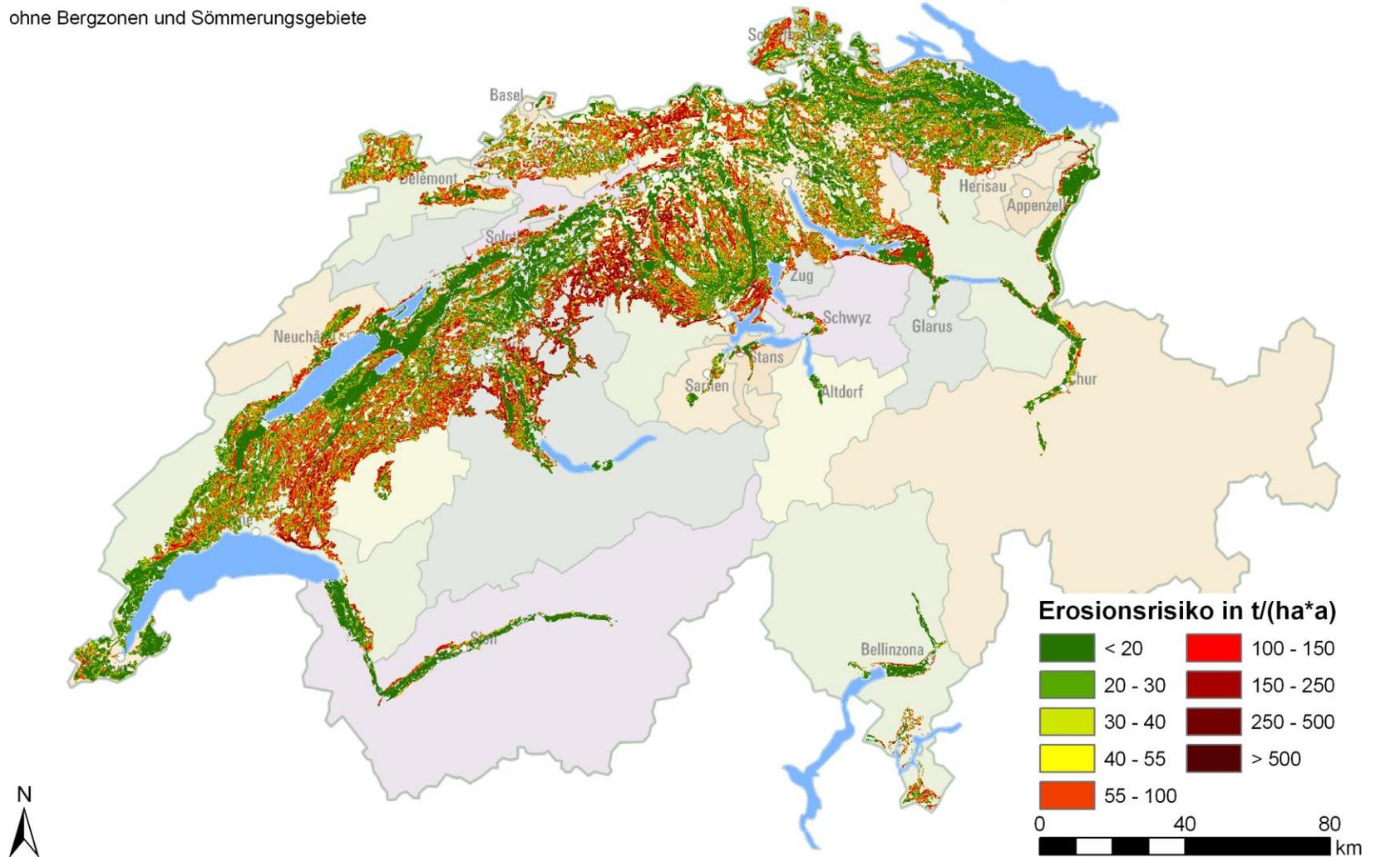


Fig. 4.1a: CRE2. Risque potentiel d'érosion (sans l'exploitation) pour la région de plaine. Source : document interne, arrière-plan (swisstopo)

## Erosionsrisikokarte der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz (CRE2)

ohne Bergzone III, IV und Sömmerungsgebiete

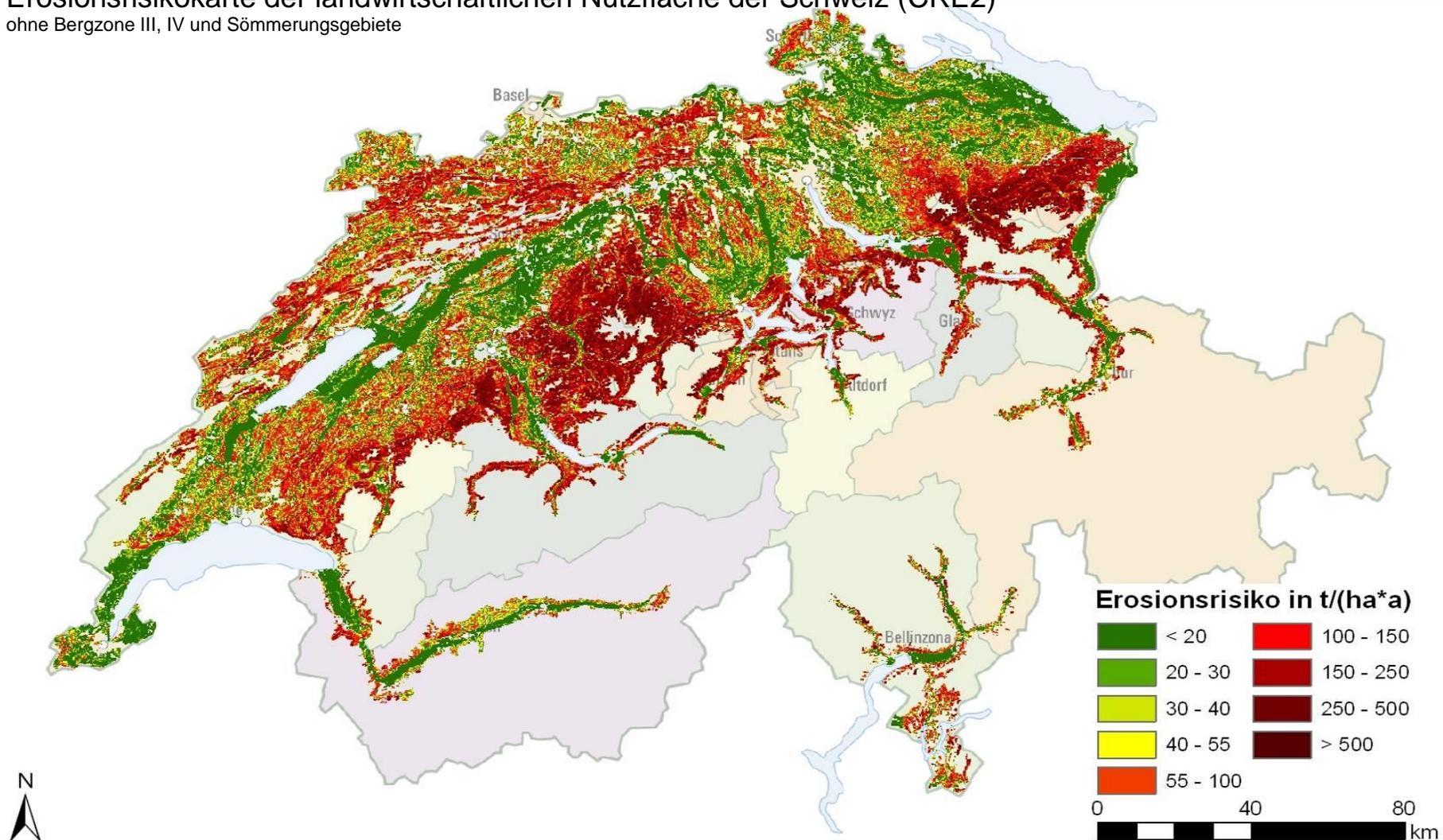


Fig. 4.1b: CRE2. Risque potentiel d'érosion (sans l'exploitation) pour les régions de montagne 1 et 2. Source : document interne, arrière-plan (swisstopo)

## Kantonale Statistik des Erosionsrisikos in der LN (ERK2)

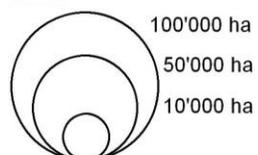
ohne Bergzonen und Sömmerungsgebiete

## Erosionsrisiko

keine Gefährdung

Gefährdung

starke Gefährdung



Fläche pro Kanton in der LN

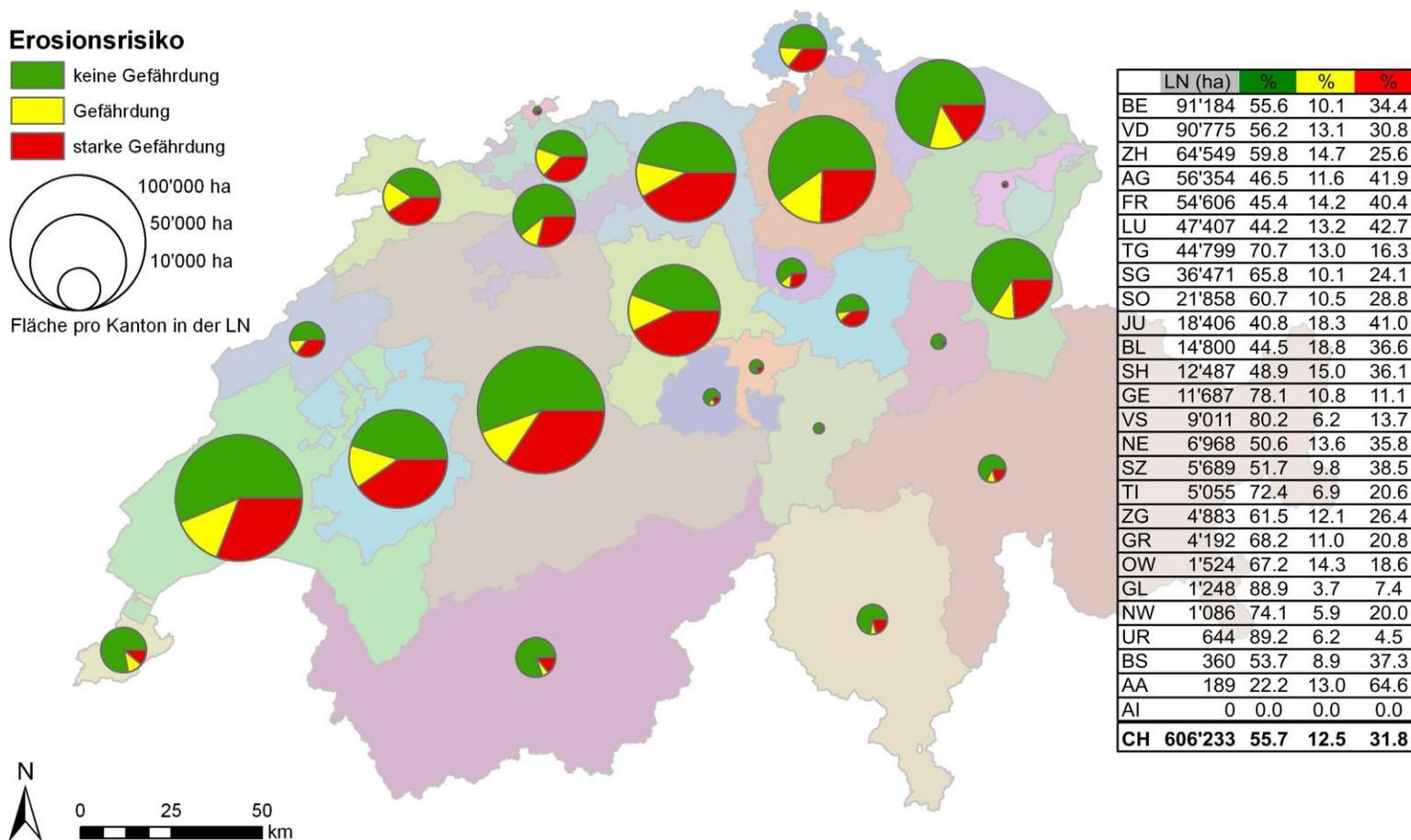


Fig. 4.2: Evaluation statistique par canton des parts de surfaces dans les différentes classes de risque potentiel d'érosion en ce qui concerne la région de plaine. « LN » (en ha) indique la surface de SAU (sans les zones de montagne I, II, III, IV et sans les zones d'estivage) par canton. La conversion des données vectorielles en données raster aboutit à une surface totale

un peu plus petite que celle prise en compte dans la carte CRE2 (606 233 ha au lieu de 606 715 ha). Source : document des auteurs , arrière-plan (swisstopo).

## 4.1 Diffusion de données - cartes

Au final, les couches de données ou les cartes suivantes sont mises à disposition:

### Résultats

- |                   |   |
|-------------------|---|
| a) eros_z_XXX     | - jeu de données raster, représentant le risque d'érosion à l'aide de |
|                   | valeurs numériques précises en $t/(ha*a)$                             |
| b) eros_z_XXX.lyr | -interconnection avec eros_z_XXX, fichier de                          |
| couches subdivisé | par classe et par couleur   |
| c) rec_eros_XXX   | - jeu de données raster avec échelle nominale en                      |
| trois parties     | basé sur les données de eros_z_XXX                                    |

### Données de base

- |           |                                       |
|-----------|---------------------------------------|
| d) ln_XXX | - blocs de parcelles en format raster |
| e) k_XXX  | - Facteur K                           |
| f) l_XXX  | - Facteur L                           |
| g) r_XXX  | - Facteur R                           |
| h) s_XXX  | - Facteur S                           |

### Données complémentaires

- |   |  |
|---|--|
| i) Carte des blocs de parcelles_CH        | - fichier de formes comprenant tous les blocs de parcelles |
| j) Plan d'ensemble_Eros_CH.jpg            | - aperçu des feuilles de la CN50                           |
| k) Modèle de couleurs_Erosionskarte.style | - modèle de couleurs pour CRE2                             |
| l) répartition_en 9 classes.xml           | - limites de classe pour CRE2                              |
| m) Facteur K_.breaks.xml                  | - limites de classe pour le facteur K                      |

« xxx » représente le numéro de carreau concerné de la CN50. Les données sont adaptées au quadrillage des feuilles de la CN50 ; cela dit, les bords peuvent se chevaucher légèrement (éviter le découpage des blocs de parcelles). Ainsi, à la place de « xxx », apparaît le chiffre « 212 », et ainsi de suite. La figure 4.3 ci-après donne un aperçu des feuilles de cartes disponibles, avec en outre une subdivision en feuilles de carte au 1/16 (CN50\_16). Pour chacune de ces feuilles, les données mentionnées plus haut sont disponibles. Les données raster sont transmises en format ESRI GRID à l'Office fédéral de l'agriculture où elles peuvent être converties si besoin est en d'autres formats. Les « données complémentaires » sont des données servant à la représentation et à l'analyse.

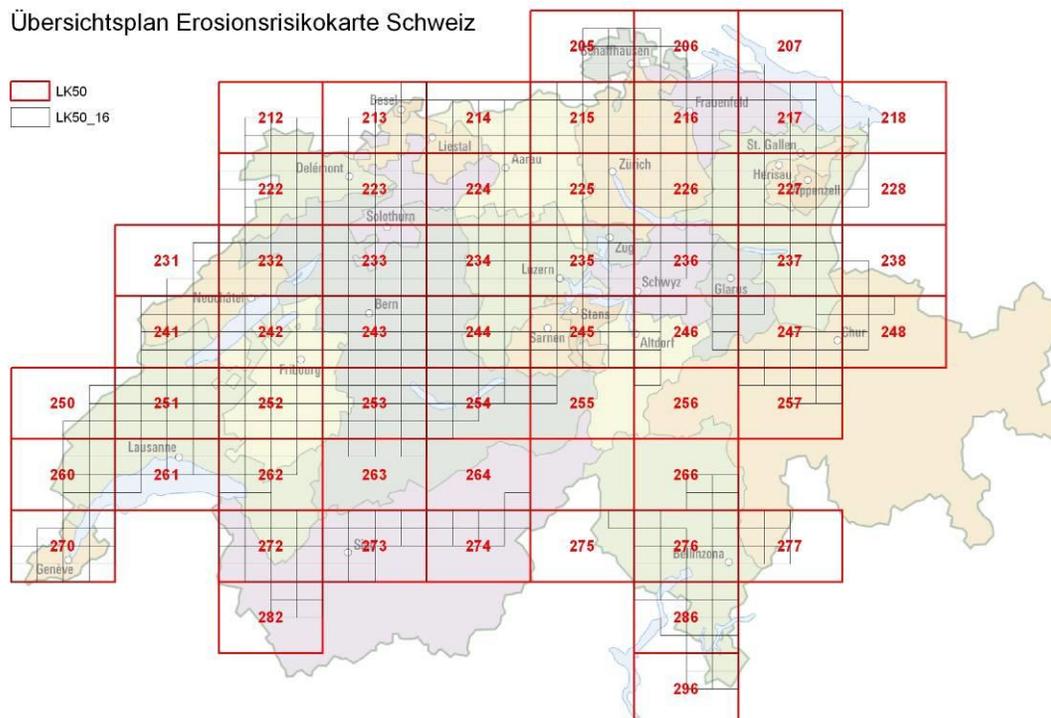


Fig. 4.3: Aperçu de la couverture de la région modélisée Toutes les données mentionnées plus haut sont disponibles pour l'ensemble de la région représentée. Source : document interne; base: données swisstopo

## **4.2 Description des différents jeux de données raster**

### **4.2.1 Résultats**

#### **a) eros\_z\_xxx (CRE2 basée sur des valeurs numériques précises)**

Le fichier raster « eros\_z\_xxx » contient le résultat final des calculs. Ce jeu de données raster comporte les données originales du calcul de l'érosion pour chaque feuille de la carte CN50. Les données indiquent la perte moyenne potentielle de sol par an en t/(ha\*a) sur la base des facteurs locaux pris en considération. Ces données sont calculées avec une précision de plusieurs décimales. Nous recommandons à l'utilisateur d'opter pour le jeu de données décrit ci-après.

#### **b) eros\_z\_xxx.lyr (CRE2 avec des données précises, réparties en 9 classes)**

Le fichier « eros\_z\_xxx.lyr » (cf. fig. 4.4) est un lien et fait partie du jeu de données eros\_z\_xxx. Il peut être ouvert ici pour obtenir la répartition proposée en 9 classes et le modèle de couleurs approprié. Lors de la répartition par classes et du choix du modèle de couleurs, on a veillé à conserver les limites du système repris de l'Allemagne et à ce que les domaines colorés en vert, jaune ou rouge, correspondent à la subdivision en trois classes de risque. Comme les valeurs de base figurent à l'arrière plan, le jeu de données

« eros\_z\_xxx » offre à l'utilisateur la possibilité de procéder à une répartition adaptable de son choix. Il est toutefois vivement recommandé de choisir la classification proposée. Une explication sur la manière de procéder pour adapter individuellement les couleurs est donnée au chapitre 7.3.

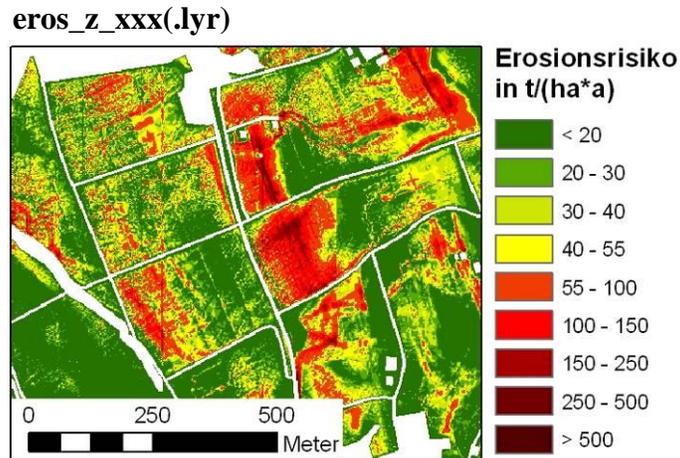


Fig. 4.4: Exemple « eros\_z\_xxx.lyr ». Source : document interne

### **c) rec\_eros\_xxx (CRE2 classifiée, 3 classes, échelle nominale)**

Le fichier raster « rec\_eros\_xxx » est un produit dérivé de « eros\_z\_xxx », plus précisément, une reclassification (rec = reclassify) de ce fichier de données. Cette reclassification a consisté à établir, à partir des valeurs numériques d'origine, 3 classes de risque et à mémoriser les données pour s'en servir en tant qu'échelle nominale (cf. fig. 4.5). Seules les trois classes de risque selon la répartition allemande sont disponibles dans ce modèle.

**1 = Pas de risque d'érosion**

**2 = Risque d'érosion**

**3 = Risque d'érosion élevé**

La conversion en un « raster integer » permet de procéder à des évaluations statistiques supplémentaires simples dans le cadre du SIG. Il est ainsi possible - par exemple au moyen de la carte des blocs de parcelles \_CH - de calculer, en actionnant la fonction « Tabulate Area » (ArcGIS – ESRI), la répartition des pixels pour chaque bloc de parcelles dans chacune des classes de risque. Cela permet, entre autres, d'obtenir les valeurs limites à observer pour chaque unité spatiale considérée dans le cadre de l'exécution des mesures (p. ex. lorsque >50 % des pixels sont concentrés dans la classe de risque 1 ou 2, ou toute autre forme de répartition). On peut procéder de même par analogie pour d'autres géométries, tels le plan des parcelles, les limites communales et les limites cantonales, etc. Ce jeu de données donne donc un premier aperçu des surfaces et de leur potentiel d'érodibilité et sert ainsi de base à l'évaluation du risque d'érosion. Une fois que les régions à risque sont identifiées en tant que terres cultivées, on peut affiner

l'évaluation de la situation au moyen de la carte « eros\_z\_xxx ». Il est ainsi possible de mieux évaluer les structures, les lignes d'écoulement et les mesures à prendre.

**rec\_eros\_xxx**

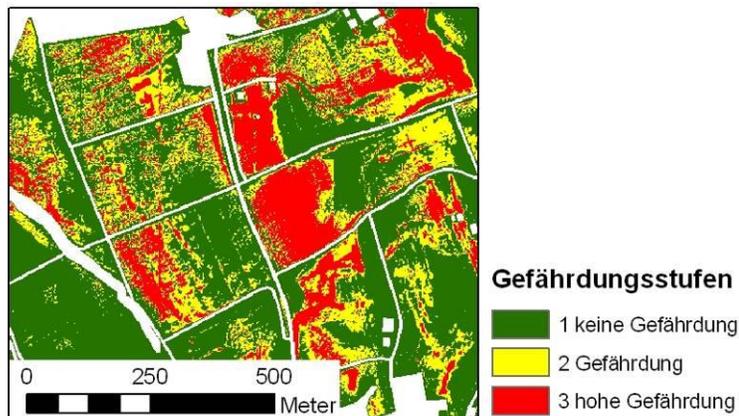


Fig. 4.5: Exemple réalisé avec « rec\_eros\_xxx ». Les couleurs et la légende peuvent être ajustées selon vos besoins. Il ne s'agit ici que d'une proposition. Source : document interne

#### **4.2.2 Données de base**

##### **d) En xxx (blocs de parcelles en format raster)**

Ce jeu de données contient les blocs de parcelles pour chaque feuille de cartes CN50 sous forme de fichier raster. Ce fichier permet également de réaliser des évaluations statistiques en combinaison avec « rec\_eros\_xxx ». Il peut aussi être converti en shapefile (« fichier de formes ») pour avoir un accès rapide aux blocs de parcelles. Dans ce cas, les blocs de parcelles ne contiennent aucune autre information supplémentaire. La carte indique cependant quels blocs de parcelles sont contenus dans la feuille de carte considérée (une information importante en ce qui concerne les blocs de parcelles qui se recoupent entre plusieurs feuilles de cartes. Il est donc recommandé d'utiliser la carte des blocs de parcelles\_CH (cf. chapitre 4.2.3. i) pour obtenir des informations sur le type de surface primaire ou sur la surface d'un bloc de parcelles et avoir la possibilité de travailler sur la base de blocs de parcelles sélectionnés.

##### **In\_xxx – Surface agricole utile**

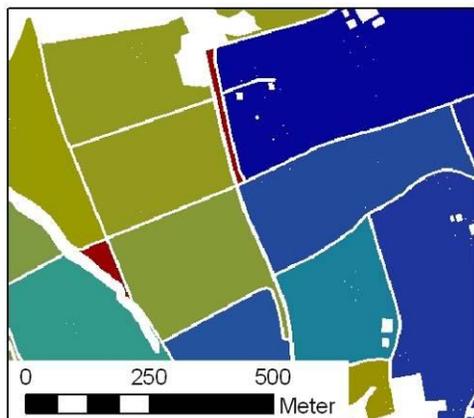


Fig. 4.6: Exemple « en xxx ». Le choix de la couleur n'est qu'une proposition et ne sert qu'à différencier les blocs de parcelles. Source : document interne

**e-h) Facteurs K, R, L et S**

Les quatre autres jeux de données sont ceux correspondant aux principaux facteurs de calcul du risque d'érosion. Ceux concernant les facteurs K et R ont été élaborés antérieurement, tandis que les facteurs S et L ont été tirés du modèle numérique DTM-AV au cours du calcul effectué au moyen du modèle AVErosion. Ces jeux de données servent à l'approfondissement de l'analyse du risque d'érosion et permettent de déduire la cause précise de l'érosion. Ils servent donc aussi à planifier les mesures à prendre. Ils permettent de surcroît d'identifier le principal facteur responsable d'un risque élevé dans une région donnée.

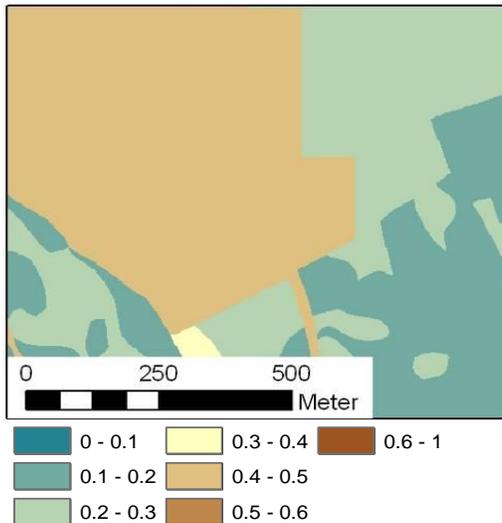
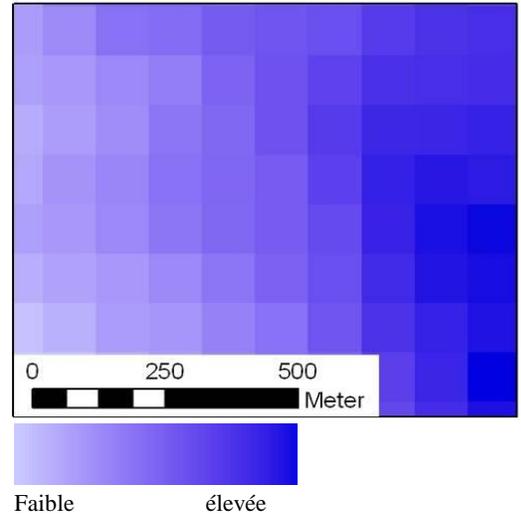
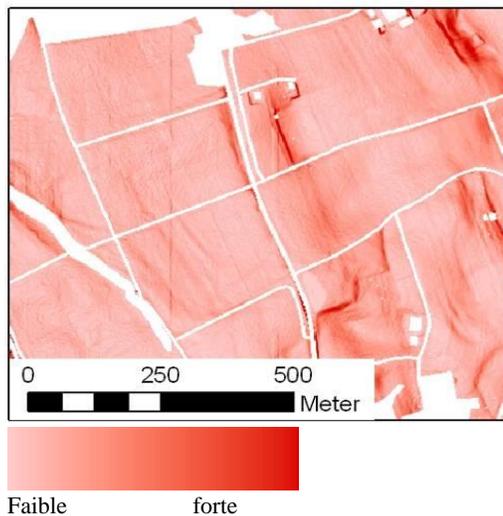
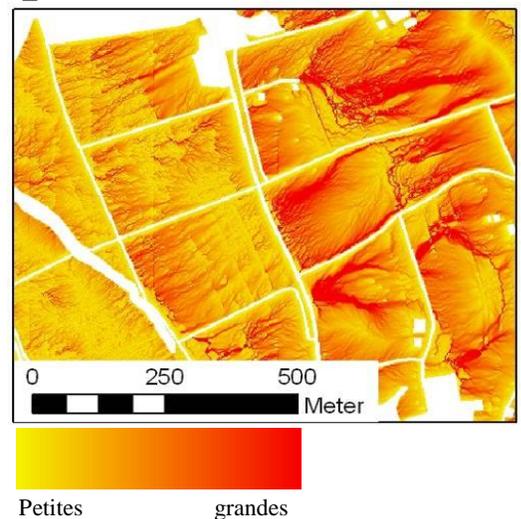
**k\_XXX – Erodibilité des sols****r\_XXX – Erosivité des précipitations****s\_XXX – Inclinaison de la pente****l\_XXX – Dimensions du bassin versant**

Fig. 4.7: Modèle de représentation des facteurs K (Erodibilité des sols), R (Erosivité des précipitations), S (Inclinaison de la pente) et L (dimensions du bassin versant, longueur de la pente). Les graphiques représentent chacun le même extrait de plan que précédemment dans les graphiques 4.4 à 4.6. Les couleurs et l'échelle proposées sont optionnelles. Source : document interne

Les jeux de données correspondant aux facteurs R et K (r\_XXX et k\_XXX) ont été interpolés dans la région limitrophe sur l'extension du DTM-AV afin que les données concordent. Autrement dit, là quand des données du modèle digital de terrain étaient disponibles, mais que soit le facteur K soit le facteur R manquait, ces données ont été modélisées au moyen de la méthode d'interpolation « natural Neighbour ». La méthode d'interpolation n'a été appliquée que dans quelques régions limitrophes et ne devrait pas avoir une incidence significative sur le calcul du risque d'érosion. Le jeu de données limitatif pour l'extension est par conséquent le DTM-AV.

Ces jeux de données permettent en outre de procéder à un nouveau calcul du risque d'érosion en raison de données de base modifiées. Ainsi lorsqu'un canton ou une commune disposent de nouvelles données relatives au sol pour leur territoire, celles-ci peuvent être échangées avec les anciennes données. Pour ce faire, il faut convertir les données relatives au sol en facteur K et les adapter à la région et à la résolution, du facteur K existant. Le fichier raster « eros\_z\_XXX » (ou un extrait de ce fichier) est ensuite divisé par le facteur K d'origine, puis multiplié par le nouveau facteur K. On obtient ainsi le risque d'érosion en fonction des nouvelles données relatives aux sols. On peut procéder de même pour modifier le facteur R. Toutefois, si la géométrie des blocs de parcelles a été modifiée ( p. ex. suppression ou réaménagement de chemins, de routes, de haies, etc.), il est recommandé de procéder à un nouveau calcul à l'aide du modèle AVErosion, car ces modifications pourraient avoir des répercussions sur les facteurs S et L. Ces modifications devraient être également reportées dans le raster « ln\_XXX ».

### **4.2.3 Données supplémentaires**

#### **i) Carte des blocs de parcelles CH (shapefile comprenant tous les blocs de parcelles)**

La carte des blocs de parcelles est constituée par les plus de 180 000 blocs de parcelles calculés couvrant la surface agricole utile de la Suisse. Dans le tableau des attributs il y a une colonne « ObjectVAL » qui comporte la désignation utilisée sur la carte Vecteur25 pour décrire le type de « surface primaire ». Dans une deuxième colonne « Area » est indiquée la superficie de chaque polygone. La catégorie « OBJECTVAL » permet, par exemple, de marquer uniquement les blocs de parcelles délimités en tant que surfaces viticoles. En superposant les blocs de parcelles marqués sur la CRE2, on peut voir le risque spécifique d'érosion dans les parcelles de vigne. Le grand nombre de blocs de parcelles rend le jeu de données peu maniable. Il est donc recommandé d'adapter au préalable le jeu de données à la région où l'on veut évaluer le risque<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Pour ce faire, actionner la fonction « Select » (ArcGIS – ESRI) et procéder à la sélection voulue.

### **j) Plan d'ensemble Eros CH.jpg**

Le fichier graphique présente un aperçu des données disponibles et peut être utilisé pour localiser les feuilles de cartes pertinentes. La région voulue peut être repérée sur le plan d'ensemble et l'on peut ainsi savoir quelles feuilles de cartes sont utilisées. On peut ainsi trouver et ouvrir les données souhaitées.

### **k, l) Modèle de couleurs Erosionskarte.style et répartition en 9 couches.xml**

Ces deux fichiers servent à la présentation du raster « eros\_z\_xxx » selon la répartition en 9 couches et le modèle de couleurs proposés. Ci-après, la marche à suivre pour élaborer cette présentation manuellement au moyen de ArcMap 9.3 – ESRI (sans le fichier « eros\_z\_xxx.lyr ») :

- Insérer le raster « eros\_z\_xxx » souhaité dans ArcMap
- Aller sur Tools/Styles/Style Manager...
- Cliquer sur Styles/Add...
- Naviguer jusqu'au répertoire Modèle de couleurs et sélectionner le fichier « Farbschema\_Erosionskarte.style (Open)
- « Close » dans la fenêtre suivante
- Double clic ou clic droit (« Properties ») sur le layer « eros\_z\_xxx »
- Sélectionner l'onglet « Symbology »
- Cliquer sur Classified (le téléchargement dure un certain temps)
- Clic droit dans le champ Symbol, Range und Label
- « Load Class Breaks »
- Naviguer jusqu'au répertoire Modèle de couleurs et sélectionner le fichier « 9er\_Einteilung.xml (Open) »
- Sélectionner « Color Ramp » dans le menu déroulant le modèle de couleurs ci-dessous (9 couleurs du vert au rouge)
- OK

Le raster « eros\_z\_xxx » s'affiche dans la répartition en 9 classes et dans le modèle de couleurs proposé. Pour attribuer ce modèle de couleurs à d'autres layers, aller dans le champ « Symbology » du layer souhaité et reprendre par « Import » d'un layer déjà adapté le modèle de couleurs souhaité. Cela évite de relancer la recherche de la répartition par classes et du modèle de couleurs.

Le dossier Modèle de couleurs et les fichiers « Farbschema\_Erosionskarte.style » et « 9er\_Einteilung.xml » sont disponibles.

**m) K\_Faktor.breaks.xml (limites de classe pour le facteur K)**

De manière analogue au fichier « 9er\_Einteilung.xml », le fichier K\_Faktor.breaks.xml peut être utilisé pour le raster du facteur K. Ce fichier met à disposition une répartition par classes pour les fichiers raster « k\_fak\_xxx ». La marche à suivre est la même que celle décrite au point k, 1), sauf que dans ce cas, on n'a pas élaboré de modèle de couleurs séparé. On peut donc sélectionner un modèle de couleurs prédéfini. Ici aussi, la répartition en classes doit être considérée comme une proposition. Elle peut être adaptée au cas par cas selon les options. La répartition et un modèle de couleurs sont visibles sur le graphique 4.7 (en haut à gauche).

## 5. VALIDATION ET TESTS DE PLAUSIBILITÉ

### Validation

Le modèle AVErosion utilisé ne peut être validé que par rapport à l'érosion actuelle, en comparant les pertes de sol calculées avec les résultats des mesures sur plusieurs années. Le danger représenté par l'érosion ne peut en revanche pas être validé ; le risque potentiel ne peut pas être vérifié au moyen de valeurs mesurées, car il n'est pas tenu compte de l'exploitation actuelle. On peut toutefois partir du principe que si l'érosion actuelle est correctement modélisée, le risque d'érosion potentiel sera aussi estimé correctement, vu qu'il préfigure l'actuelle érosion

Le modèle AVErosion a été validé au moyen des données des cartes des dégâts d'érosion établies sur 10 ans pour la région de Frienisberg (PRASUHN 2010). L'érosion des 203 parcelles qui constituent cette région a été modélisée au moyen des meilleures données de départ possibles, par GISLER (2009) avec AVErosion. Pour ce faire, il a pu utiliser des données à l'échelle parcellaire pour les facteurs K et C, provenant de relevés sur le terrain effectués par PRASUHN. Les résultats obtenus ont été comparés aux pertes de sol moyennes cartographiées sur 10 ans. La comparaison montre que la concordance est globalement satisfaisante. Des 14 parcelles qui présentaient une perte de sol cartographiée en moyenne trop élevée (>2 t/ha), 11 ont également été classées à risque par AVErosion. Dans le cas des trois parcelles auxquelles le modèle a attribué un faible risque, l'érosion cartographiée a été provoquée par un seul événement survenu conjointement à une exploitation défavorable.

Des 16 parcelles qui, selon AVErosion, devaient présenter les plus grandes pertes de sol, 12 ont effectivement subi une forte érosion durant les 10 années analysées. Compte tenu des limites du modèle (cf. chap. 1.4) et de la série de mesures certes longue, mais tout de même trop courte (en principe, 20 années seraient nécessaires), la comparaison peut globalement être jugée positive. Les observations *in situ* confirment elles-aussi les résultats du modèle. **Les cuvettes présentant de l'érosion par les eaux de ruissellement sont particulièrement bien représentées par le modèle.** Des exemples en la matière ont été rassemblés par CHISHOLM (2008).

Dans les régions d'Estavayer-le-Lac et de la Haute-Argovie, où LEDERMANN et al. (2008, 2010) ont cartographié durant deux ans les dégâts causés par l'érosion, les dégâts constatés – surtout l'érosion par les eaux de ruissellement (talwegs) - concordent bien avec les résultats de la modélisation. CHISHOLM (2008) a préparé des exemples relatifs à ces situations (photos de dégâts d'érosion – risque d'érosion modélisé).

En outre, le risque d'érosion a été modélisé au moyen d'AVErosion dans quatre exploitations ou communautés d'exploitation dans le cadre du projet « Cartographie des surfaces contributrices », EAWAG/ART) et les résultats *in situ* ont été discutés avec les chefs

d'exploitation. Ceux-ci ont confirmé les résultats de la modélisation: les parcelles classées comme étant à risque présentent effectivement un risque d'érosion plus élevé.

## **5.2 Tests de plausibilité**

Plusieurs tests de plausibilité ont été effectués en plus des validations mentionnées ci-dessus, afin de corroborer les résultats de notre carte. Pour ce faire, la carte CRE2 (ou des parties de celles-ci) a été comparée avec des cartes de risque d'érosion existantes. Il s'agissait en premier lieu d'une comparaison faite visuellement, car le travail avait été effectué avec différentes méthodes et données de base, de sorte qu'une comparaison détaillée des données n'était pas possible. La résolution des cartes, par exemple, n'était pas toujours identique étant donné que différents modèles de terrains avaient été utilisés. La figure ci-dessous montre comment cette différence se répercute sur la modélisation du risque d'érosion.

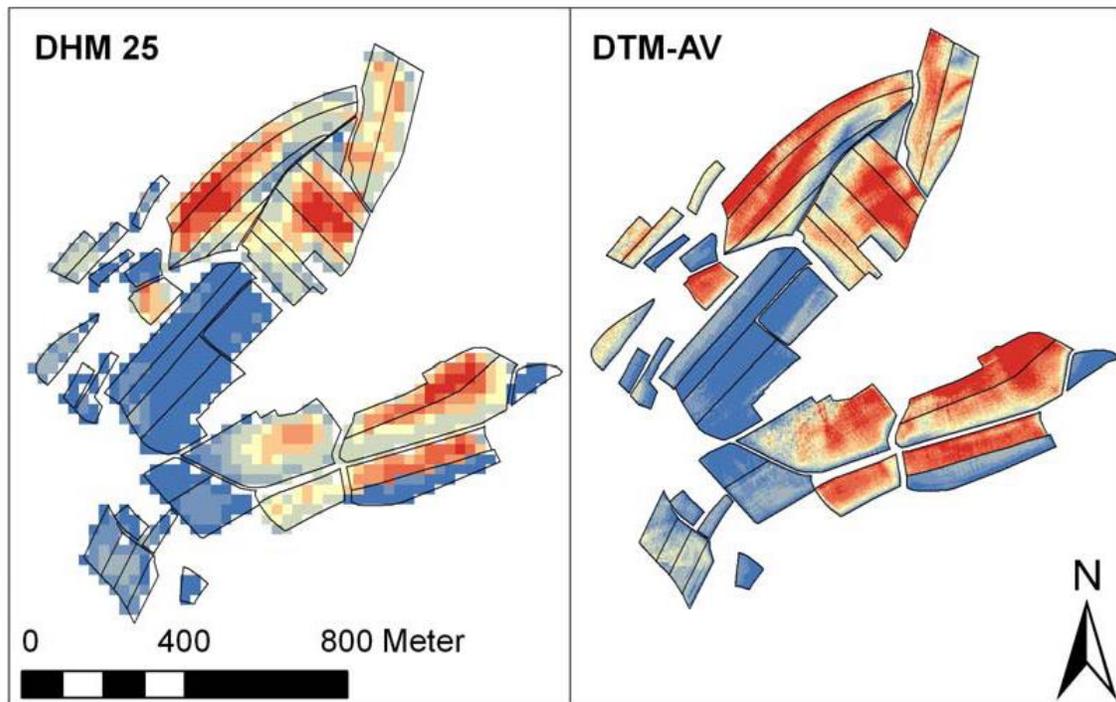


Fig. 5.1: Comparaison de cartes de différentes résolutions. Illustration à l'échelle cellulaire du risque d'érosion, en deux résolutions différentes. A gauche : DHM25 (swisstopo) 25x25m; à droite: DTM-AV (2x2m) Source : GISLER (2009)

Lorsque les résolutions ne sont pas uniformes, la comparaison directe des données est difficile, tandis qu'elle reste possible visuellement. Par ailleurs, les procédés et les modèles utilisés n'étaient pas identiques, ce qui a posé des problèmes supplémentaires pour la comparaison directe des valeurs. Certaines cartes ont été modélisées sur la base du système USLE (équation universelle des pertes de sol), tandis que le présent projet a utilisé une version modifiée de ce système, à savoir MUSLE87 (cf. chap. 2.1). Les différences

qui en résultent sont présentées dans la figure 5.2 à l'exemple du facteur L (longueur de la pente érosive, dimensions du bassin versant).

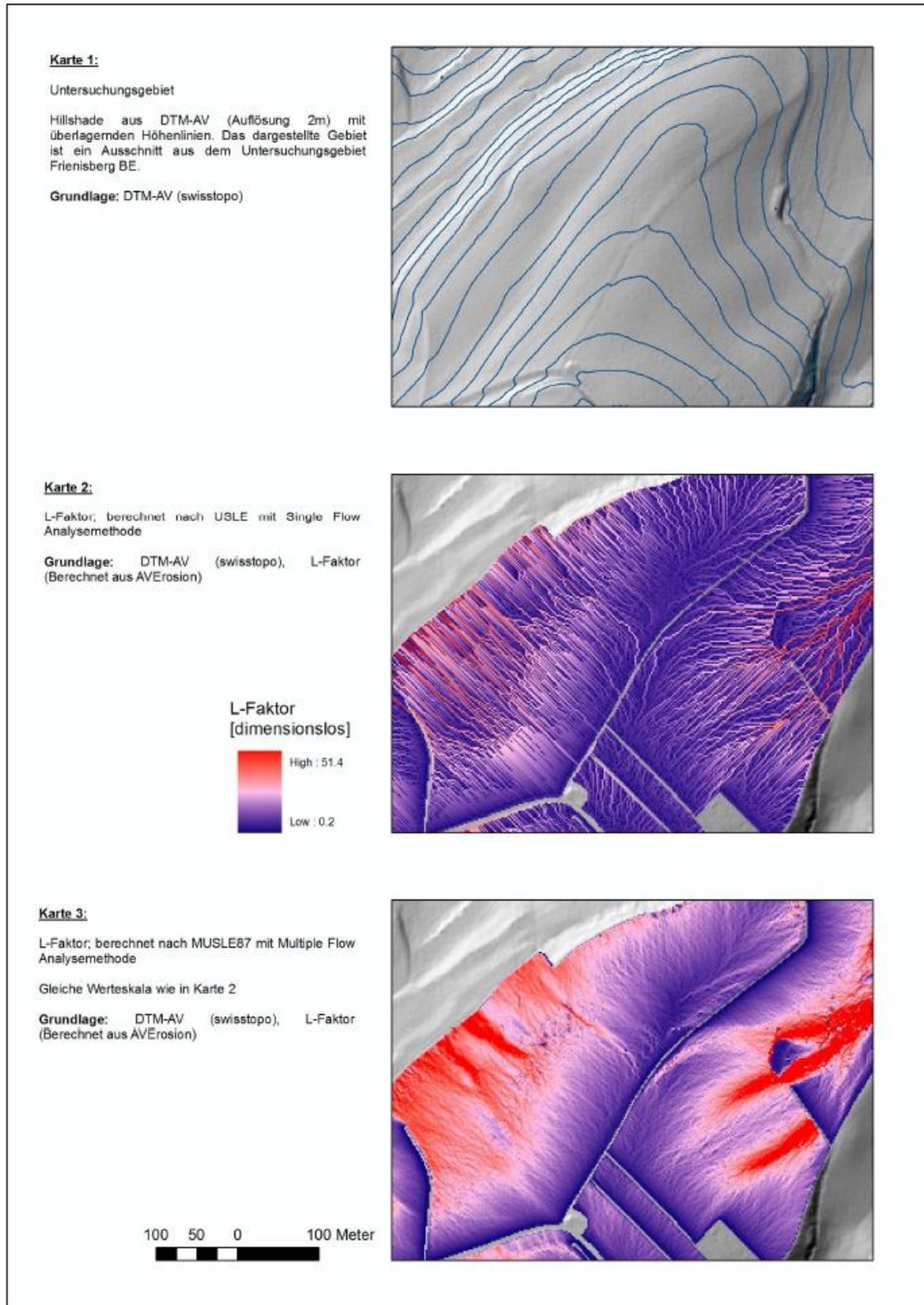


Fig. 5.2: résultats selon différentes méthodes de calcul des ruissellements avec un MNT de haute résolution. L'illustration montre les différences entre l'algorithme Single-Flow de l'USLE et l'algorithme Multiple-Flow de MUSLE87. Source : CHISHOLM (2008)

Les classements des différentes cartes ont été faits selon les niveaux de risques, la probabilité de ces derniers, et jusqu'à l'énoncé d'une perte de sol moyenne à long terme (en t/ha\*a). Malgré cela, une comparaison directe restait impossible. Pour pouvoir au moins comparer les cartes visuellement, on a cherché à obtenir une gradation similaire en adaptant en conséquence les options de présentation et la classification. Ce faisant, il s'agissait en premier lieu de savoir si les cartes existantes avaient des points communs avec la carte CRE2. On a ainsi examiné si les zones avec un risque estimé de même niveau étaient localisées au même endroit sur les deux cartes. Cela confirmerait les données apportées par la CRE2 et prouverait la plausibilité de la CRE2.

Pour l'analyse à l'échelle nationale, la CRE2 a été comparée à la carte des risques d'érosion de FRIEDLI (2006). Les deux cartes ont été comparées visuellement de manière rudimentaire. Ensuite, des zones comparables ont été examinées au moyen des cartes des risques d'érosion à l'échelle 1:25 000 qui sont disponibles pour les cantons de Soleure, Lucerne et Genève (RÜTTIMANN et al. 2004, 2005a, b). Les régions d'Avenches (VD) et le Boiron de Morges (VD) ont également été comparés, mais l'évaluation des risques d'érosion y a été faite selon un autre système. Les extraits de cartes présentées ci-dessous documentent ces comparaisons.

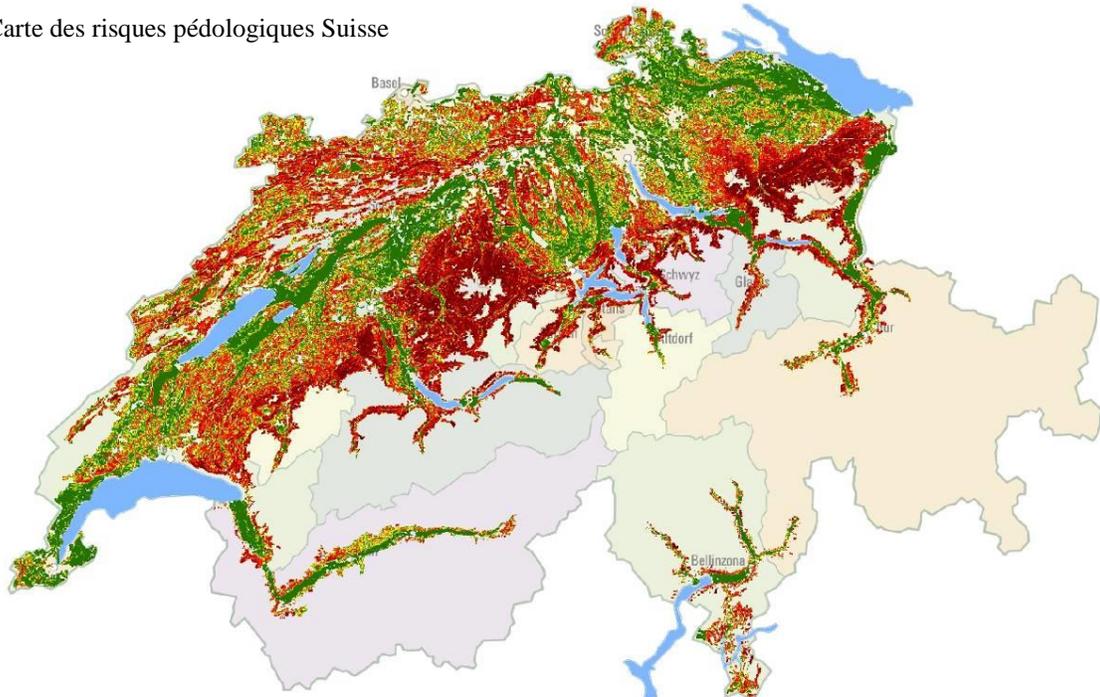
### **5.2.1 Comparaison de la CRE2 avec la carte des risques d'érosion en Suisse (FRIEDLI 2006)**

La figure 5.3 ci-dessous montre une comparaison entre les deux cartes des risques d'érosion, la CRE2 (2010) en haut et la carte des risques d'érosion (FRIEDLI) en bas. La carte de FRIEDLI a été calculée selon une grille hectométrique et établie d'une part pour la totalité du territoire suisse et d'autre part uniquement pour les terres agricoles potentielles. La carte de la fig. 5.3 (en bas) montre les résultats de FRIEDLI pour les régions couvertes par la CRE2 (surfaces agricoles utiles sans les zones de montagne III, IV et sans les régions d'estivage). Sur les deux cartes, les estimations correspondent au risque potentiel d'érosion. Les deux cartes ont été établies de manière différente, la méthode et les données de base utilisées n'ayant pas été les mêmes. (cf. tabl. 5.1, d'autres détails figurent dans le rapport CRE2 [2010] et FRIEDLI [2006]).

	<b>FRIEDLI (2006)</b>	<b>CRE2 (2010)</b>
<b>Unités de calcul</b>	statistique de la superficie	Vector25
<b>Modèle d'érosion</b>	USLE	MUSLE87
<b>Modèle de terrain</b>	DHM100 (100x100m)	DTM-AV (2x2m)
<b>Résolution</b>	Grille hectométrique	2x2m

Tableau 5.1: Comparaison de la CRE2 avec la carte des risques d'érosion en Suisse (FRIEDLI 2006) Pour plus d'informations, cf. FRIEDLI (2006).

Carte des risques pédologiques Suisse



Comparaison entre un extrait du CRE2 et la carte des risques d'érosion en Suisse FRIEDLI (2006)

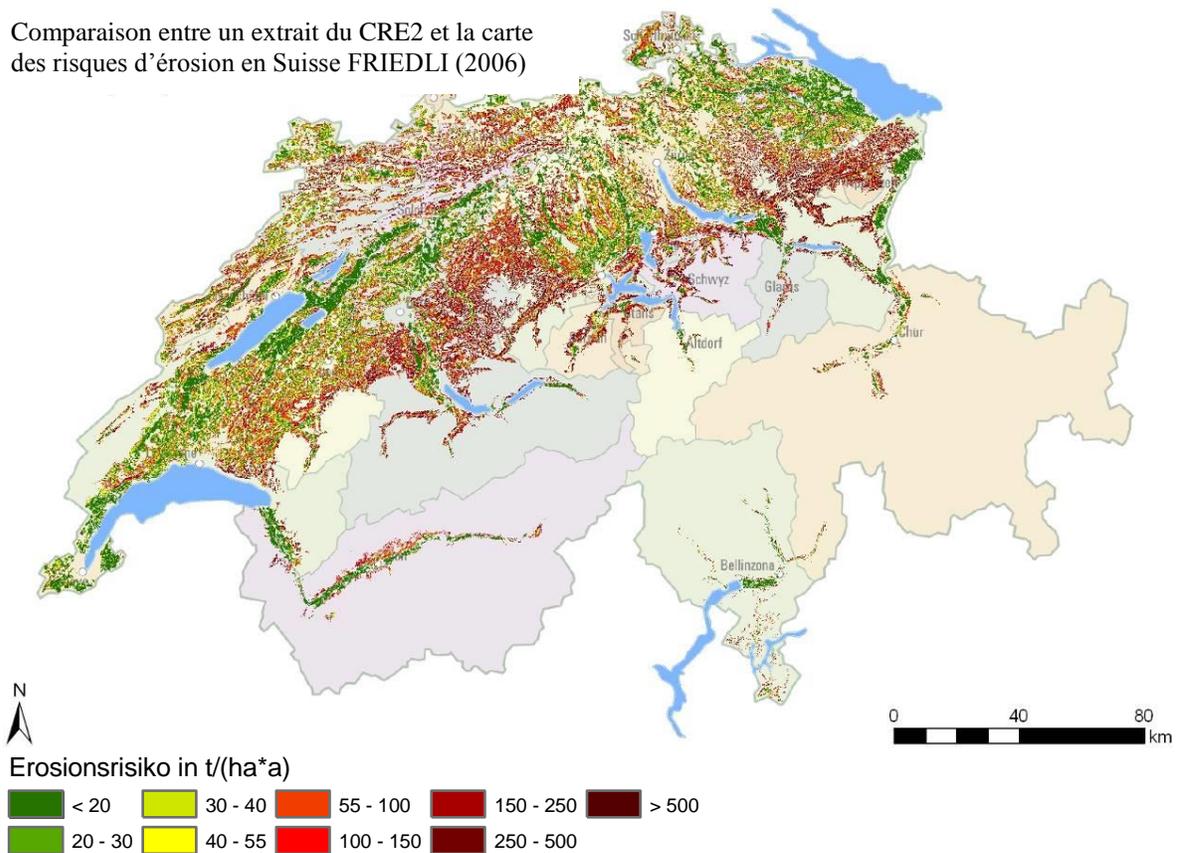


Fig. 5.3: Comparaison des deux cartes des risques d'érosion de l'ensemble du territoire suisse, à savoir CRE2 (2010) et carte des risques d'érosion (FRIEDLI 2006). Source : auteur, FRIEDLI 2006 (en bas, modifiée)

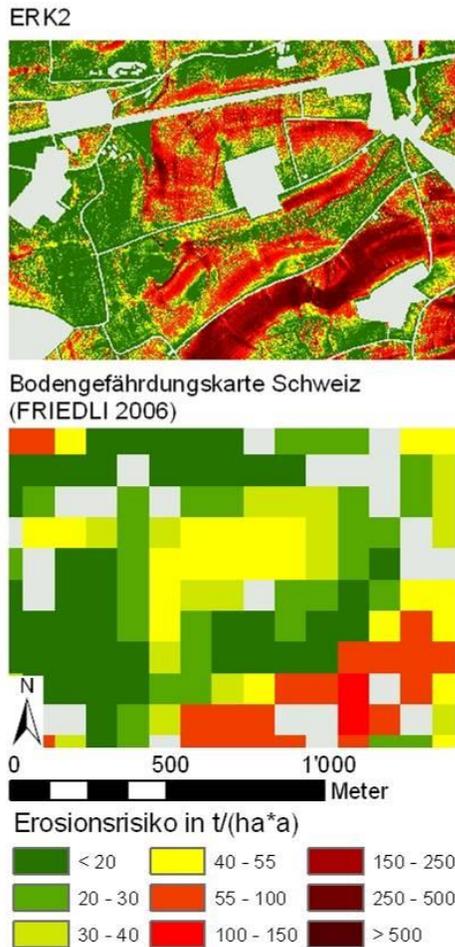


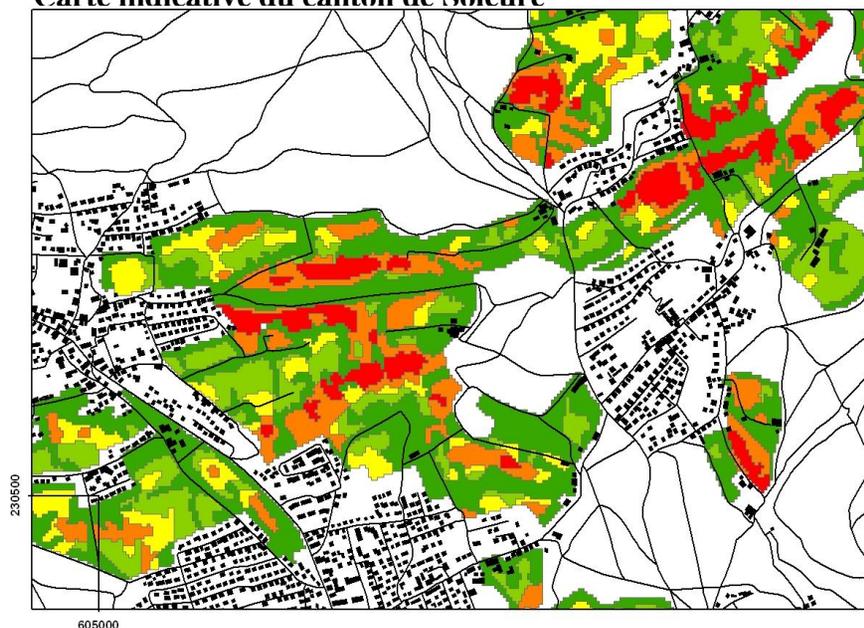
Abb. 5.4: Vergleich eines Ausschnittes der CRE2 mit der Bodenerosionsgefährdungskarte von FRIEDLI (2006).  
Quelle: eigene Darstellung, FRIEDLI (2006, verändert).

Malgré les différentes données et méthodes utilisées, les cartes de la fig. 5.3 permettent une bonne comparaison. Les similitudes entre les deux cartes indiquent une bonne concordance à l'examen à petite échelle. Etant donné que les résolutions ne sont pas identiques, il va de soi qu'un examen plus précis fait apparaître des différences. La résolution explique également les couleurs plus soutenues de la CRE2. De plus, la manière de produire l'unité de calcul joue également un rôle. Le grand avantage de la CRE2 par rapport la carte de FRIEDLI réside très certainement dans sa plus haute résolution et dans sa plus grande valeur informative dans les examens de détail. La figure 5.4 le montre bien. La mise en regard des mêmes extraits de carte fait apparaître les points forts de la CRE2 et les possibilités de son utilisation au niveau parcellaire. La carte FRIEDLI, quant à elle, offre une bonne vision d'ensemble de la situation, mais sa trop faible résolution la rend inappropriée pour la planification de mesures.

### 5.2.2 Cartes indicatives des cantons de Soleure, Lucerne et Genève

La carte indicative au 1:25 000 des dangers liés à l'érosion des sols dans le canton de Soleure (RÜTTIMANN et al. 2005a, fig. ci-après) s'avère très utile dans les tâches d'exécution et est, aux dires de N. Emch, régulièrement utilisée. Les expériences faites sont entièrement positives. La carte jouit d'une bonne acceptation tant auprès des contrôleurs PER qu'auprès des agriculteurs. Elle donne, selon eux, une bonne image de la réalité. La concordance entre la CRE2 et la carte indicative du canton de Soleure saute aux yeux. Il est par conséquent permis de penser que la CRE2 donne elle aussi une bonne image de la réalité et jouira également d'une bonne acceptation. Grâce à la plus haute résolution du modèle de terrain et à l'utilisation d'algorithmes multiple-flow, la CRE2 livre une image nettement plus différenciée.

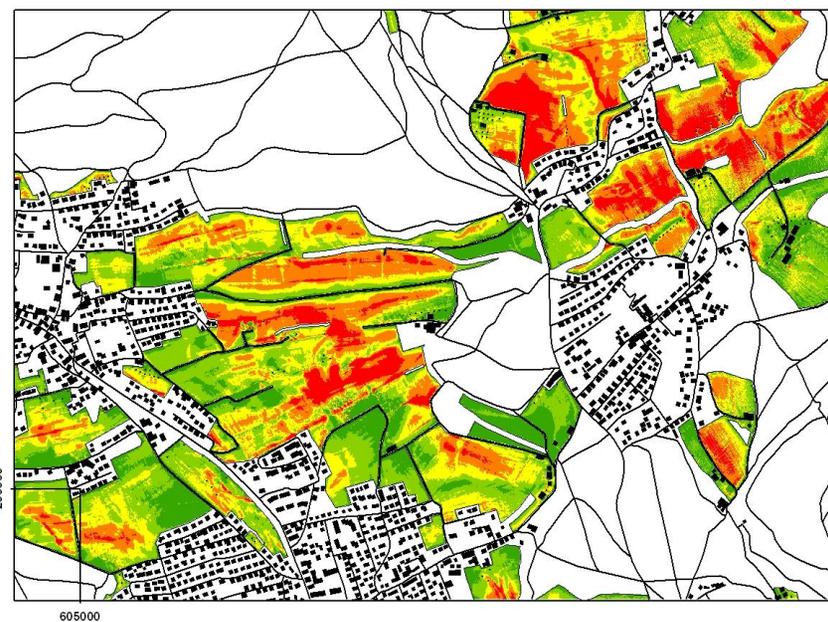
Carte indicative du canton de Soleure



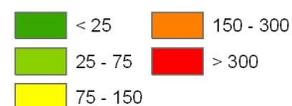
Erosionsrisiko



0 150 300 600  
Meter



Erosionsrisiko in t/(ha\*a)



0 150 300 600  
Meter

Fig. 5.5: Comparaison entre la carte indicative des dangers liés à l'érosion des sols du canton de Soleure (à gauche) et les modélisations effectuées avec AVErosion et MUSLE87 (à droite) Source : auteur, carte indicative des dangers liés à l'érosion des sols du canton de Soleure (1:25 000) ; RÜTTIMANN et al. (2005a).

Une concordance similaire à celle du canton de Soleure a été observée dans le canton de Lucerne. L'illustration ci-dessous montre une comparaison entre la carte indicative des dangers liés à l'érosion des sols dans une région du Plateau lucernois (1:25 000, RÜTTIMANN et al. 2004) et la CRE2. Les résolutions différentes de ces deux cartes sont ici aussi bien visibles.

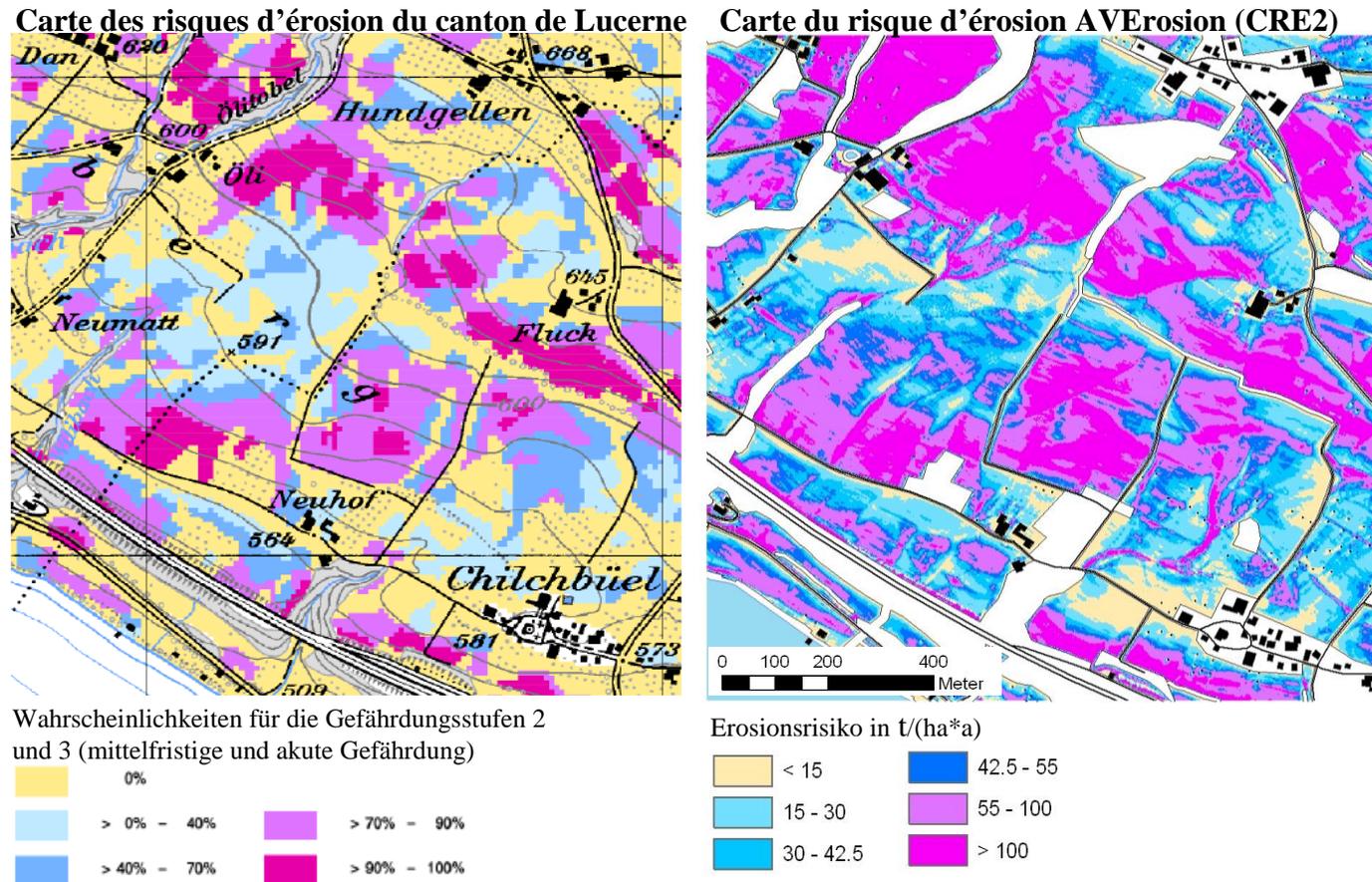
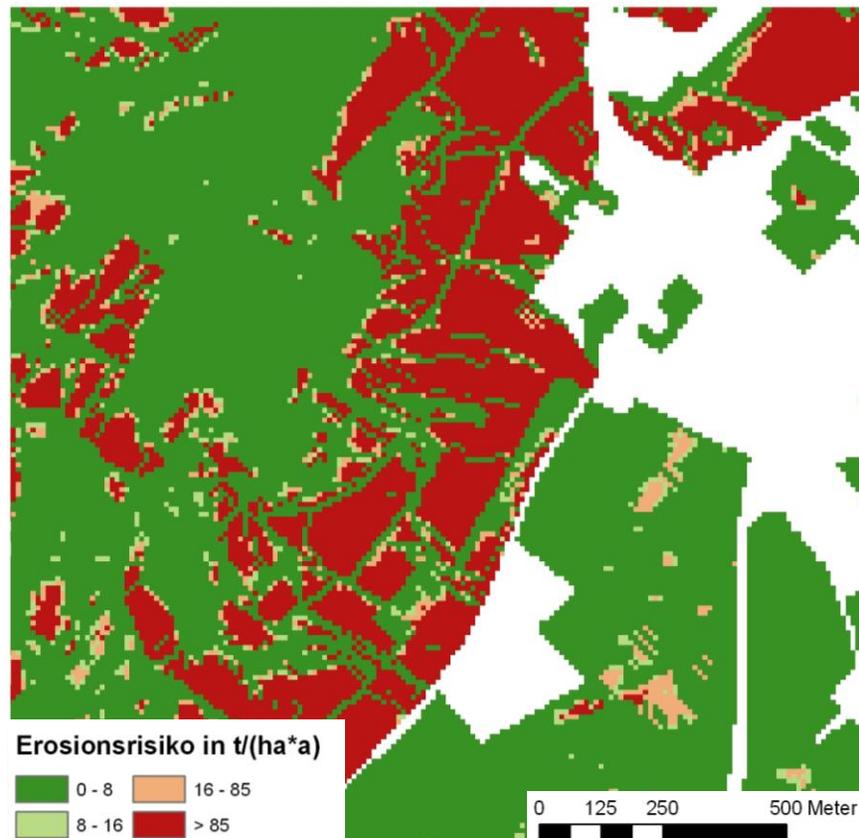


Fig. 5.6: Comparaison entre la carte indicative des dangers liés à l'érosion des sols du canton de Lucerne et les modélisations effectuées avec AVErosion. Source : auteur, carte indicative des dangers liés à l'érosion des sols du canton de Lucerne (1:25 000) ; RÜTTIMANN et al. (2005a).

Dans le canton de Genève aussi - comme dans les deux exemples précédents - les deux cartes présentent de nombreuses similitudes. L'illustration ci-dessous compare la carte indicative au 1 :25 000 des dangers liés à l'érosion des sols dans le canton de Genève (RÜTTIMANN et al. 2005b) à la CRE2 (comprenant des valeurs continues)

Carte indicative du canton de Genève



Carte des risques d'érosion AVErosion (CRE2)

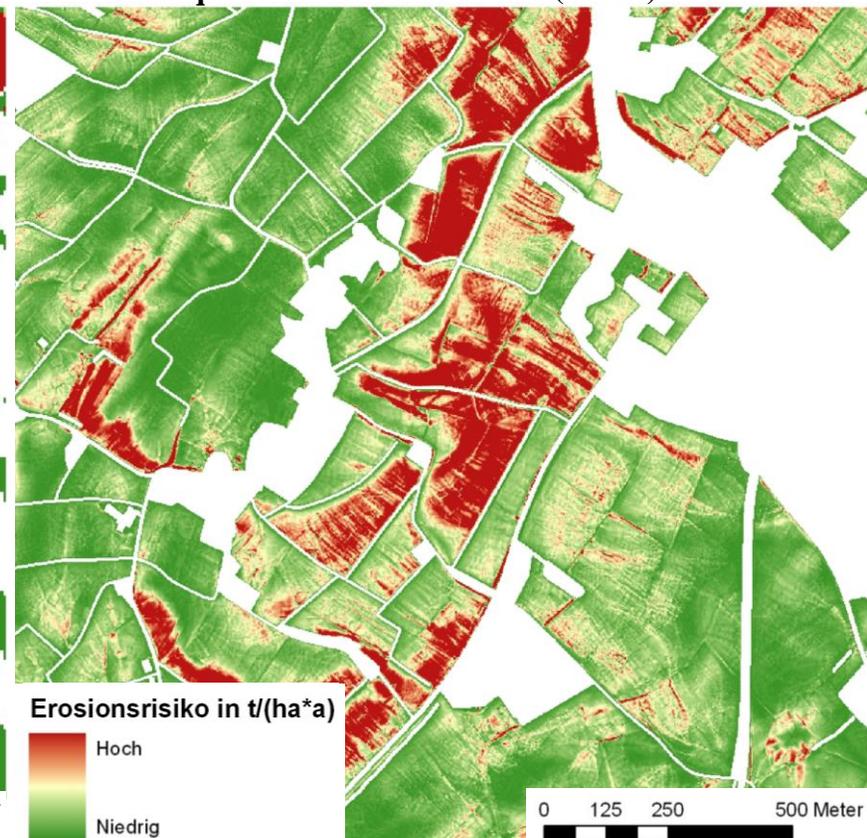


Fig. 5.6: Comparaison entre la carte indicative des dangers liés à l'érosion des sols du canton de Genève et les modélisations effectuées avec AVErosion. Source : auteur, carte indicative des dangers liés à l'érosion des sols 1 :25 000, tolérance 4 g/(ha\*a) (RÜTTIMANN et al. 2005b).

Bilan de cette comparaison:

Les comparaisons montrent une bonne, voire très bonne concordance optique dans les trois régions. Du fait de sa résolution plus élevée, la CRE2 livre des données plus détaillées à l'échelle parcellaire et convient par conséquent encore mieux pour les tâches d'exécution et de mise en application de mesures. Les lignes d'écoulement, les structures en fossés, les formes de cuvettes ainsi que l'influence des éléments qui réduisent l'érosion sont bien visibles et donnent des indications sur la manière d'envisager des mesures appropriées. Vu la bonne acceptation dont jouissent les cartes indicatives de RÜTTIMANN et al. 2004, 2005a, b dans le cadre des tâches d'exécution, on peut s'attendre à ce qu'un bon accueil soit également réservé à la CRE2. L'utilisation d'une telle carte dans le cadre des tâches d'exécution est possible et bien acceptée, comme le montre le cas du canton de Soleure avec la carte indicative des dangers liés à l'érosion des sols au 1:25 000. La mise en œuvre dans d'autres cantons, au moyen de la CRE2, devrait donc être possible.

**5.2.3 Comparaison avec les données d'Avenches et du Boiron de Morges**

Un instrument visant à permettre d'estimer le risque de transfert de pesticides par le ruissellement et par l'érosion a été développé dans le cadre d'un travail de diplôme (NOLL 2009) réalisé à l'Ecole d'Ingénieurs de Changins. Cet instrument a été utilisé et testé sur le site de 980 ha du Boiron de Morges (Côte lémanique) (NOLL et al. 2010). Il a en outre été utilisé dans le cadre d'un travail de master sur quelque 600 parcelles dans la région d'Avenches (VD) près du Lac de Morat, par GASSMANN (2010). Dans ce dernier cas, des observations sur le terrain ont également été effectuées afin de tester la plausibilité de l'instrument.

Etant donné, d'une part, que le principe élaboré par NOLL et al (2010) (cf. fig. 5.6) calcule l'érosion comme principale source d'apports et qu'il donne une estimation du danger à l'échelle parcellaire et que, d'autre part, l'érosion effective a été relevée par des observations sur le terrain, cet instrument devrait être comparé avec la CRE2. On a par conséquent également procédé, dans les régions du Boiron de Morges et d'Avenches, à des calculs au moyen d'AVErosion. Les résultats de la CRE2 ont été comparés à ceux de NOLL (2009, 2010) et de GASSMANN (2010) et discutés avec ces derniers. La comparaison n'est toutefois que partiellement possible, car l'instrument développé par NOLL a pour but d'évaluer les apports dans l'eau dus à l'érosion et non le risque d'érosion lui-même.

La structure des deux méthodes est présentée dans ses grandes lignes dans les figures suivantes (fig. 5.6 et 5.7). La méthode de la CRE2 se fonde sur MUSLE87 (Modified Universal Soil Loss Equation) et sur le modèle AVErosion. Elle calcule le risque potentiel

moyen d'érosion à long terme par multiplication de données relatives à l'érodibilité des sols (facteur K), l'érosivité des précipitations (facteur R), la pente (facteur S) et les dimensions du bassin versant (facteur L). Des détails supplémentaires figurent au chapitre 2.

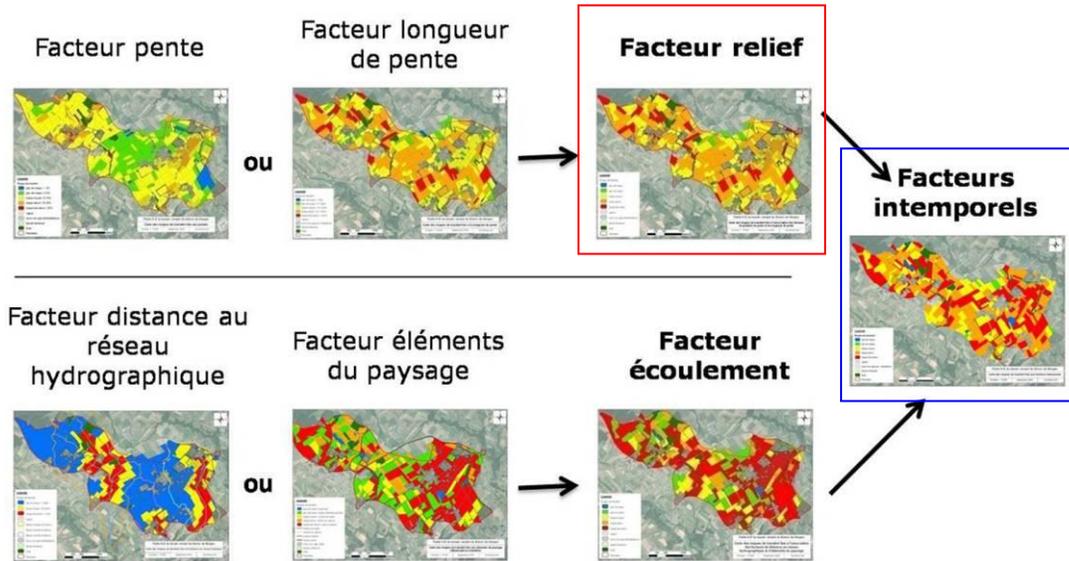


Fig. 5.6 : principe de l'utilisation des différentes cartes pour établir la carte du risque de transfert de produits phytosanitaires en fonction des facteurs intemporels au moyen de l'instrument développé par NOLL et al. (2010). Source : NOLL et al. (2010)

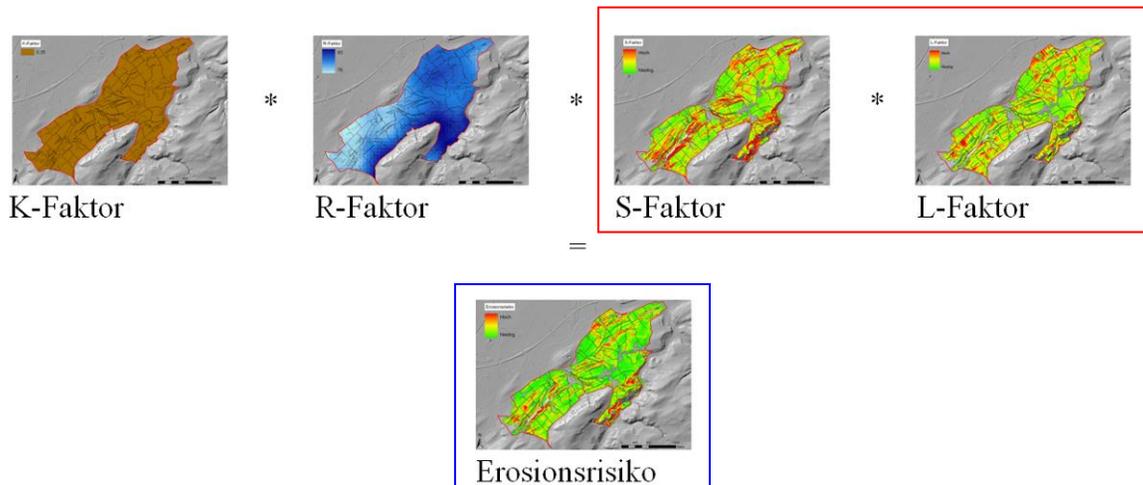


Fig. 5.7: schéma de l'établissement de la carte CRE2 de la région d'Avenches au moyen de MUSE87 et d'AVErosion.

La méthode de NOLL se fonde sur des principes similaires à ceux de la CRE2, mais elle comprend des facteurs supplémentaires qui permettent d'évaluer le risque de transfert en raison de facteurs liés au site. Outre les données concernant le facteur pente et le facteur longueur de pente, qui constituent le facteur relief, d'autres données sont utilisées dans une étape postérieure. Il s'agit de données relatives aux eaux (facteur distance au réseau hydrographique) et à des éléments de paysage pouvant influencer la direction et le volume du ruissellement de surface (nature des routes et chemins, bandes tampons, haies, texture du sol en surface) (= facteur élément du paysage). Ces deux facteurs conjoints constituent le facteur écoulement. En combinant le facteur relief avec le facteur écoulement, on obtient le risque potentiel de transfert qui en résulte compte tenu des facteurs du site ou facteurs intemporels (cf. fig. 5.6). Les données contenues dans le facteur écoulement ne sont pas prises en compte par la CRE2, ce qui rend difficile la comparaison directe des résultats finaux. C'est la raison pour laquelle on a, dans une première étape, comparé les données relatives au relief (fig. 5.6 et 5.7, avec cadre rouge) et, dans une seconde étape, comparé les estimations du risque d'érosion qui en ont résulté (fig. 5.6 et 5.7, encadré en bleu), tout en prenant en compte les autres facteurs en cas de différences.

#### Comparaison des facteurs relief

De nombreuses similitudes apparaissent entre les deux régions lorsque l'on compare visuellement les deux cartes des facteurs relief (fig. 5.8 à 5.11). Ainsi, les zones à haute intensité de relief sont-elles concordantes (segments bleus). Des différences existent cependant dans certaines zones (segments rouges). Elles s'expliquent d'une part par la base de calcul différente qui a été utilisée (parcelles / blocs de champs) : dans le cas des parcelles, la longueur de la pente est en partie raccourcie, ce qui conduit à des valeurs plus basses. D'autre part, les longueurs de pente sont calculées différemment dans les deux méthodes : tandis que dans la méthode de NOLL les longueurs de pente correspondent à la plus longue distance d'écoulement le long de la pente d'une parcelle, dans la CRE2 le facteur L désigne la dimension du bassin versant déterminée par un algorithme multiple-flow qui permet de prendre en compte des lignes d'écoulement en plusieurs directions. Dans les blocs de champs à faible pente, en particulier, cette méthode conduit à des résultats différents de ceux de la méthode NOLL. Le bilan de cette comparaison doit toutefois être considéré comme bon.

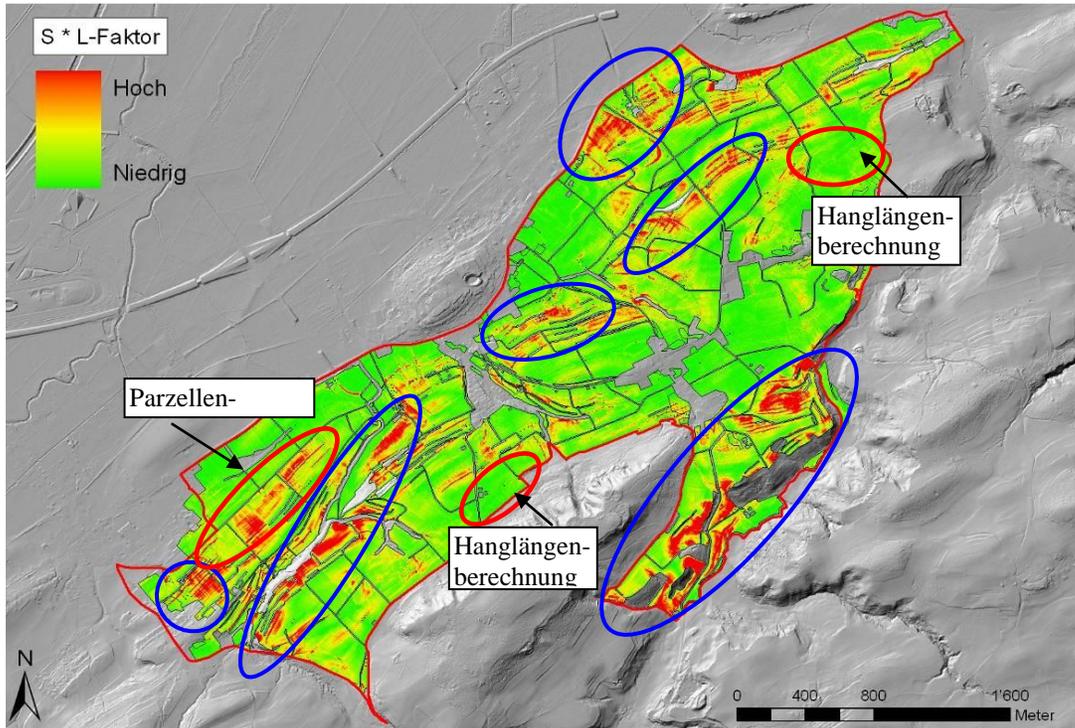


Fig. 5.8: multiplication de facteurs S et L avec AVerosion dans la région d'Avenches. Les zones concordantes par rapport à la carte « facteur relief » d'Avenches sont indiquées en bleu, celles qui diffèrent, en rouge. Source : auteur, avec, à l'arrière plan, un Hillshade issu de DTM-AV (swisstopo).

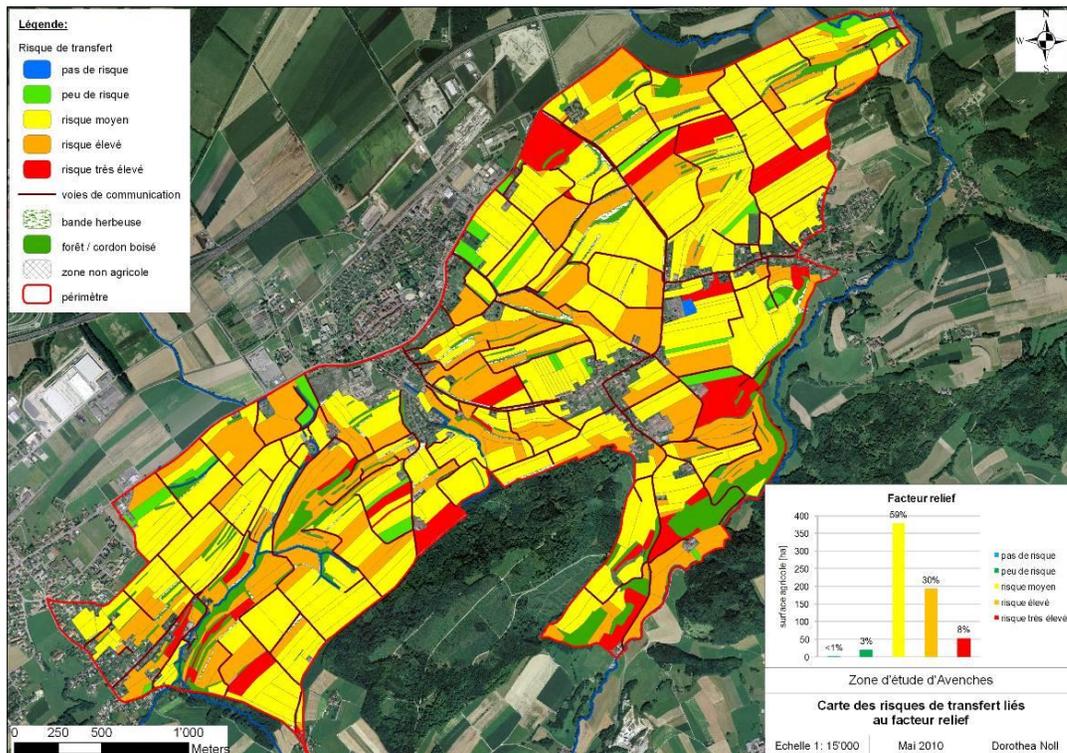


Fig. 5.9: Facteur relief de la région d'Avenches, selon la méthode NOLL. Source : NOLL et al. (2010)

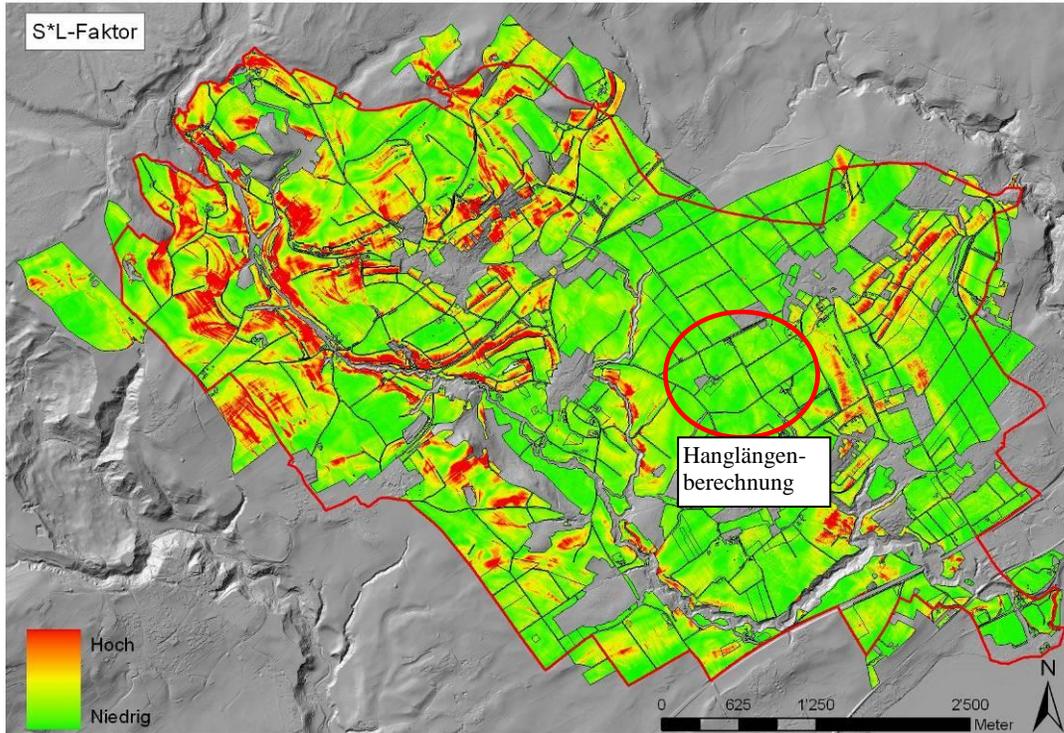


Fig. 5.10: multiplication de facteurs S et L avec AVErosion dans la région du Boiron de Morges. Le trait rouge délimite une région pour laquelle les résultats ne concordent pas. Cette différence s'explique par la méthode de calcul des longueurs de pente. Source : représentation de l'auteur, avec, à l'arrière plan, un Hillshade issu de DTM-AV (swisstopo).

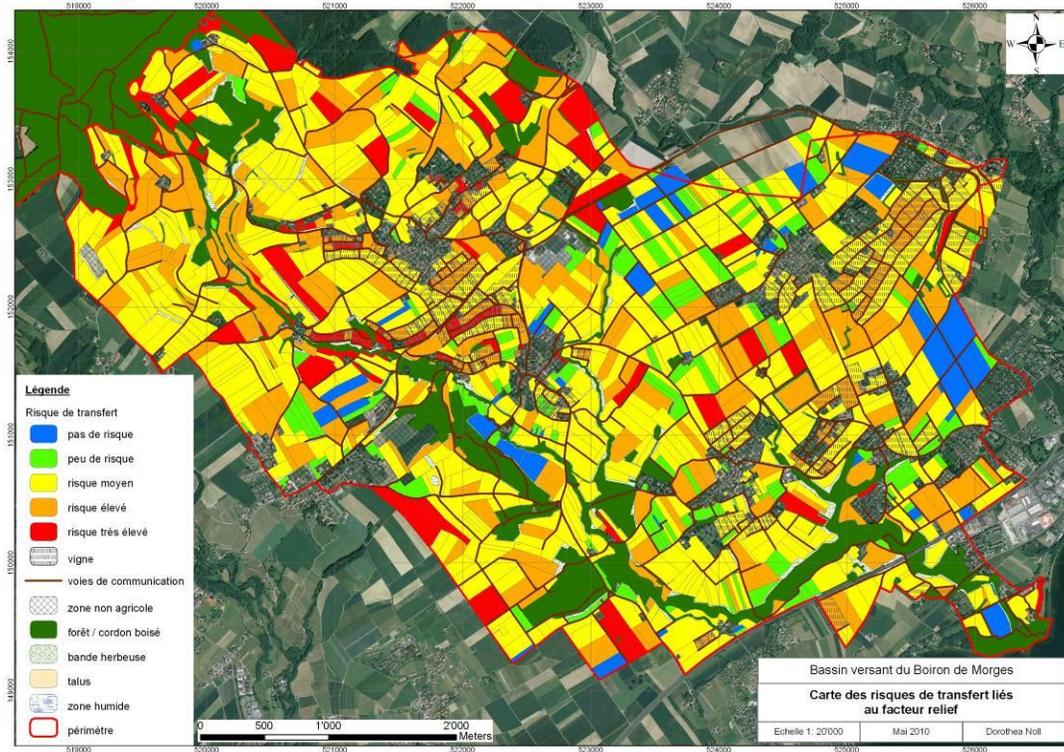


Fig. 5.11: Facteur relief du Boiron de Morges, selon la méthode NOLL. Source : NOLL et al. (2010)

### Comparaison du risque d'érosion résultant

Les problèmes susmentionnés de comparabilité entre les méthodes apparaissent lorsque l'on compare la CRE2 aux cartes « facteurs intemporels » d'Avenches et du Boiron de Morges (fig. 5.12 à 5.15). Malgré ces problèmes, l'image qui en résulte présente une grande concordance (segments bleus). Les différences par rapport au risque d'érosion découlent pour la plupart du fait que la méthode NOLL prend en compte la proximité des eaux. En outre, la structure des parcelles et le calcul des longueurs de pente jouent un rôle prépondérant dans les résultats des estimations obtenus avec chacune des deux méthodes. D'une manière générale, on peut toutefois parler de résultats concordants sur l'ensemble du périmètre.

Les deux méthodes ont en commun le fait qu'elles montrent les risques potentiels, et non pas les risques actuels qui prévalent sur les différentes parcelles (les deux méthodes permettent théoriquement d'évaluer ce risque, en utilisant des données supplémentaires ; cela a été fait avec la méthode NOLL). La plupart des parcelles situées le long des cours d'eau et colorées en rouges sont en réalité des surfaces d'herbage permanent qui, en l'état, ne sont pas des zones à risques. Cela explique que la concordance avec les dégâts d'érosion observés sur le terrain n'est pas toujours satisfaisante (cf. fig. 5.16 et 5.17). La plupart des zones où de l'érosion ou un ruissellement superficiel ont été cartographiés sont également indiquées comme zones à risque moyen ou élevé dans la CRE2. De l'érosion a cependant aussi été cartographiée dans des zones, qui selon la CRE2 ne présentent aucun risque. Des causes (apport d'eau parasite, écoulement d'eau des terrains en pente, etc.) qui ne sont pas prises en compte par le modèle peuvent en être la raison. Pour clarifier ce point, il faudrait procéder à des inspections sur le terrain.

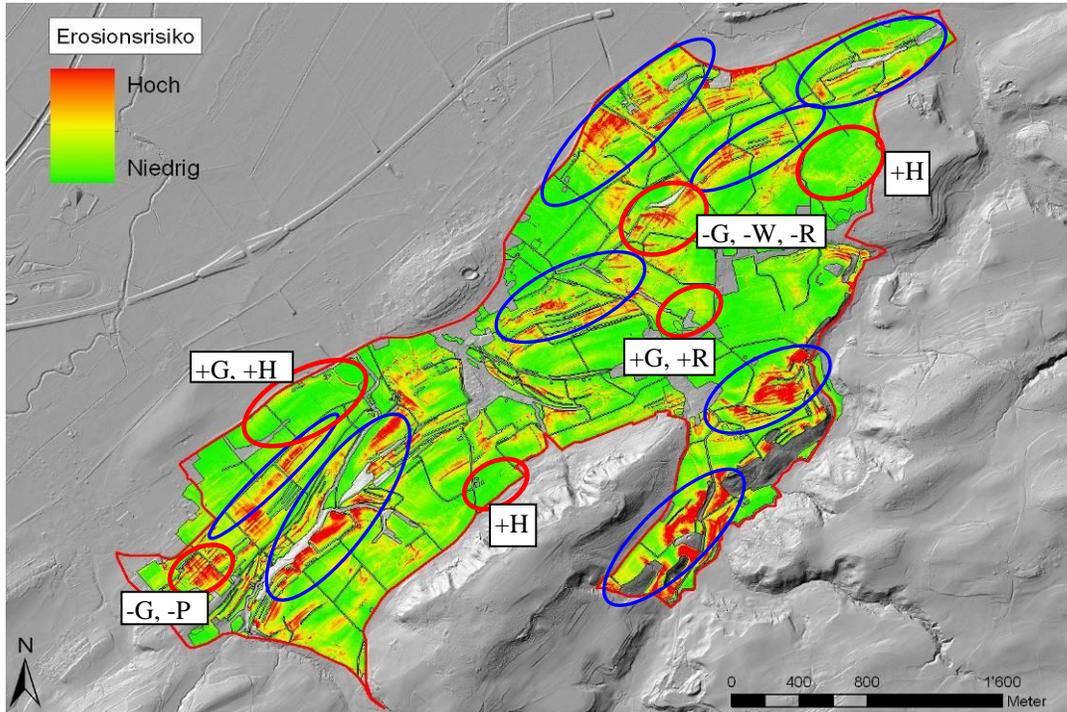


Fig. 5.12: Risque potentiel d'érosion dans la région d'Avenches selon la CRE2. Les zones concordantes par rapport à la carte « facteurs intemporels » d'Avenches sont indiquées en bleu, celles qui diffèrent, en rouge. G (eaux de surface), W (chemins), R (relief), H (longueur de pente), P (structure des parcelles), +/- indiquent l'influence positive ou négative. Source : propre représentation de l'auteur, avec à l'arrière plan, un Hillshade issu de DTM-AV (swiss-topo).

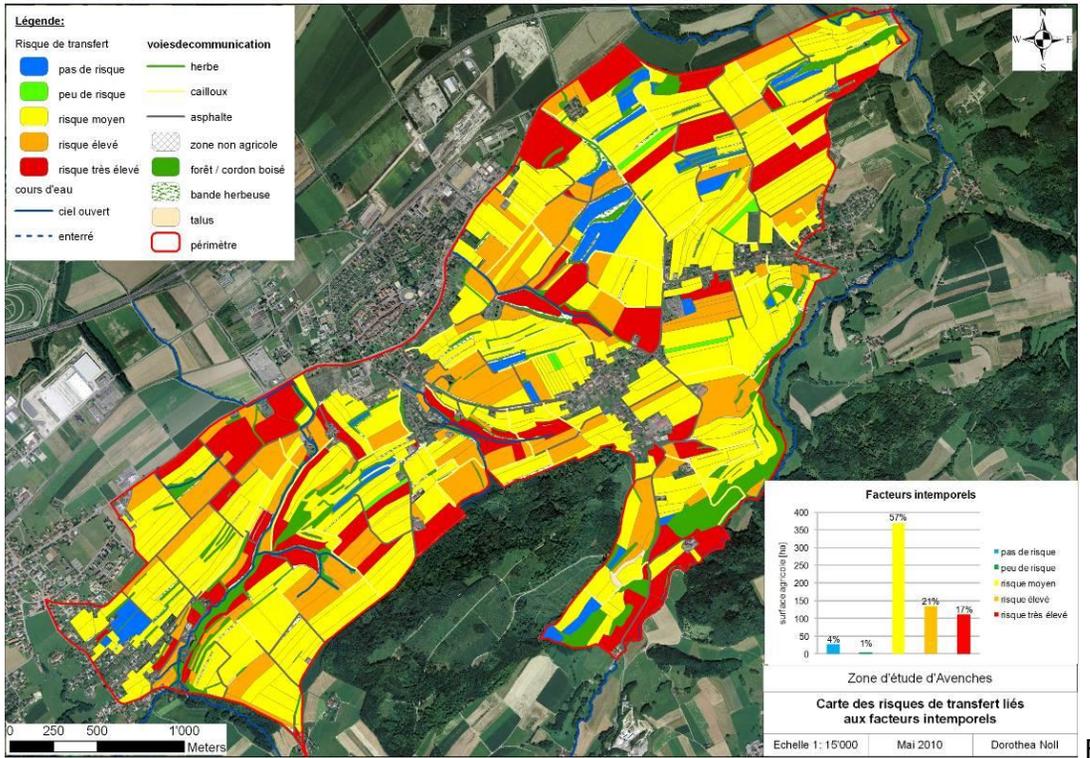


Fig. 5.13: Facteurs intemporels de la région d'Avenches, selon la méthode NOLL. Source : NOLL et al. (2010)

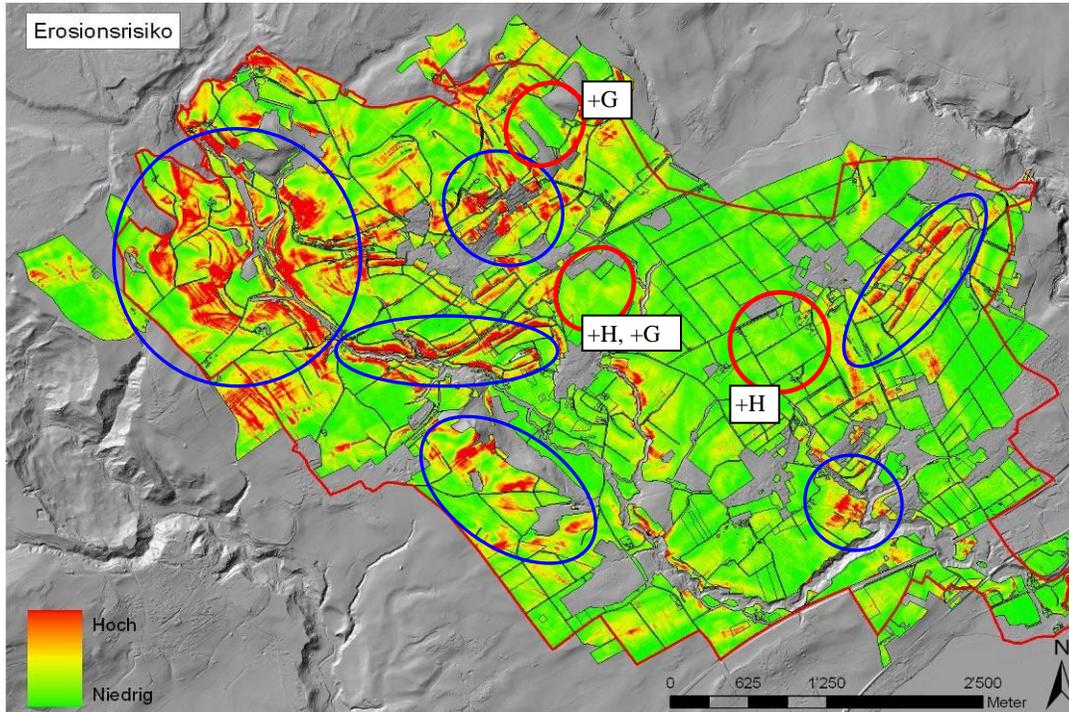


Fig. 5.14: Risque potentiel d'érosion dans la région du Boiron de Morges, selon la CRE2. Les zones concordantes par rapport à la carte « facteurs intemporels » du Boiron de Morges sont indiquées en bleu, celles qui diffèrent, en rouge. G (eaux superficielles), H (longueur de pente), +/- indiquent l'influence positive ou négative. Source : propre représentation de l'auteur, avec, à l'arrière plan, un Hillshade issu de DTM-AV (swisstopo).

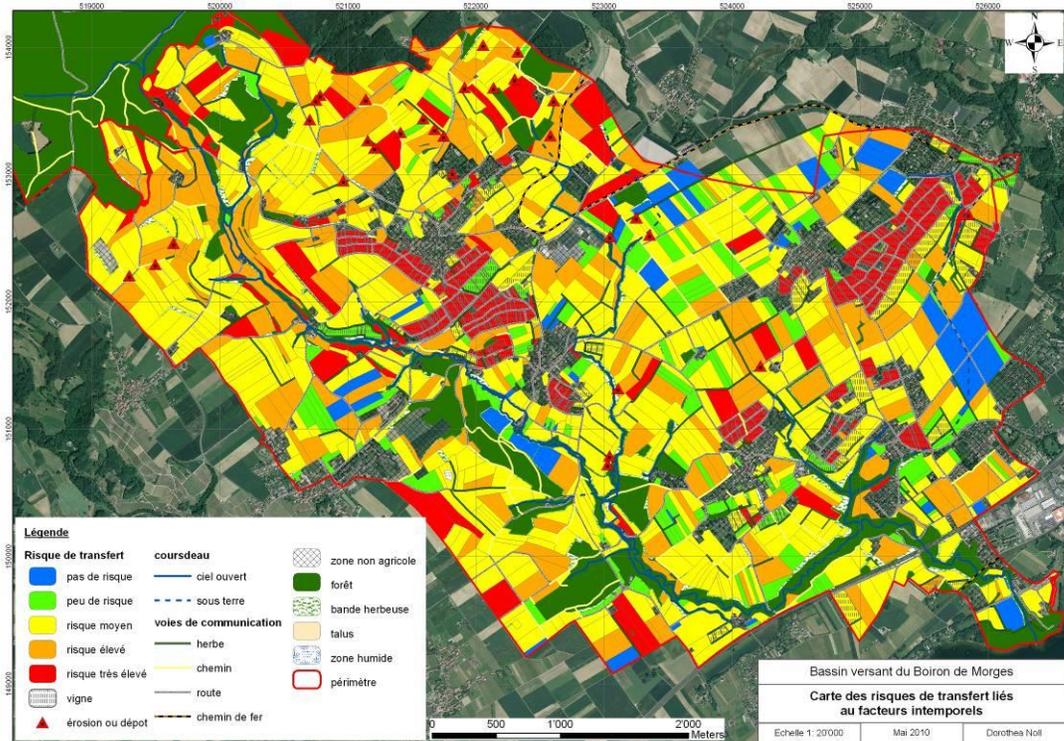


Fig. 5.15: Facteur intemporels du Boiron de Morges, selon la méthode NOLL. Source : NOLL et al. (2010)

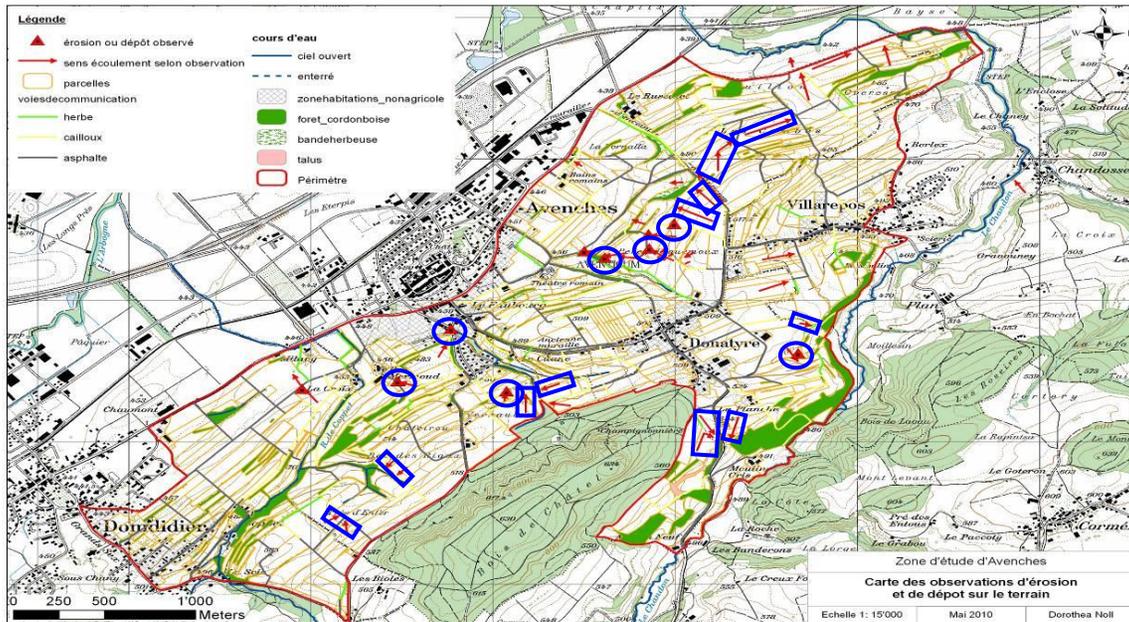


Fig. 5.16: comparaison entre les érosions effectives dans la région d'Avenches et les modélisations réalisées avec AVErosion et MUSLE87 Les zones concordantes avec la CRE2 sont indiquées en bleu (cf. fig. 5.12). Source : d'après P. JULIEN.

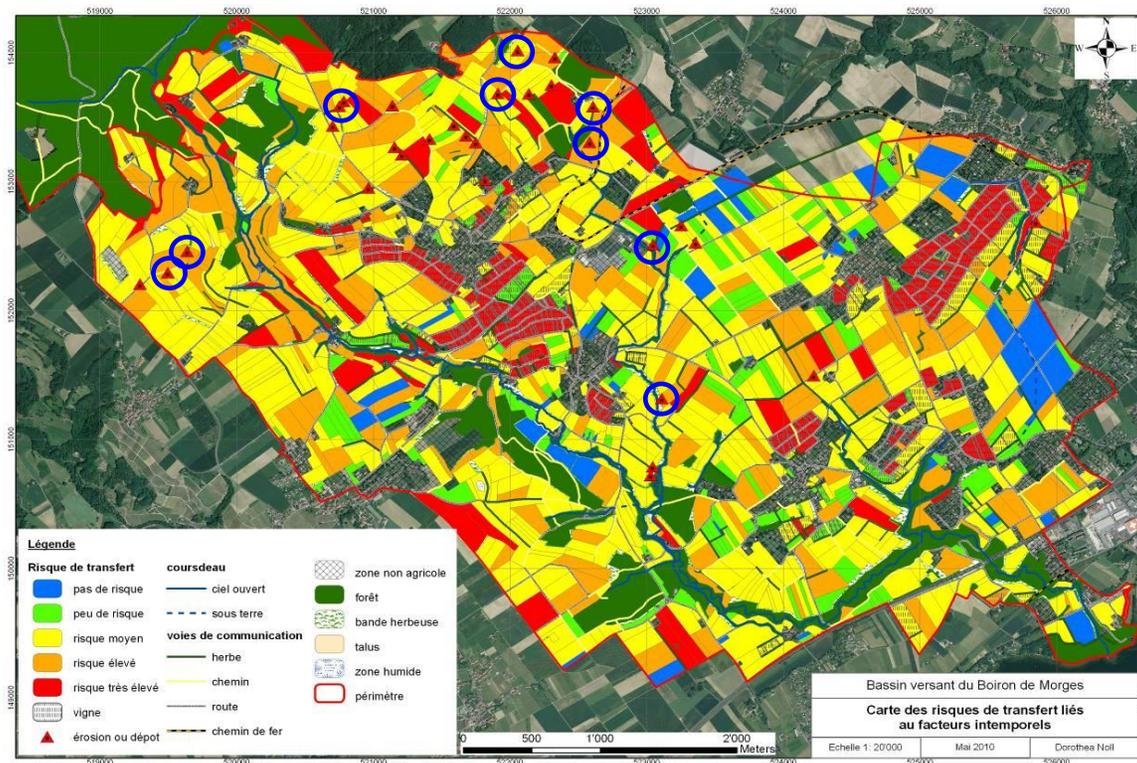


Fig. 5.17: comparaison entre les érosions effectives dans la région du Boiron de Morges et les modélisations effectuées par NOLL et al. (2010). Les zones concordantes avec la CRE2 sont indiquées en bleu (cf. fig. 5.16). Source : d'après P. JULIEN.

Il n'est pas possible de juger quelle méthode donne les meilleurs résultats. La prise en compte de la proximité du cours ou du plan d'eau est plutôt défavorable pour l'estimation des seules pertes de sol, et ce d'autant plus qu'il s'agit d'un facteur relativement prépondérant dans la méthode NOLL. En revanche, elle prend tout son sens lorsqu'il s'agit d'évaluer les apports de phosphore, de sédiments ou de pesticides dans les eaux. Par ailleurs, le choix de la méthode dépend des échelles ainsi que des données de bases et des ressources disponibles. La méthode de NOLL ne peut guère être appliquée à l'échelle de la Suisse.

## 6. AIDES À L'INTERPRÉTATION CONCERNANT LA CRE2 (ÉTUDE DE CAS)

Le risque d'érosion étant conditionné dans une large mesure par la topographie du terrain, il est possible d'obtenir une bonne approche du relief réel à partir de la carte. Cela permet de savoir s'il y a un risque d'érosion et pourquoi. Pour interpréter la représentation graphique du risque potentiel d'érosion de la CRE2, il est utile de se poser les questions suivantes: où se trouvent les cuvettes? Où se trouvent des fossés? Quel est en gros le relief du terrain? Où trouve-t-on des pentes concaves ou convexes, dans quelle direction l'eau s'écoule-t-elle? Ces structures peuvent souvent être identifiées dans la CRE2 de manière détaillée, permettant une première analyse des causes. Pour expliquer la démarche et donner quelques conseils sur la manière d'aborder une telle évaluation, des exemples illustrés figurent ci-après. Ils donnent des points de repère pour se faire rapidement une idée d'après la carte et l'interpréter correctement.

D'une manière générale :

**En vert = surfaces relativement planes, fonds de vallées, pied de coteau ou plateau ou pied de talus (pente érosive très courte ou tracé de l'écoulement de l'eau)**

**En jaune = zone transitoire, pente faible à moyenne**

**En rouge = pente moyenne à forte, cuvette, talus**

### 6.1 Evaluation de la topographie du terrain et sens de l'écoulement à partir de la carte d'érosion

Il s'agit tout d'abord d'évaluer l'orientation de la déclivité. Comme l'érosion se manifeste toujours le long des voies d'écoulement et donc de la pente, plus la pente sera forte et longue, plus l'érosion sera importante. Cependant, si l'on se situe au début d'une portion de pente, la longueur de l'écoulement (longueur de pente érosive) est trop petite pour pouvoir provoquer d'importantes pertes de terre. Ces sections apparaissent en vert. Le périmètre d'un bloc de parcelles situé plus en altitude figurent toujours en vert (la longueur de l'écoulement commence à cet endroit par zéro). **Ainsi si l'on cherche l'orientation de l'inclinaison d'une pente, le mieux est de s'orienter d'après les couleurs, en passant du vert au jaune, puis au rouge.** Si les couleurs passent de nouveau du jaune au vert, on peut en conclure que l'orientation de l'inclinaison a changé et qu'on aborde un versant opposé (contre-pente) (cf. fig. 6.1) ou que la pente aboutit dans un terrain plat.

### **6.1.1 Exemple 1: forme du terrain**

Dans la figure suivante (6.1) la déclivité autour du point bleu clair change selon où on se situe le long de la flèche (cf. profil). On peut également lire cette déclivité sur la représentation de la carte des risques d'érosion. Partant du point bleu clair en direction du début de la flèche située en bordure du bloc de parcelles, on trouve tout d'abord des tonalités vertes, qui passent peu à peu au jaune, pour aboutir au rouge en bordure de bloc de parcelles. Cela montre d'une part que la déclivité part du point bleu clair et d'autre part qu'elle n'est pas très forte, vu que le changement des couleurs n'est pas abrupt. Il en va tout autre si l'on part du point bleu en direction de la pointe de la flèche. La déclivité du terrain est également indiquée par la suite de couleurs vert-jaune-rouge. Le changement de couleurs cependant a lieu sur des distances courtes, indiquant une pente plus forte (cf. profil). Autour du second point (bleu foncé), le risque d'érosion s'affaiblit, ce qu'indique la suite de couleurs rouge-jaune-vert (teintes moins marquées). Cela traduit un changement d'inclinaison dans la direction inverse (cf. profil). Comme les couleurs sont plutôt diffuses, on peut s'attendre à une inclinaison plus faible (cf. profil). Vers la pointe de la flèche, la déclivité change de nouveau (vert-jaune-rouge) ; cela signifie que la pente diminue en direction de la pointe de la flèche.

Ainsi, dans d'autres zones, on peut rapidement et de manière simple relier la carte de risque d'érosion aux informations topographiques. Il est important de noter si l'on trouve en bordure de blocs de parcelles des pixels verts ou des pixels rouges. On a alors une première indication si l'on se situe en bordure supérieure, ou en terrain plat (vert), ou en bordure inférieure (rouge) d'un bloc de parcelles.

### Interpretation der Geländeform anhand des Erosionsrisikos

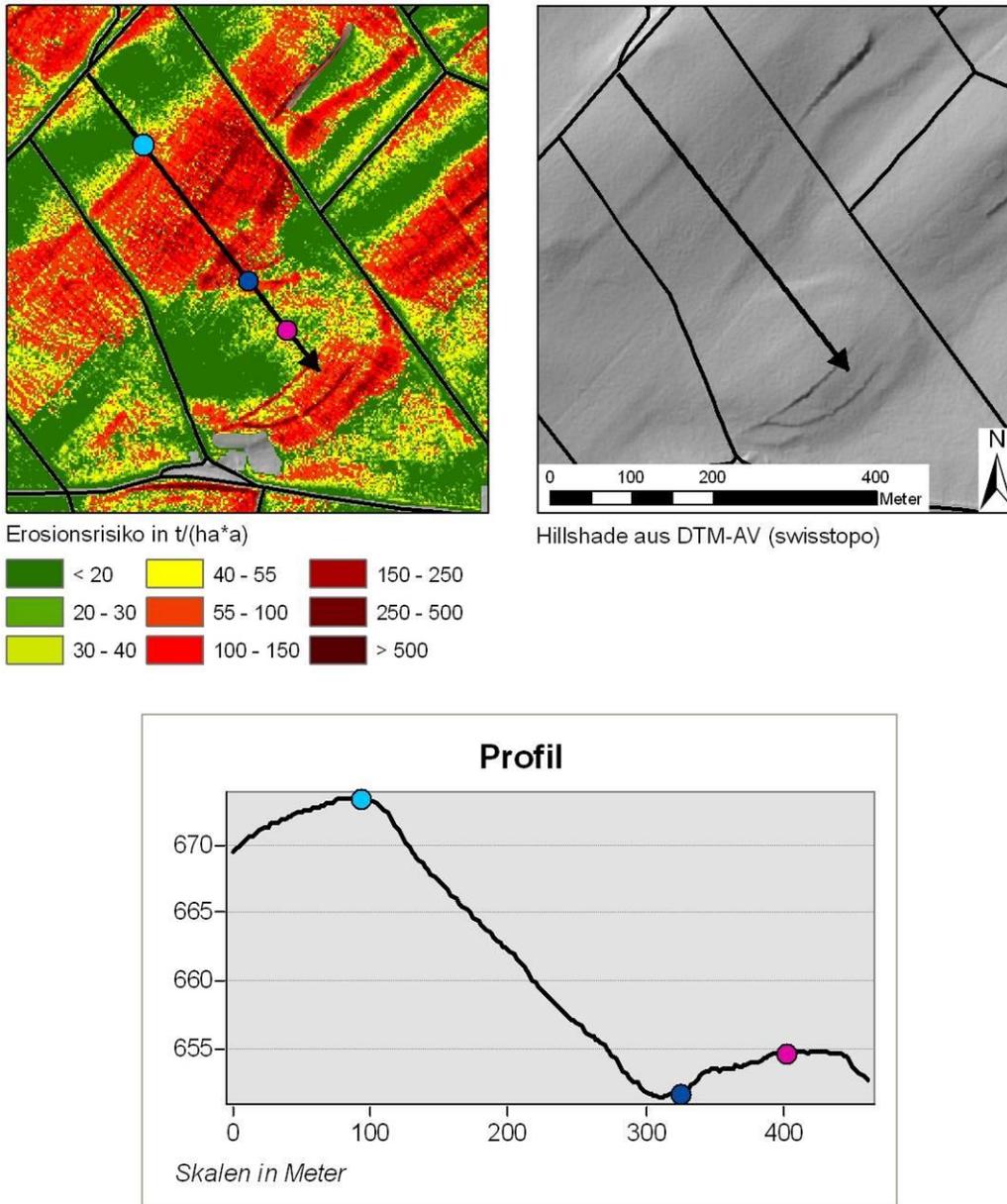
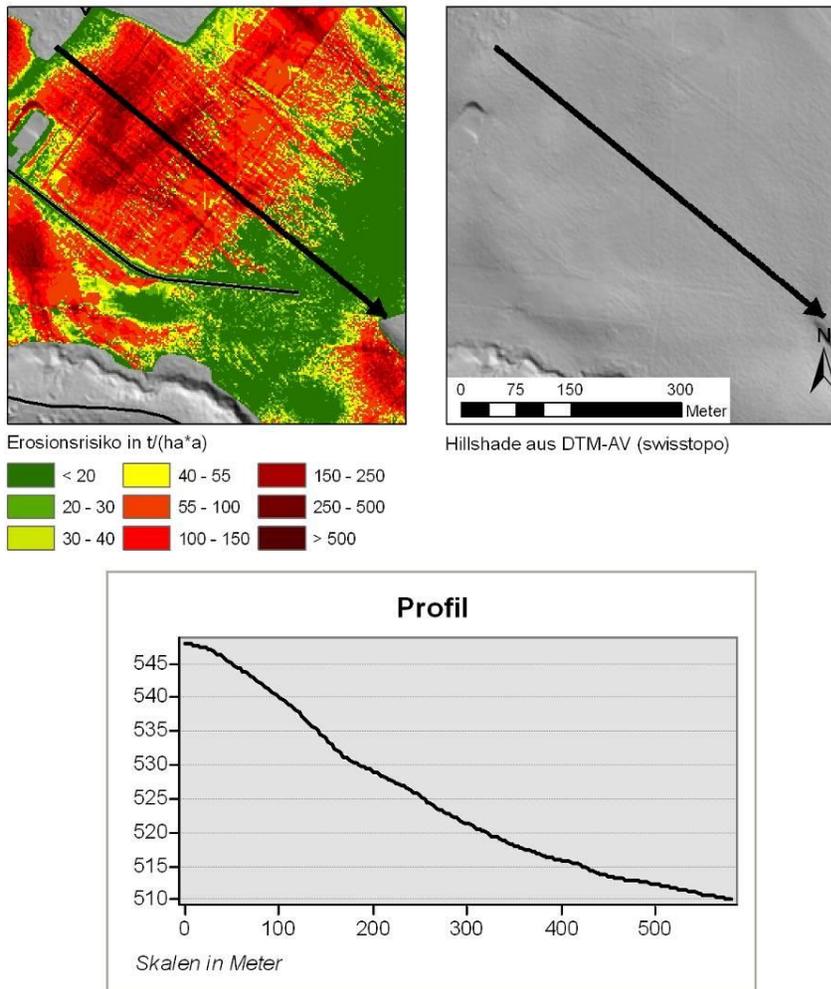


Fig. 6.1: la figure montre un bloc de parcelles avec différentes formes de terrain et leurs formes d'érosion (gauche), selon le Hillshade correspondant (issu de DTM-AV, swisstopo, droite) et le profil correspondant (en bas). Source : document interne

**6.1.2 Exemple 2: pente longue**

Lorsqu'une pente va en diminuant en direction du pied de la pente et s'aplanit, le risque d'érosion diminue dans ce sens (rouge-jaune-vert) (cf. fig. 6.2). Dans la figure suivante, on voit une pente dont la déclivité est relativement égale et qui est légèrement concave sur le côté (c'est pourquoi on trouve davantage de rouge au centre qu'en bordure). L'orientation de la pente est contraire au sens de la flèche et le risque d'érosion va en s'affaiblissant dans la plaine (rouge-jaune-vert). Ce déroulement va à l'inverse de l'exemple 1, dont la pente allait en direction vert-jaune-rouge. L'élément important ici est qu'on trouve la suite vert-jaune-rouge au début de la flèche. La déclivité va dans le sens de la flèche et on trouve une grande plaine verte au pied de la déclivité, qui a coup sûr est très plane. Dans le haut de la représentation, on trouve une délimitation très nette où les échelons de risque changent; dans le base du graphique, la situation est plus

Interpretation der Geländeform anhand des Erosionsrisikos  
Gestreckter Hang, auslaufend



égale.

Fig. 6.2: la figure montre une pente longue et son profil d'érosion (gauche), selon le Hillshade correspondant (issu de DTM-AV, swisstopo, droite) et le profil correspondant (en bas). Source : document interne

### 6.1.3 Exemple 3: Talweg/cuvettes

Les cuvettes sont des dépressions du terrain qui canalisent les eaux, puis les évacuent (ce qu'on appelle le talweg). En raison des masses d'eau qui convergent vers les cuvettes et de l'augmentation du facteur L qui s'ensuit, ces types de pente se caractérisent par un risque d'érosion très élevé (cf. fig. 6.3, gauche). La structure en fossé (profil bleu) et la pente longitudinale correspondante (profil noir) contribuent à cet effet. Suite à la convergence des masses d'eau, ces forces énormes se développent et peuvent transporter plusieurs tonnes de terre. Si ces structures sont présentes dans la CRE2, il est recommandé d'effectuer un examen détaillé de la situation, car de telles structures conduisent fréquemment à des pertes de sol importantes (érosion de talweg).

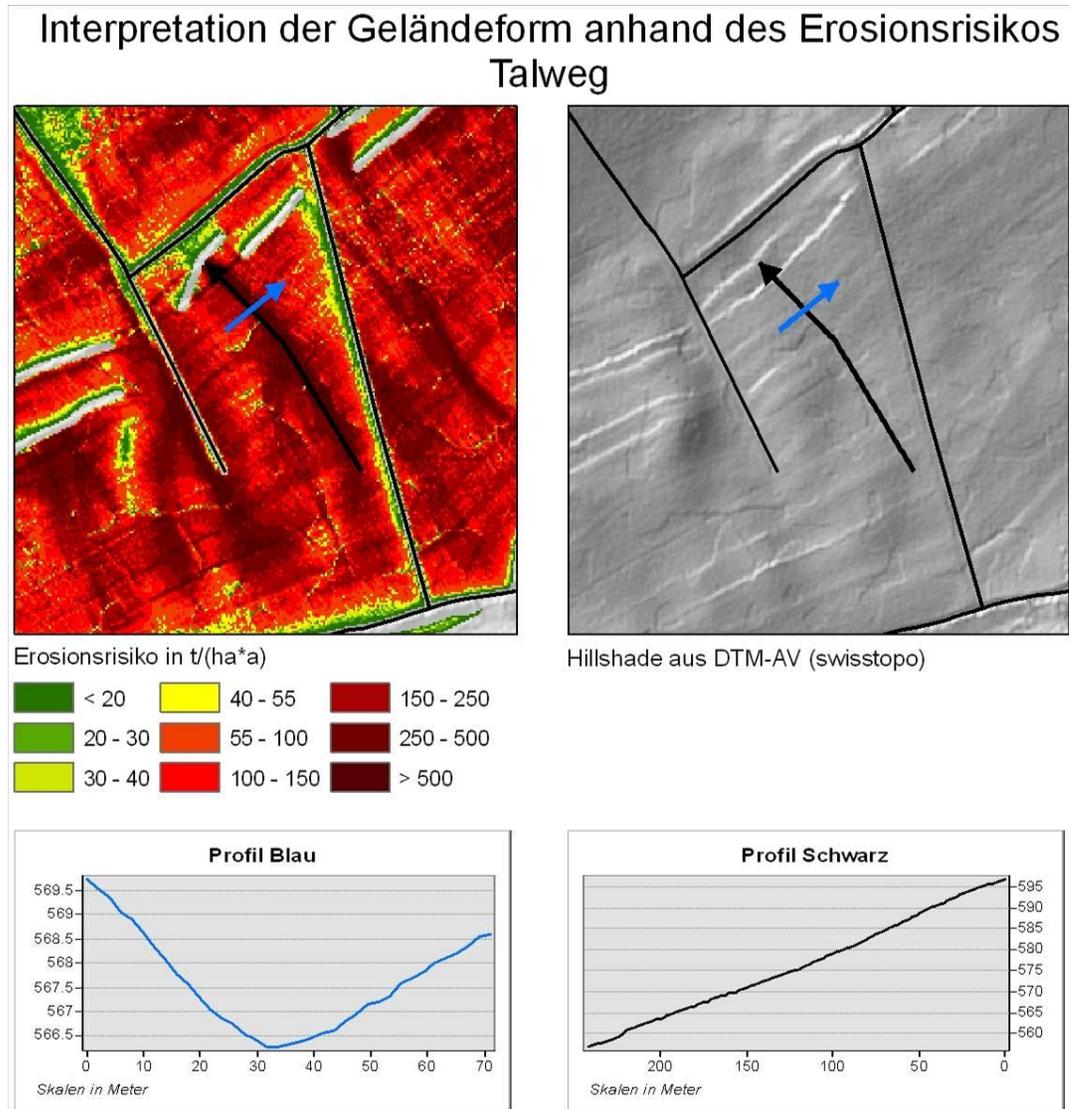


Fig. 6.3: la figure montre une cuvette présentant un risque élevé d'érosion de Talweg (gauche), selon le Hillshade correspondant (issu de DTM-AV, swisstopo, droite) et les profils correspondants (en bas). Source : document interne

### 6.1.4 Exemple 4: arête de terrain

Les arêtes de terrain sont des pentes raides étroitement délimitées dans l'espace qui peuvent être présentes, par exemple, d'un niveau de terrasse à un autre. Elles sont souvent accompagnées de rangées de haies ou d'arbres (cf. traits blancs dans les blocs de champs à la fig. 6.4, en haut à gauche). Le DTM-AV très détaillé avec sa résolution de 2x2m illustre une telle arête de terrain. Elles sont donc également prises en compte dans le calcul du risque d'érosion. Les arêtes se caractérisent par leur facteur S très élevé (pente) dans le résultat final et y sont reconnaissables à leurs structures linéaires rouges sombres. Selon la direction du terrain, soit le risque d'érosion diminue (terrain plat, cf. 1 à la fig. 6.4) et reste donc très limité dans l'espace, soit il s'agit du début d'une partie en pente plus longue comportant un risque d'érosion plus élevé (cf. 2 à la fig. 6.4).

#### Auswirkungen von Geländekanten auf das Erosionsrisiko

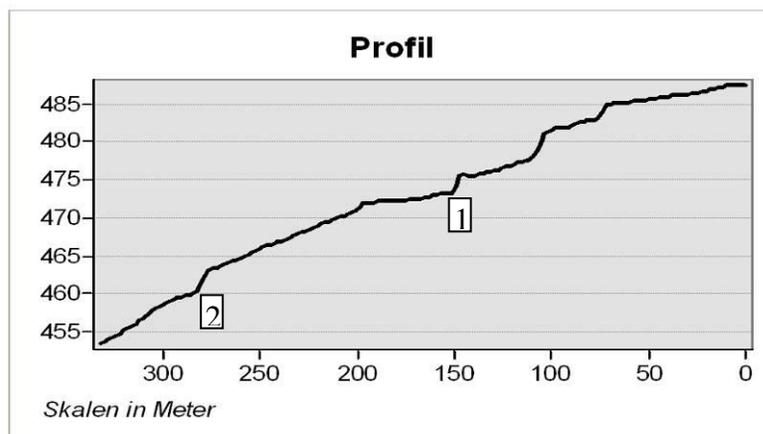
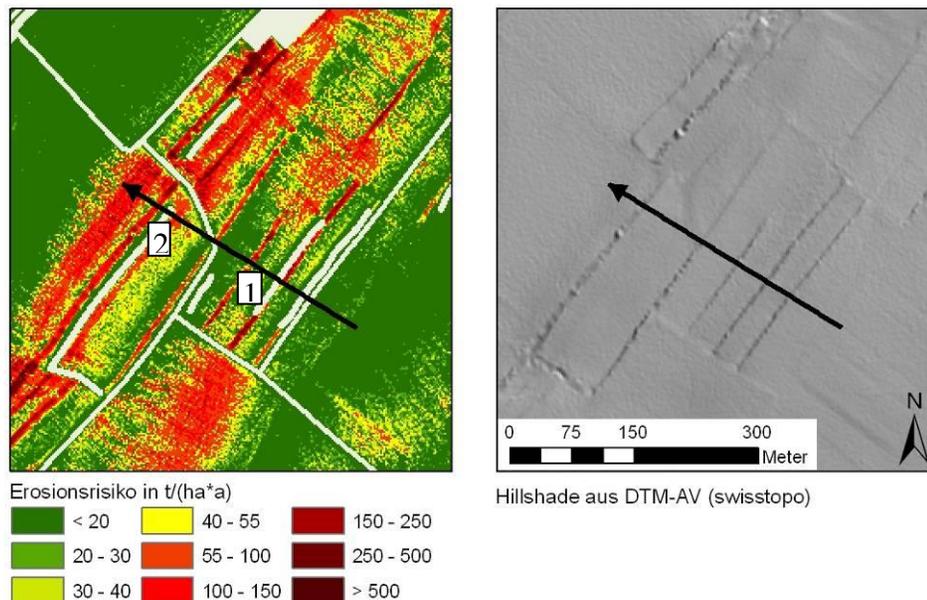


Fig. 6.4: la figure montre une arête de terrain et ses formes d'érosion (gauche), selon le Hillshade correspondant (issu de DTM-AV, swisstopo, droite) et le profil correspondant (en bas). Source : document interne

**6.1.5 Exemple 5: haies**

La figure ci-dessous montre un exemple de haies et d'arêtes de terrain. Les haies ont un effet de réduction de l'érosion (interruption des longueurs de pente érosives), ce que l'on peut voir aux zones vertes-jaunes à la limite inférieure des haies. Comme la pente est très importante dans ce cas de figure, cet effet reste cependant relativement limité. La disposition des zones vertes-jaunes permet aussi de déterminer la direction de la pente. Celle-ci va des zones rouges au-dessus d'une haie à la zone verte-jaune en dessous (cf. figure et profil).

**Auswirkungen von Geländekanten und Hecken auf das Erosionsrisiko**

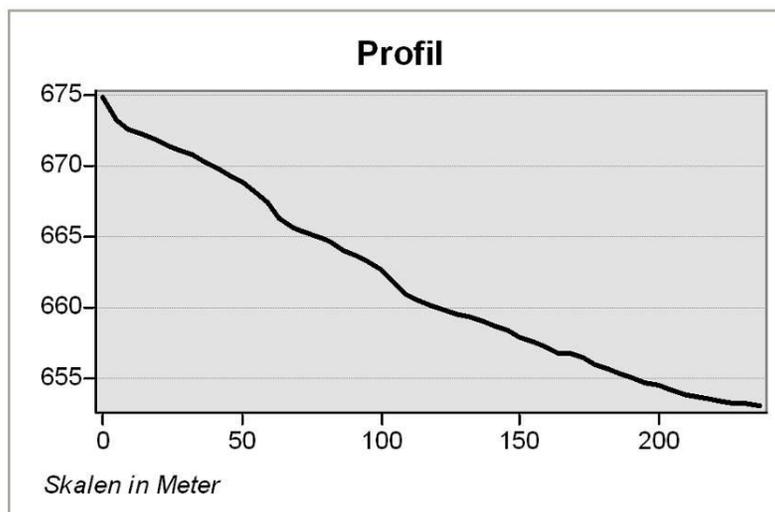
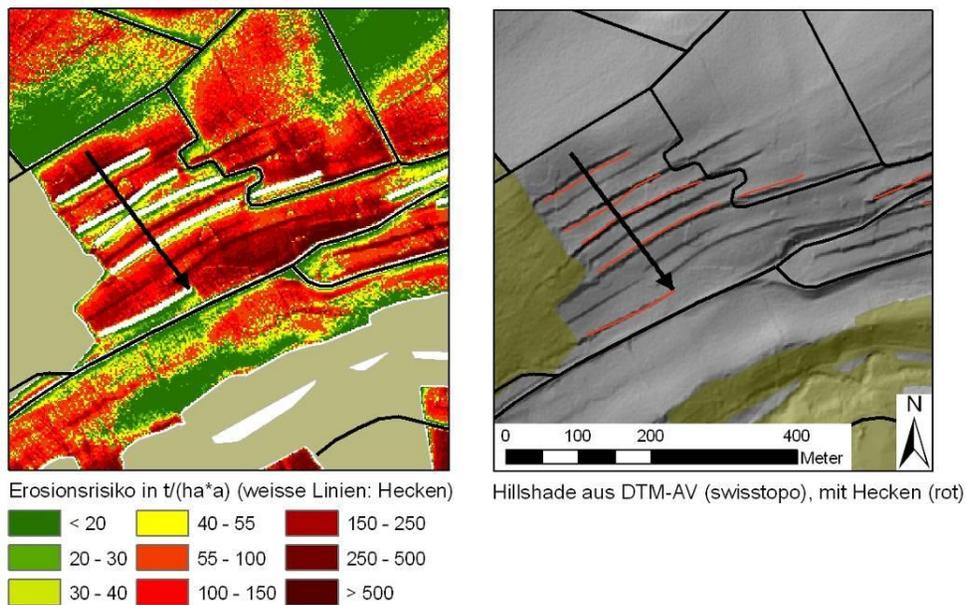
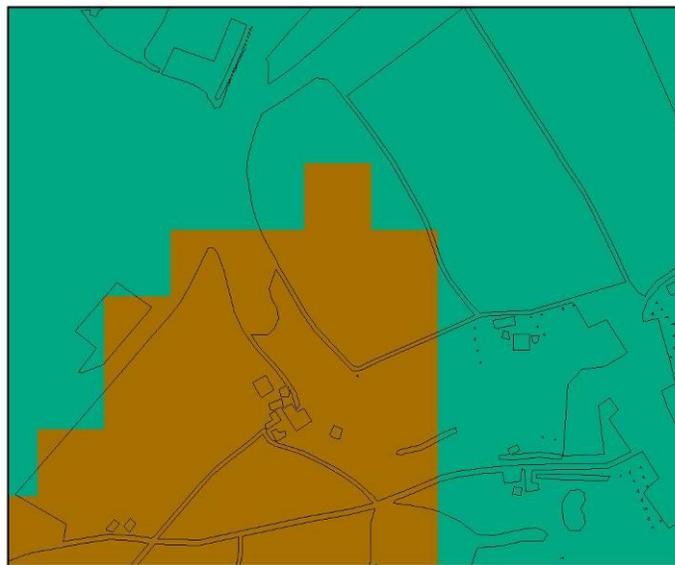


Fig. 6.6: la figure montre une arête de terrain avec des haies et ses formes d'érosion (gauche), selon le Hillshade correspondant (issu de DTM-AV, swisstopo, droite) et le profil correspondant (en bas). Source : document interne.

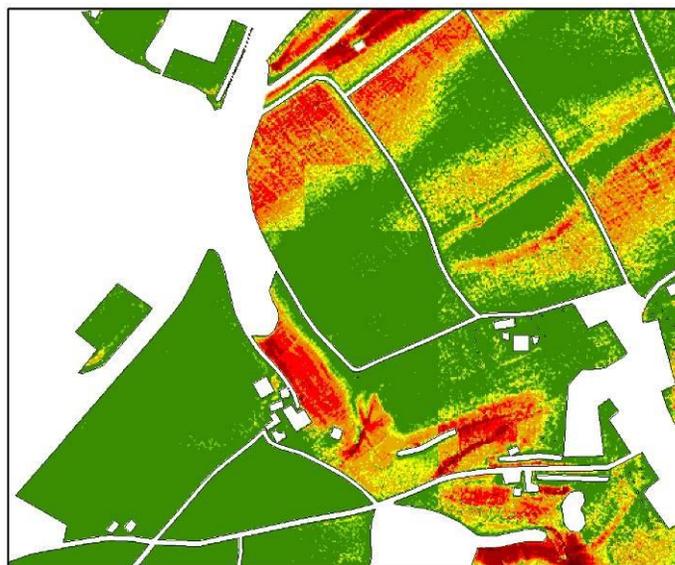
## 6.2 Eléments particuliers dans la CRE2

### 6.2.1 Exemple 6: influence de différentes échelles (facteur K)



K-Faktor

0.35 0.15



Erosionsrisiko in t/(ha\*a)

< 20	30 - 40	55 - 100	150 - 250	> 500
20 - 30	40 - 55	100 - 150	250 - 500	

Cet exemple montre les effets de différentes échelles des données de base. L'exemple montre le facteur K, qui n'existe qu'à l'échelle 1:200 000 dans la zone représentée. La résolution utilisée dans le raster par hectare est beaucoup plus réduite que celle du DTM-AV (2x2m). En outre, le facteur K change ici de plus de deux classes, passant de 0,15 à 0,35. Cette influence est clairement perceptible dans la carte des risques d'érosion. La zone dont le facteur K est de 0,15 y est représentée avec un facteur de risque plus bas et le raster par hectare du facteur K montre un échelonnement angulaire dans la représentation. Cela ne correspond naturellement pas à la réalité. C'est pourquoi ces éléments sont signalés ici. **Ces modifications angulaires dans la CRE2 s'expliquent la plupart du temps par des différences d'échelle dans les données de base.** Dans le cas du facteur R, ce problème est moins présent, même si la résolution est aussi plus faible. Les différences entre deux pixels ne sont jamais aussi importantes qu'en ce qui concerne le facteur K, car le facteur R utilise des valeurs graduelles et pas de classes. Cet exemple montre en même temps que des données sur le sol avec une meil-

Fig. 6.7: La figure montre un extrait de la CRE2 (en bas) et le facteur K correspondant. Elle montre l'influence de la résolution du facteur K sur la CRE2. Source : document interne

leure résolution fourniraient une image plus réaliste du risque d'érosion. Si l'utilisateur dispose de données sur le sol avec une meilleure résolution, il peut les utiliser. La procédure a été décrite au ch. 4.2.2.

### **6.2.2 Exemple 7: problèmes aux limites de carrés**

Comme déjà mentionné au ch. 3.2.1, il existe parfois des transitions erronées dans les données DTM-AV. Elles se trouvent principalement au niveau du raccord entre deux feuilles de cartes de la LK25 et de la LK50, mais peuvent également apparaître avec l'unité de base ( $1/16$  LK25) (cf. fig. 6.8). Les limites de carré qui ne coïncident pas provoquent la constitution de « barrages » ou de « canaux » artificiels, qui ont un impact sur la modélisation de l'érosion (image de gauche). Elles influencent les lignes d'écoulement de « l'eau virtuelle » lors du calcul des facteurs L et S et sont à l'origine d'erreurs de calcul. Ces structures sont nettement reconnaissables lors de la représentation d'un Hillshade à partir du DTM-AV (image de droite). La prudence est de mise pour l'évaluation de telles zones, car cela provoque parfois des modifications importantes du risque d'érosion. En cas de doute, il convient de demander à Swisstopo si un DTM-AV corrigé a été établi entre-temps et d'effectuer un nouveau calcul à l'aide d'AV-Erosion.

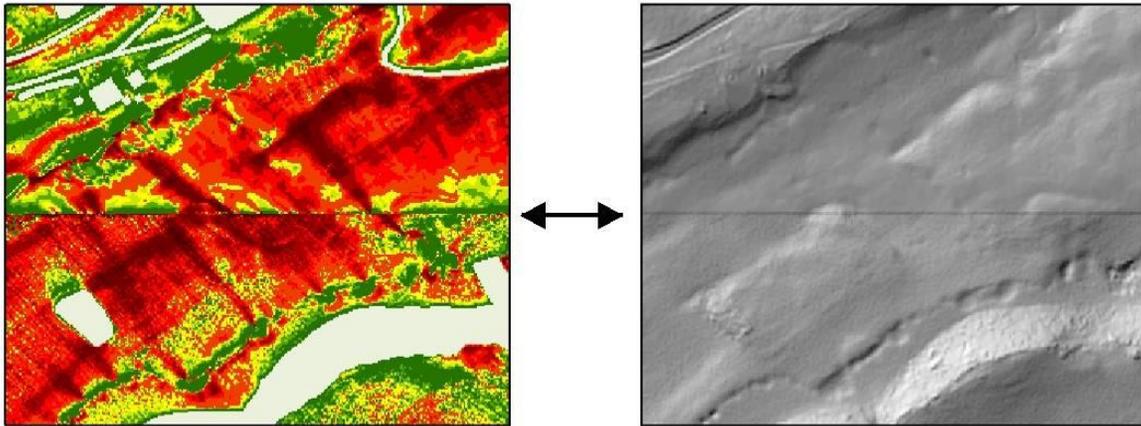


Fig. 6.8: effet des erreurs de transition aux limites des carrés. La figure montre la transition d'une feuille de cartes  $1/16$  LK25 à la suivante. A gauche : effets sur la modélisation de l'érosion. A droite : représentation sous forme de Hillshade (DTM-AV, swisstopo) avec une ligne clairement visible. Source : document interne

### 6.3 Comparaison avec des événements réels

Les exemples ci-après illustrent des sections de pente/parcelles fortement à risque présentant des formes d'érosion typiques et l'extrait correspondant de la CRE2. La comparaison entre photo et carte doit montrer comment il faut se représenter les extraits de carte de la CRE2 dans la réalité (cf. fig. 6.9 – 6.14).

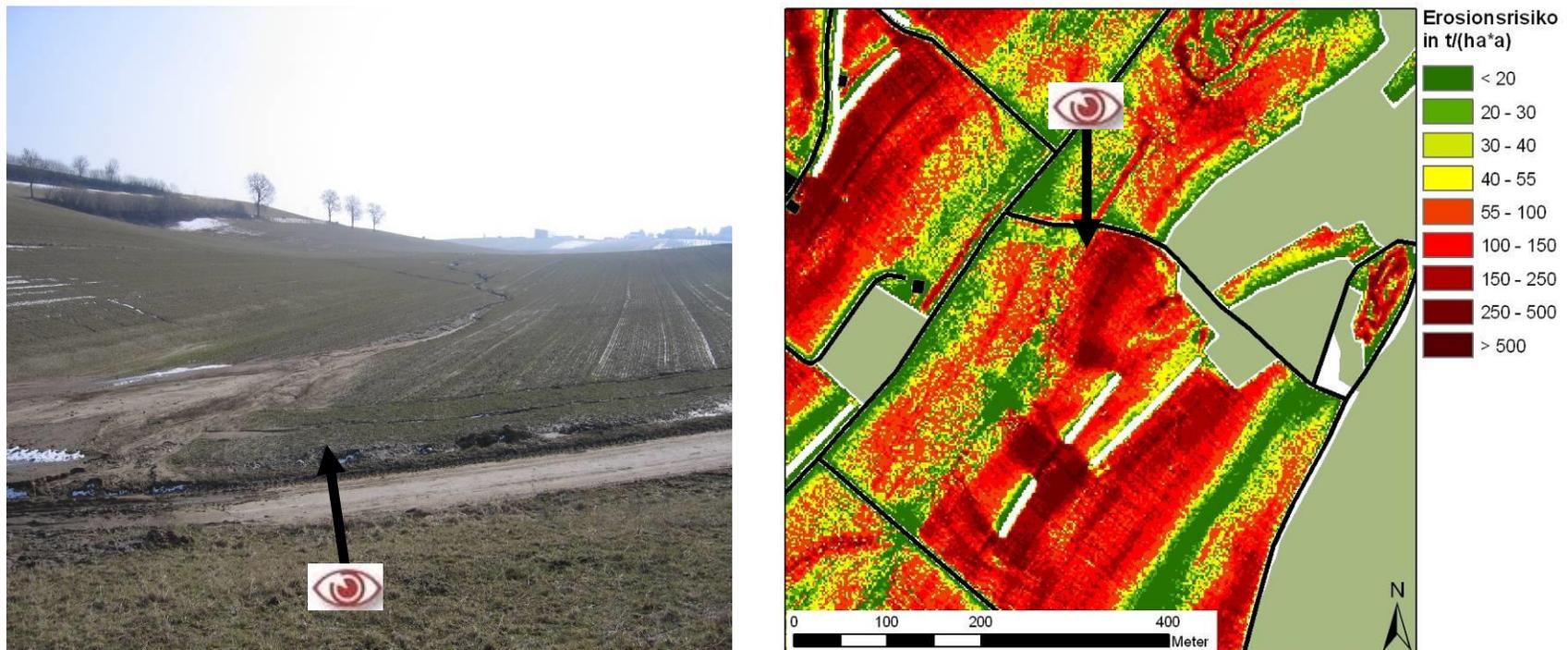


Fig. 6.9: comparaison entre photo et risque d'érosion modélisé. A gauche sur la photo, une forte pente présentant de l'érosion, au milieu une cuvette avec de l'érosion de talweg. En haut à gauche, deux haies, qui sont également représentées dans le modèle. Source : document interne, photo Thomas Ledermann (CDE).

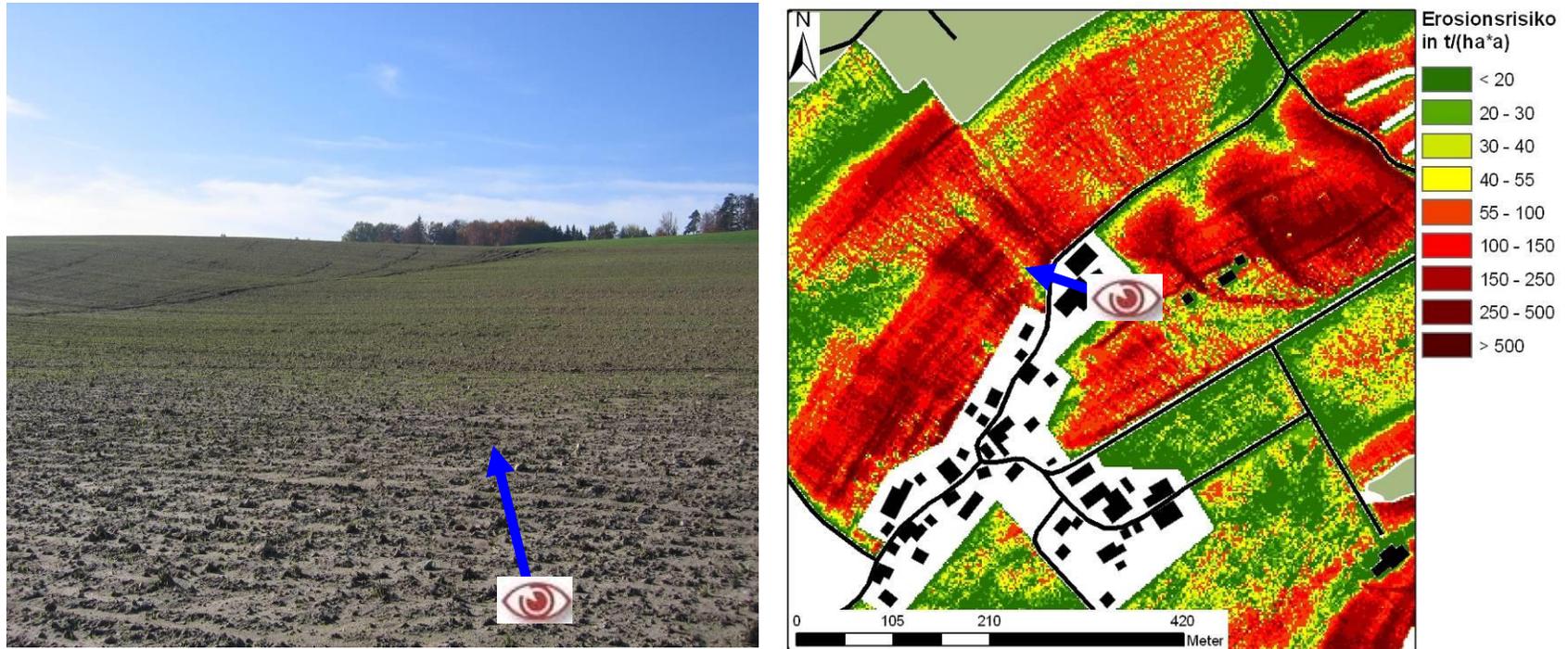


Fig. 6.10: comparaison entre photo et risque d'érosion modélisé. Pente raide présentant une érosion de surface et cuvette présentant une érosion linéaire. Source : document interne; photo: Thomas Ledermann (CDE).

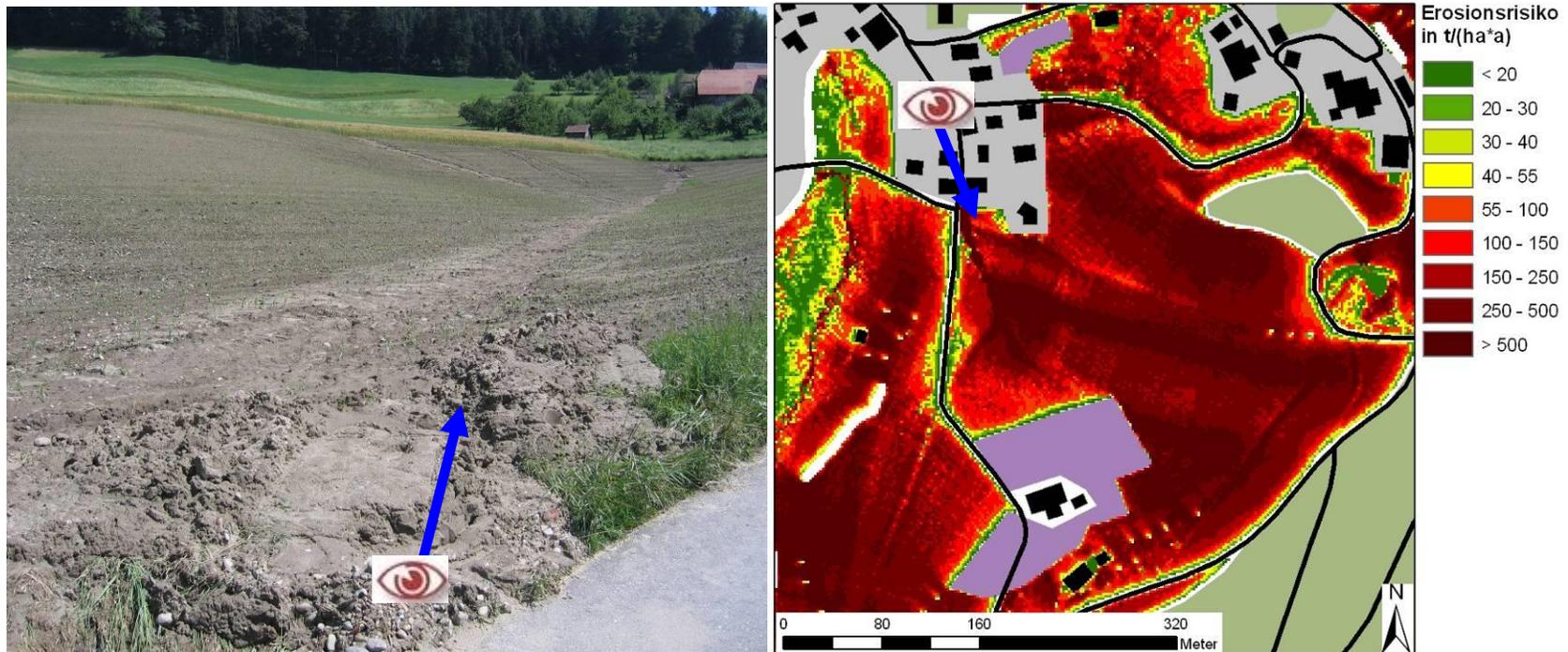


Fig. 6.11: Comparaison entre photo et risque d'érosion modélisé. La cuvette typique avec l'érosion de Talweg est aussi bien représentée dans le modèle. L'eau s'écoule également à partir des parcelles enherbées fortement menacées par l'érosion au-dessus du champ. Source : document interne, photo Thomas Ledermann (CDE).

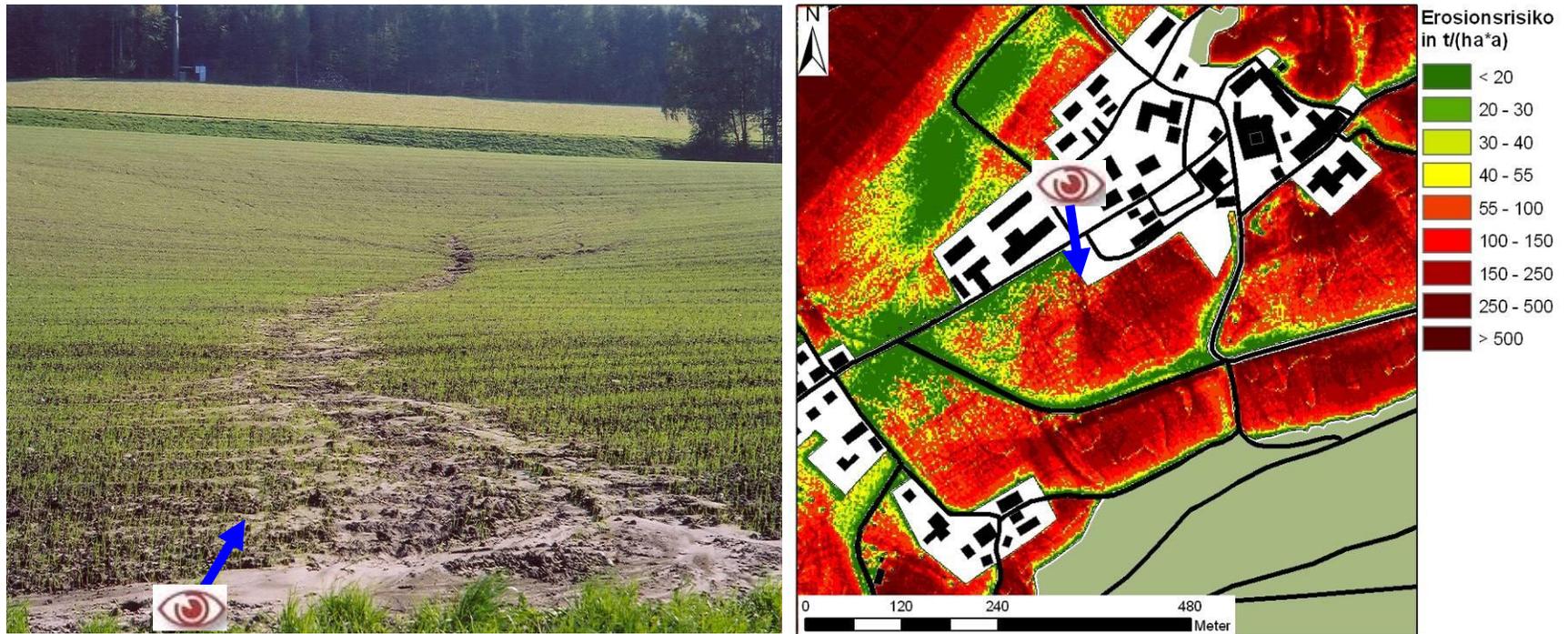


Fig. 6.12: Comparaison entre photo et risque d'érosion modélisé. Un autre exemple de cuvette avec érosion de Talweg. Source : document interne, photo Volker Prasuhn (ART).

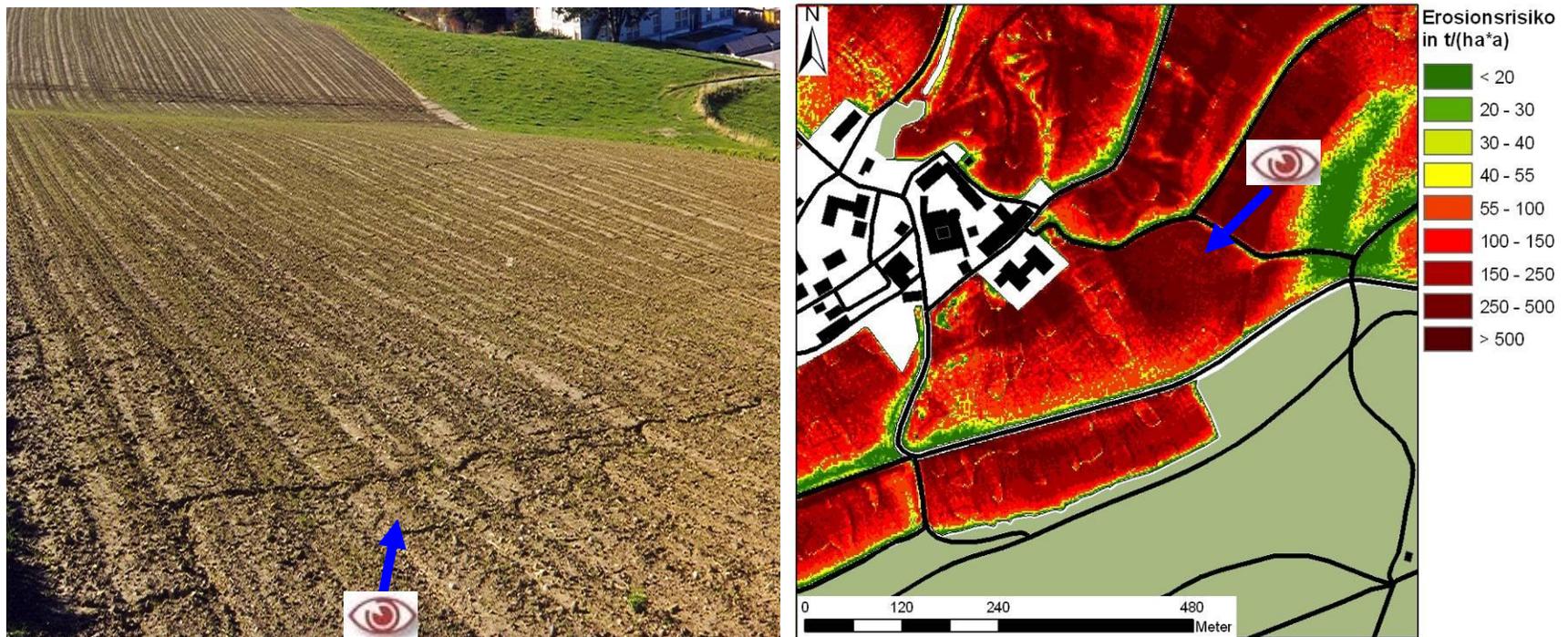


Fig. 6.13: Comparaison entre photo et risque d'érosion modélisé. Cuvette située dans une forte pente transversale. La cuvette est également bien visible dans le modèle (changement entre les zones rouges et rouges sombre). Source : document interne, photo Volker Prasuhn (ART).

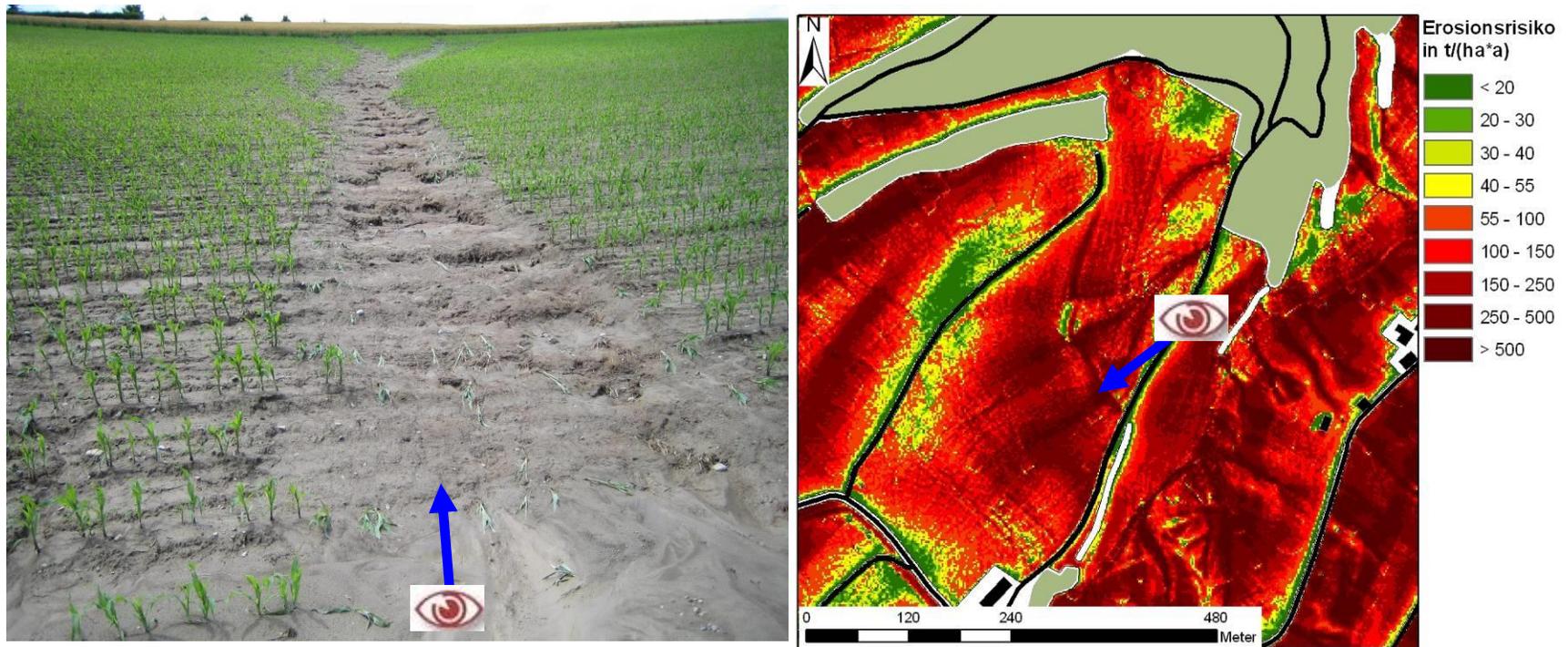


Fig. 6.14: Comparaison entre photo et risque d'érosion modélisé. La cuvette typique avec érosion de Talweg dans un champ dont la culture (maïs) est en début de phase de croissance. La végétation ne suffit pas encore pour résister à la force érosive de l'eau. La cuvette est également nettement visible sur la carte. Source : document interne, photo Volker Prasuhn (ART).

## 7. AUTRES ANALYSES

### 7.1 Etablissement de statistiques sur la base de rec\_eros\_xxx

Les évaluations statistiques peuvent être intéressantes, notamment pour l'exécution. Elles permettent p. ex. de déterminer si une valeur seuil spécifique est dépassée sur une certaine unité de surface. Les valeurs seuils sont, par exemple, un certain pourcentage de pixels dans une classe déterminée, une proportion de surface dans une certaine classe, en chiffres absolus, ou une combinaison de ces deux cas. Il est donc facile de déterminer si une parcelle, un bloc de parcelles ou une commune comporte plus de 50 % (ou toute autre proportion) ou plus d'un hectare (ou toute autre surface) de terrain présentant un risque d'érosion.

L'évaluation peut se faire au moyen d'un ensemble de données polygonales ou raster (integer). Le plan des blocs de parcelles représente une possibilité, un plan des parcelles spécialement conçu à cette fin en est une autre. En outre, il est possible d'utiliser les limites communales, de district ou cantonales. Les données doivent disposer d'un tableau d'attributs comportant un champ qui permette d'identifier sans erreur possible les différentes zones. Si les jeux de données ne correspondent pas exactement, seuls les pixels se trouvant dans les zones préparées seront évalués.

#### Méthode:

- marquer les polygones voulus (l'évaluation ne porte que sur l'extrait) ;
- Pour pouvoir par la suite interroger directement les valeurs au moyen de l'identifiant, il est recommandé de sélectionner les polygones marqués au moyen de la touche « Select »;
  - o ou préparer un jeu de données raster
- charger le jeu de données « rec\_eros\_xxx » correspondant
  - o si l'analyse porte sur une zone de relativement grande dimension, les tuiles doivent tout d'abord être disposées en mosaïque.

Lancer la fonction « Tabulate Area »

- Input raster or feature zone data: jeu de données polygones ou raster
  - o pour le polygone, prendre les données préparées avec « Select »
- Zone field: champ qui permet d'attribuer les zones sans erreur possible, p. ex. FID
- Input raster or feature zone data: rec\_eros\_xxx ou tuiles disposées en damier
- Class field: Value (default)
- Output table: dossiers et noms pour le tableau
- Processing cell size: 2

- Environments: dans le registre « General Settings », on peut indiquer le jeu de données rec\_eros\_xxx cinne « Snap Raster »
- OK

Dans « Table of Content », on peut activer l'onglet « Source ». Le tableau devrait ensuite être visible.

- Clic à droite : Open

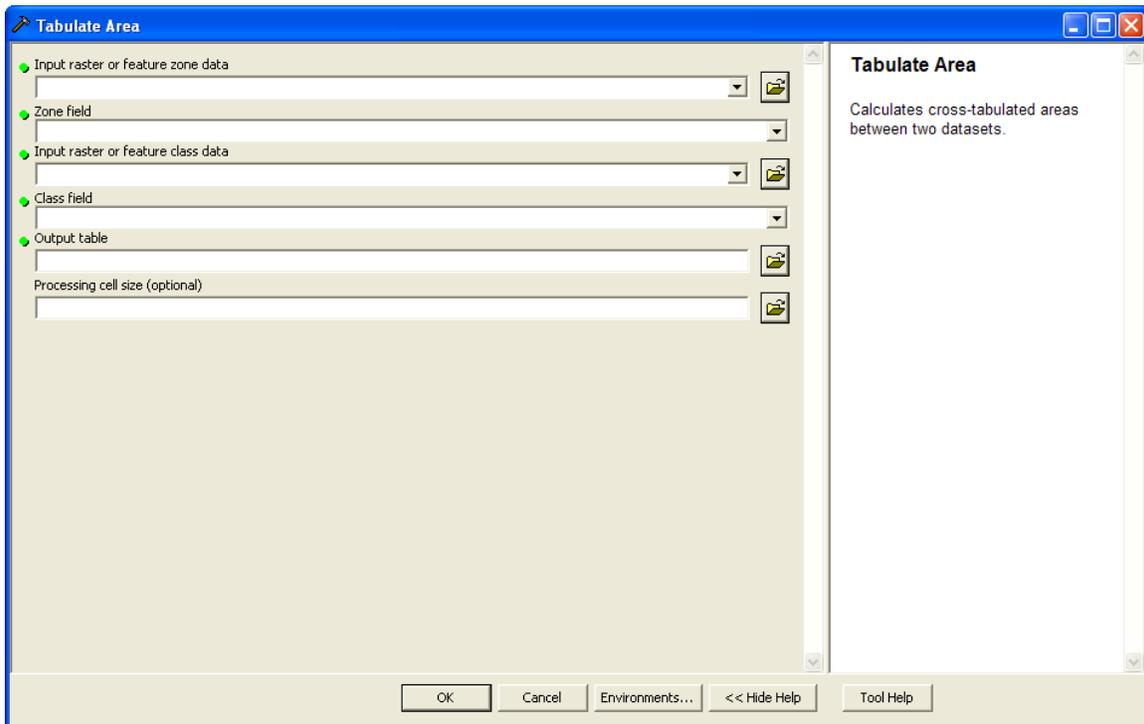


Fig. 7.1: Tabulate Area: Etablit un tableau croisé avec deux jeux de données Source : Screenshot ArcMap 9.3 ESRI

Pour relier le jeu de données de polygones, la fonction « Join Field » peut être activée.

En cliquant sur le champ « Zone field » les deux tableaux peuvent être reliés.

Cela permet par la suite, grâce à l'« Identifier », de sélectionner un polygone et de visualiser immédiatement sa classe de valeur (classes 1, 2, 3).

 = Identifier

- Input Dataset: Jeu de données polygones
- Input Join Field: Le « Zone field » sélectionné auparavant , p. ex. FID
- Join Table: Le tableau établi à partir de « Tabulate Area »
- Input Join Field: Le « Zone field » , correspondant qui a été sélectionné

- Join Fields (optionnel): Ici, les champs à relier peuvent être sélectionnés. Recommandation: Value\_1, Value\_2, Value\_3. Elles correspondent aux classes 1, 2, 3.
- OK
- Les tableaux sont reliés et le tableau des attributs du jeu de données des polygones contient maintenant les données supplémentaires relatives à la répartition des surfaces en classes.
  - o Les valeurs doivent être exprimées en m<sup>2</sup>

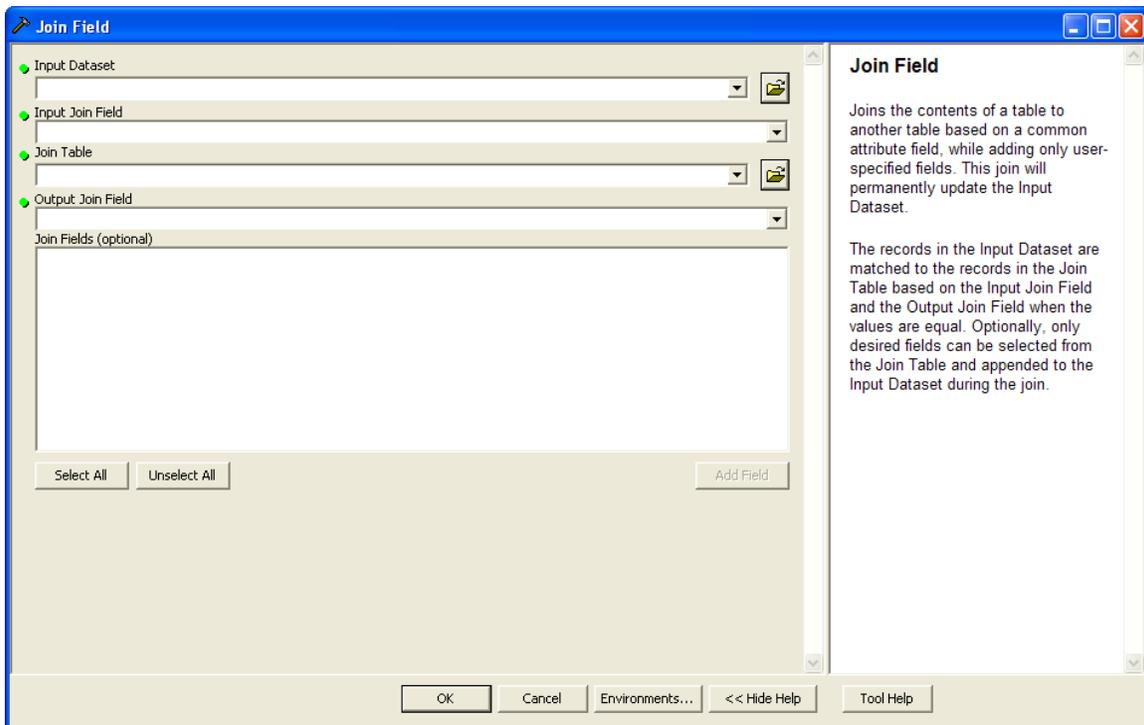


Fig. 7.2: Join Field: relie deux tableaux au moyen d'un champ identifiant commun. Source : Screenshot ArcMap 9.3 ESRI

Les valeurs chiffrées donnent la surface en m<sup>2</sup>, 1 pixel = 4m<sup>2</sup> (2x2m). Elles ne concordent pas exactement avec les surfaces indiquées dans la carte des blocs de parcelles vu que des différences sont engendrées lors du processus du passage Vector-to-Raster. Ces différences sont cependant négligeables.

## **7.2 Délimitation des régions de montagne I et II ou de la région des terres arables**

La zone de calcul pour la CRE2 a été limitée à la région allant des limites de zone agricole jusqu'à la zone de montagne. Les zones de montagne III et IV et la région d'estivage ainsi que les zones affectées à l'arboriculture fruitière et à la culture maraîchère et les

bandes tampon ont été exclues du calcul. Pour réduire encore davantage la région et pour la limiter à la région de la plaine et des collines la procédure suivante peut être choisie :

Base:

- CRE2 pour la région correspondante
- jeu de données des limites de zone agricole (swisstopo)

Méthode:

- Sélectionner les zones souhaitées à l'intérieur des limites de la zone agricole qui devraient être comprises, p. ex. zone de plaine (31) et zone des collines (41)
  - o Cela peut se faire via le tableau des attributs et « Select by Attribute », p. ex. LZ0\_ID <= 41
- fonction « Extract by Mask »
  - o Input Raster: eros\_z\_XXX ou rec\_eros\_XXX
  - o Input raster or feature zone data: Limites de zones agricoles
  - o Output raster: Classeur et nom du nouveau raster, p. ex. rec\_eros\_mask
- OK

**Attention : Un raster est engendré qui ne montre que les régions qui sont situées à l'intérieur des zones sélectionnées. Il peut arriver que des blocs de parcelles soient découpés. Il faut en tenir compte au moment de l'analyse.**

Conseil De manière analogue on pourrait envisager de générer une carte de risque d'érosion qui se limiterait aux terres arables pour autant que des documents soient disponibles qui permettent la subdivision des différents blocs de parcelles en terres arable et en prairies permanentes. Si, la délimitation devait p. ex. porter sur les prairies permanentes, on devrait procéder comme suit:

- Générer une parcelle correspondante dans le tableau des attributs, qui fait la distinction entre prairies permanentes et terres arables.
- Sélectionner toutes les parcelles de terres arables
- Lancer la fonction « Extract by Mask » et attribuer à ce jeu de données l'indication « Feature mask data »
- OK

On obtient comme résultat un jeu de données raster qui montre le risque d'érosion seulement sur les parcelles de terres arables.

### **7.3 Adaptation individuelle des couleurs d'eros\_z\_XXX**

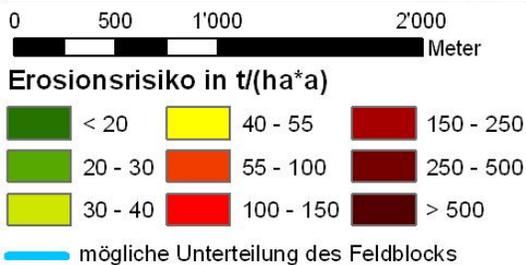
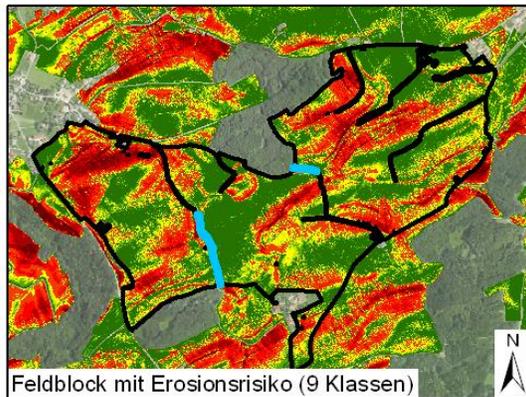
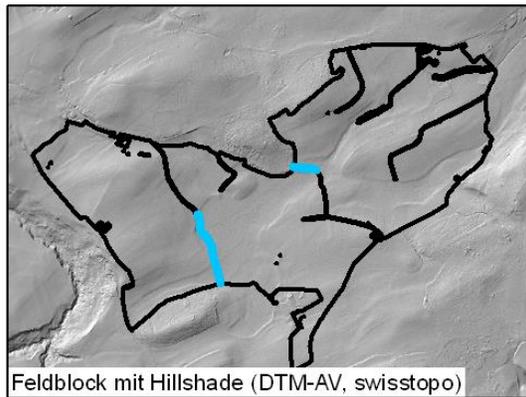
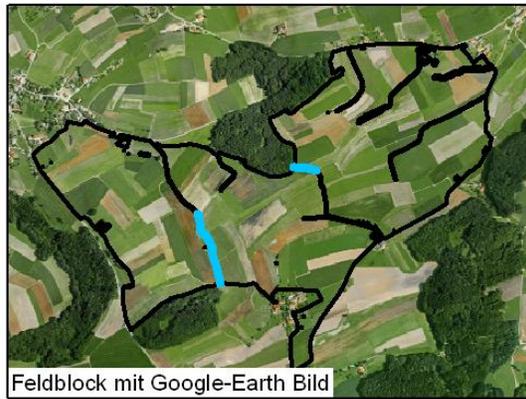
Il est recommandé d'utiliser les classements et les couleurs proposées (eros\_z\_XXX.lyr). Il est cependant possible de représenter les données comme on le souhaite.

Base: eros\_z\_xxx

- Double clic sur le raster dans Table of Content
- Onglet « Symbology »
- Choix « Stretched » ou « Classified »
  - Sous « **Stretched** » on peut choisir des couleurs avec effet de dégradé. Il existe aussi la possibilité de choisir une représentation colorée avec effet de dégradé allant du minimum au maximum du domaine visible (Type: Minimum-Maximum, Statistics: From Current Visible Extent). Les valeurs minimum et maximum doivent être adaptées manuellement.
  - « **Classified** » offre la possibilité de représenter la carte sur la base de limites de classe définies (de manière analog à eros\_z\_xxx.lyr). On peut indiquer le nombre de classes souhaité, où les limites se trouvent et la couleur de chaque classe, Cela peut se faire selon ses propres critères et besoins (Classes: choisir le nombre; Classify: fixer les valeurs limite).

**Attention : Les valeurs qui soutendent la représentation graphique sont toujours les mêmes; cependant l'image qui en résulte diffère beaucoup selon le choix des couleurs et les options choisies (cf. annexe 1).**

#### **7.4 Subdivision d'un important bloc de parcelles**



L'évaluation statistique de la taille des blocs de parcelles au chapitre 3.1.4 (fig. 3.1) a montré qu'il existe des blocs de parcelles très grands (>100 ha). Ils ne conviennent pas pour les évaluations statistiques du risque d'érosion (cf. chapitre 7.1) ou pour la planification de mesures. L'illustration montre un exemple de gros bloc de parcelles d'une superficie de 161 ha. On rencontre ce type de bloc de parcelles lorsque les chemins qui subdivisent les différentes parcelles cultivées ne sont pas tous inclus dans Vector25, ou si les bases de données des régions périphériques jouxtant la zone de montagne III ou des surfaces situées sur territoire étranger ou n'étaient plus disponibles. Ainsi, on rencontre les gros blocs de parcelles dans les régions périphériques et ils n'ont été calculés que partiellement vu que le DTM-AV ne couvre pas l'ensemble du bloc de parcelles. Dans ce type de situation la plus grande prudence est de mise concernant l'évaluation.

Fig. 7.3: Subdivision d'un gros bloc de parcelles. L'illustration montre un gros bloc de parcelles avec des subdivisions envisageables (lignes bleues). A l'arrière plan une image de Google-Earth Bild (en haut), Hillshade de DTM-AV (swisstopo, au milieu) et CRE2 (en bas). Source : document interne

Dans le présent exemple, des subdivisions sont envisageables aux endroits adéquats pour une analyse plus aisée du bloc de parcelles. Une autre possibilité serait de superposer un

plan des parcelles et d'effectuer les évaluations sur la base de ce plan. **Autres subdivisions possibles (lignes bleues): le long de la pente, dans les plaines ou le long des crêtes.** A ces endroits on peut raisonnablement s'attendre à ce que cela n'entraîne aucun impact ou seulement un impact minime sur le pixel adjoignant. Ainsi le résultat du calcul de l'érosion n'est pas compromis et il n'est pas nécessaire de procéder à un nouveau calcul. Une subdivision perpendiculaire à la pente ne serait pas admise car elle pourrait compromettre gravement le calcul de l'érosion. Un nouveau calcul avec AVErosion serait alors nécessaire.

Une analyse statistique peut – comme évoqué plus haut – également avoir lieu sur des subdivisions plus petites (p. ex. plan de parcelles). Celles-ci ne réévaluent le résultat existant que sur une nouvelle base et ne modifient pas les valeurs calculées.

Cependant, si de nouveaux chemins sont aménagés ou si une nouvelle structure est susceptible d'interagir avec les pixels des parcelles avoisinantes, un nouveau calcul avec AVErosion serait nécessaire étant donné que ces structures pourraient avoir des effets sur le risque potentiel d'érosion.

### **7.5 Surfaces viticoles**

En tant que couche thématique (layer) particulière, les surfaces viticoles sont considérées séparément vu qu'elles constituent dans Vector25 une catégorie à part. Ainsi si l'on veut examiner uniquement les surfaces viticoles (ou seulement les surfaces herbagères et les terres arables sans les vignes), il faut procéder ainsi:

Base: Carte du bloc de parcelles\_CH.shp

- Ouvrir le tableau des attributs (clic droit sur le layer → Open Attribute Table)
- Sous Options → Select by Attributes...
- Double clic sur « OBJECTVAL »
- « = » cliquer
- Entrer ,Z\_Reben' (avec apostrophe)
- Ainsi les surfaces viticoles sont sélectionnées et on les voit dans le layer.
- On peut maintenant procéder à une évaluation spécifique des surfaces viticoles ou éliminer les surfaces viticoles de la CRE2.
- Pour cela on peut, sous Option, → cliquer sur Switch Selection, toutes les surfaces de la catégorie « Z\_Uebrig » seront alors sélectionnées (terres arables, prairies et pâturages)
- On peut maintenant découper ces surfaces comme décrit au chap. 7.2 et il ne reste plus que ces zones sans les vignes.
- Ou on délimite de manière analogue (sans Switch Selection) seulement les surfaces viticoles et on obtient le risque spécifiques des surfaces viticoles.

**Attention : En raison des caractéristiques spécifiques propres aux surfaces viticoles (culture en terrasses, petites parcelles, déclivité, etc.), il convient d'utiliser les résultats avec prudence. Le modèle utilisé n'a pas été validé pour les surfaces viticoles, ni contrôlé.**

## 8. PERSPECTIVES

### 8.1 Vers une CRE2 plus détaillée et optimisée

La carte à haute résolution CRE2 a été élaborée sur mandat de l'OFAG à la suite de la carte FRIEDLI (2006), dans le but de modéliser le risque d'érosion des sols suisses sur la base de données de plus haute définition. Les données disponibles ne permettant toujours pas de modéliser le risque actuel d'érosion sur les parcelles effectivement affectées à la culture des champs, la solution présentée ici fonde ses calculs sur des « blocs de parcelles » et donne une appréciation du risque « potentiel » d'érosion. L'affectation des blocs de parcelles n'est donc pas prise en compte. La carte des blocs de parcelles couvre l'ensemble de la surface agricole utile (SAU) sans les zones de montagne III et IV, ni les zones d'estivage, ni les cultures fruitières, ni les bandes-tampon. Elle comprend par conséquent un grand nombre de surfaces qui, en raison de leur couverture herbeuse permanente (prairies et pâturages), ne sont pas vraiment déterminantes pour la problématique de l'érosion. Si le fait de travailler avec des blocs de parcelles plutôt qu'avec des parcelles cultivées n'est pas un inconvénient notable, la délimitation insuffisante des surfaces déterminantes (surfaces affectées à la culture des champs) pose en revanche problème, surtout du point de vue de la lisibilité optique de la carte. **Les nombreux blocs de parcelles à relativement forte déclivité situées dans les Préalpes et dans le Jura, dont l'affectation est en majeure partie de type prairie et pâturage, confèrent un aspect sévère à la carte (beaucoup de surfaces en rouge).**

Pour tenir compte de cet état de fait, il faudrait disposer de jeux de données permettant de distinguer les terres ouvertes (existantes ou potentielles) du reste de la SAU. Ce n'est pas encore le cas actuellement, mais des données de ce type sont en préparation (GELAN, etc.). Une fois disponibles, elles permettraient d'éliminer les surfaces non déterminantes ce qui améliorerait encore la valeur informative de la CRE2. Par ailleurs, des indications portant sur l'ensemble du territoire sur le mode d'exploitation prédominant des parcelles faciliteraient sensiblement l'évaluation des zones « effectivement » à risque. Si des données numériques sur les parcelles cultivées et sur le type d'exploitation des champs existent, il est techniquement possible de les recouper avec les jeux de données existants (cf. chap. 7.2).

La modélisation de la totalité de la SAU au lieu des seules terres ouvertes présente toutefois aussi des avantages. Dans le cas où des surfaces herbagères devaient être affectées à des grandes cultures, une carte portant uniquement sur les terres ouvertes ne donnerait aucune indication sur la sensibilité de ces parcelles à l'érosion. Il ne serait par conséquent pas possible d'évaluer si le changement d'affectation est admissible du point de vue de la protection contre l'érosion. De plus, des pertes de sols ne peuvent pas être exclues dans

les parcelles à risque, même si elles sont utilisées comme surfaces herbagères permanentes. Le sol des prairies peut être érodé si l'exploitation n'est pas adaptée à ce risque (p. ex. surpâturage, couverture lacunaire, sol compacté, etc.).

#### Complément :

Les facteurs C peuvent être calculés à l'aide de la clé d'appréciation du risque d'érosion de MOSIMANN & RÜTTIMANN (2002, 1999) à condition de disposer de suffisamment de données relatives à l'affectation et à l'exploitation des parcelles cultivées. Les facteurs calculés pour les parcelles examinées peuvent être générés sous forme de raster et multipliés avec le résultat de la CRE2, de sorte que l'on obtient la moyenne sur plusieurs années de la quantité de sol effectivement perdue (en t/[ha\*a]). Pour calculer les facteurs C à l'aide de la clé susmentionnée, il est nécessaire de disposer des informations de plusieurs années concernant les rotations de cultures, les modes de culture, les périodes de semis et les cultures intercalaires. Il est à noter que les résultats (en valeur absolue) ainsi obtenus tendent à conduire à une surévaluation du risque.

## **8.2 Actualisation de la carte**

Avec le logiciel AVErosion, il est nécessaire de refaire les calculs lorsque les données de base – la taille des blocs de parcelles – sont modifiées. Or, la version actualisée de VECTOR25 – et/ou le nouveau modèle topographique du paysage MTP – modifiera divers blocs de parcelles, ce qui imposera de recalculer la totalité du territoire suisse. La modification de la taille d'un seul bloc (p. ex. suite à l'aménagement ou à la suppression d'une route ou d'une haie, ou si la taille du bloc n'est pas correctement représentée dans VECTOR25) entraîne en principe la nécessité de le recalculer. Cependant, si cette modification se situe dans une zone à faible risque d'érosion (p. ex. sur une surface plane ou dans le sens de la pente), il ne faut pas s'attendre à une modification significative du risque et il ne sera dès lors pas indispensable de refaire les calculs. En revanche, l'aménagement d'une route ou d'une haie à travers le bloc et perpendiculairement à la pente influe de manière déterminante sur le risque d'érosion – surtout dans la partie située en contrebas de la nouvelle structure – de sorte qu'il sera nécessaire de refaire les calculs.

Il est également nécessaire de refaire les calculs avec AVErosion en cas de modification du modèle numérique de terrain. Cela peut avoir son importance en particulier pour les blocs de parcelles pour lesquels les modèles de terrain utilisés présentent des erreurs au niveau du raccord entre deux feuilles (cf. chap. 3.2.1)

L'actualisation de la carte reste une option dans différents cas de figure.

- nouvelles bases pour les facteurs K ou R,

- nouvelles données de base relatives au facteur C (couverture et exploitation du sol) ou à la situation de parcelles cultivées, aux terres ouvertes effectives, etc.

Dans ces cas, il n'est pas nécessaire de refaire le calcul avec AVErosion. Les modifications peuvent être apportées dans le jeu de données existant (cf. chap. 4.2.2 et 7.2).

A terme, on disposera d'un nouveau modèle topographique du paysage MTP (swisstopo) ainsi que d'un plan numérisé à l'échelle des parcelles et couvrant tout le territoire (dès 2015). Ces données pourraient être utilisées, le cas échéant, pour une actualisation ou révision de la CRE2.

### **8.3 Logiciel AV-Erosion 1.0**

Le logiciel AV-Erosion 1.0 (SCHÄUBLE 1999, 2004) est une extension d'Arc View 3.x, qui est un programme déjà ancien et remplacé par ArcMap (actuellement en version 9.3). Il se pose dès lors la question de savoir pendant combien de temps AV-Erosion pourra encore être exploité. Le support technique pour Arc View 3.x est supprimé depuis longtemps et les limites de capacité de calcul sont très souvent atteintes. Ces raisons ont conduit à la tentative de reprogrammer AV-Erosion sur ArcMap 9.3. Ce projet – conduit en collaboration avec l'institut TLL (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Dr Ralf Bischoff) – a cependant dû être abandonné de notre côté, par manque de temps et pour des raisons techniques. Il conviendrait néanmoins de se demander s'il ne serait pas judicieux de remettre ce projet à l'ordre du jour afin de permettre le maintien du produit et de simplifier l'ensemble du processus. L'institut TLL serait à cet égard certainement un partenaire compétent et intéressé, puisqu'il mise depuis longtemps sur le logiciel AV-Erosion pour l'application de l'ordonnance allemande sur les paiements directs ainsi que dans le domaine de la protection contre l'érosion.

## 9. BIBLIOGRAPHIE

- BAFU & BLW (2008). Neue Vollzugshilfe für den Umweltschutz in der Landwirtschaft – Rundschreiben über den Stand der Arbeiten (Mai 2008). URL: [http://extranet.kvu.ch/files/documentdownload/090115190059\\_Rundschreiben\\_Nr\\_1\\_deutsch.pdf](http://extranet.kvu.ch/files/documentdownload/090115190059_Rundschreiben_Nr_1_deutsch.pdf).
- BISCHOFF, R. & GULLICH, P., (2009). Erosionsschutz in der Thüringer Landwirtschaft. 3. Sächsisch-Thüringische Bodenschutztag Erfurt, 106-112.
- BISCHOFF, R., EBENAU, S., GULLICH, P., MICHEL, J. & Zorn, W. (2009). Identifizierung wirksamer Massnahmenkulissen zur Umsetzung der WRRL – Abschätzung der erosionsbedingten Phosphor-Austräge aus Ackerflächen. – Fachstandpunkte der TLUG Nr. 12, Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie, Jena, 18 S.
- BLW (2009). Agrarbericht 2009 des Bundesamtes für Landwirtschaft. URL: <http://www.blw.admin.ch/dokumentation/00018/00498/index.html?lang=de>. Stand: 13.11.2009.
- BURGOS, ST., NOLL, D. (2010). Etude des risques d’Erosion et de transfert de pesticides – Zone d’étude d’Avenches et environs. Ecole d’ingénieurs de Changins.
- CHISHOLM, M. (2008). Analyse der Bodenerosion mit der AVErosion-Extension für ArcView. Diplomarbeit, Geographisches Institut Bern, Abteilung Entwicklung und Umwelt (CDE).
- DIN 19708 (2005): Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG.
- DIREKTZAHLUNGEN-VERPFLICHTUNGENVERORDNUNG (DirektZahlVerpflV) - Verordnung über die Grundsätze der Erhaltung landwirtschaftlicher Flächen in einem guten landwirtschaftlichen und ökologischen Zustand. Stand 20. April 2010. URL: <http://www.gesetze-im-internet.de/direktzahlverpflv/BJNR277800004.html>.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION – Landwirtschaft und ländliche Entwicklung. Cross-Compliance – Erfüllung von Umweltschutzaufgaben. URL: [http://ec.europa.eu/agriculture/envir/cross-compliance/index\\_de.htm](http://ec.europa.eu/agriculture/envir/cross-compliance/index_de.htm). Stand: 18.3.2010.
- FRIEDLI, S. (2006). Digitale Bodenerosionsgefährdungskarte der Schweiz im Hektarraster – Unter besonderer Berücksichtigung des Ackerlandes; CDE Universität Bern
- GASSMANN, S. (2010). Appréciation du risque d’érosion des sols agricoles et proposition de mesures de lutte – Exemple sur un site pilote à Avenches (VD). Master Thesis 2010, MAS Umwelttechnik und –management. Fachhochschule Nordwestschweiz, Hochschule für Life Sciences.
- GBl Nr 9 (22. Juni 2010). Verordnung des Ministeriums für Ländlichen Raum, Ernährung und Verbraucherschutz zur Einteilung landwirtschaftlicher flächen nach dem Grad der Erosionsgefährdung (Erosionsschutzverordnung – ErosionsSchV). Stuttgart, 29. Mai 2010. URL: [http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1309128\\_11/29.05.2010%20%20Erosionsschutzverordnung%20%20\(ErosionsSchV\).pdf](http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB/show/1309128_11/29.05.2010%20%20Erosionsschutzverordnung%20%20(ErosionsSchV).pdf)  
geodata © swisstopo. Bundesamt für Landestopographie.

- GISLER, S. (2009). Erosionsabschätzung und Massnahmenplanung mit der ArcView Extension AVErosion im Gebiet Frienisberg – Auswirkungen von parzellenscharfen Faktordaten. Masterarbeit, Geographisches Institut Bern, Abteilung Entwicklung und Umwelt (CDE).
- © 2007 GOOGLE™. Google-Earth Bilder.
- HENSEL H., BORK H.-R. (1988); Computer aided Construction of Soil Erosion and Deposition maps; Geologisches Jahrbuch, Reihe A, Jg. 1988, Heft 104: 357- 371
- KIP & PIOCH Hrsg. (2009). Pufferstreifen – richtig messen und bewirtschaften. Furrer St., Niederberger, H., Gilg R., Steiger R., Forni D., Keller L., Vaudroz P., Simonin P., Charollais M., Aeschbacher S., Niffenegger L.. Agridea, 8315 Lindau.
- LANDESREGIERUNG SCHLESWIG-HOLSTEIN – Landwirtschaft und Umwelt Schleswig-Holstein. URL: [http://www.schleswig-holstein.de/Umgebung/Landwirtschaft/DE/LandFischRaum/02\\_\\_Flaechenkataster/01\\_\\_Einfuehrung/ein\\_\\_node.html](http://www.schleswig-holstein.de/Umgebung/Landwirtschaft/DE/LandFischRaum/02__Flaechenkataster/01__Einfuehrung/ein__node.html).
- LEDERMANN, T., HERWEG, K., LINIGER, H.P., SCHNEIDER, F., HURNI, H., PRASUHN, V., (2008). Erosion damage mapping: assessing current soil erosion damage in Switzerland. In: Dazzi, C., Costantini, E. (Eds.). The soils of tomorrow. Advances in GeoEcology 39, Reiskirchen, pp. 263-284.
- LEDERMANN, T., HERWEG, K., LINIGER, H.P., SCHNEIDER, F., HURNI, H., PRASUHN, V., (2010). Applying erosion damage mapping to assess and quantify off-site effects of soil erosion in Switzerland. Land Degradation Development 21, 353-366.
- MOSIMANN, TH. & RÜTTIMANN, M. (2002). Erosion CH V2.02 : Bodenerosion selber abschätzen – Ein Schlüssel für Betriebsleiter und Berater. Terragon Ecoexperts AG, Bubendorf.
- MOSIMANN, TH. & RÜTTIMANN, M. (1999). Bodenerosion selber abschätzen - Ein Schlüssel für Betriebsleiter und Berater; Ackerbaugebiete des zentralen Mittellandes. Hrsg.: Finanzdepartement Aargau; Abteilung Landwirtschaft, Abteilung Umwelt und Landwirtschaft des Kantons Bern, Militär-, Polizei- und Umweltdepartement des Kantons Luzern; Amt für Umweltschutz, Volkswirtschaftsdepartement des Kantons Luzern; Landwirtschaftsamt, Amt für Umweltschutz und Amt für Landwirtschaft des Kantons Solothurn.
- NOLL, D. (2009). Appréciation des risques de transfert de pesticides : Exemple du N-E du bassin versant du Boiron de Morges (Canton de Vaud/Suisse). Mémoire de Master. Ecole d'ingénieurs de Changins.
- NOLL, D. , DAKHEL, N., BURGOS, S. (2010). Beurteilung der Transferrisiken von Pestiziden durch Oberflächenabfluss. Agrarforschung Schweiz 1 (3): S. 110-117.
- PRASUHN, V. (2010): Soil erosion in the Swiss midlands – results of a 10-year field survey. Geomorphology.
- PRASUHN, V. & GRÜNIG, K. (2001). Evaluation der Ökomassnahmen – Phosphorbelastung der Oberflächengewässer durch Bodenerosion. Eidgenössische Forschungsan-

- stalt für Agrarökologie und Landbau Zürich-Reckenholz (FAL), Schriftreihe der FAL 37.
- PRASUHN, V., LINIGER, H.P., HURNI, H., FRIEDLI, S (2010): Abschätzung des Bodenfaktors für die Übersichtskarte der Bodenerosionsgefährdung der Schweiz. Bulletin BGS 30, 31-36.
- RÜTTIMANN, M., VÖKT, U., EMCH, N. (2005a). Hinweiskarte 1:25'000 der erosionsbedingten Bodengefährdung im Kanton Solothurn - Grundlagen und Prognosemodell: Amt für Umwelt, Kanton Solothurn.
- RÜTTIMANN, M. (2005b). Hinweiskarte 1:25'000 der erosionsbedingten Bodengefährdung im Kanton Genf.
- RÜTTIMANN, M., MOSIMANN, T. (2004). Hinweiskarte der erosionsbedingten Bodengefährdung im Luzerner Mittelland 1:25'000; Kanton Luzern, Bau-, Umwelt- und Wirtschaftsdepartement; © Geoinformation Kanton Luzern
- SBV (Schweizerischer Bauernverband) (2009). Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung, Brugg.
- SCHÄUBLE, H. (2005). AVErosion 1.0 für ArcView – Berechnung von Bodenerosion und –akkumulation nach den Modellen USLE und MUSLE87. URL: [http://www.terracs.com/averosion\\_deu.pdf](http://www.terracs.com/averosion_deu.pdf)
- SCHÄUBLE, H. (1999). Erosionsprognosen mit GIS und EDV – Ein Vergleich verschiedener Bewertungskonzepte am Beispiel einer Gäulandschaft. Diplomarbeit, Geographisches Institut Eberhard-Karls-Universität, Tübingen.
- SWISSTOPO - VECTOR25 © 2009 Bundesamt für Landestopographie.
- SWISSTOPO (2008). Vector25 Release. URL: <http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/downloads/landscape/vector25.parsys.63978.downloadList.94726.DownloadFile.tmp/vector25release2008v10de.pdf>
- SWISSTOPO (2007). Geodata-news, Nr. 14 (2007). URL: <http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/docu/pub/topography/geodatanews.parsys.1829.downloadList.48896.DownloadFile.tmp/gn142007defr.pdf>.
- SWISSTOPO (2007). Vector25 – Das digitale Landschaftsmodell der Schweiz, Produktionsinformation. URL: <http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/landscape/vector25.parsysrelated1.47641.downloadList.50692.DownloadFile.tmp/vector25infode.pdf>.
- WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D. D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses – a Guide to Conservation Planning. U.S. Dep. of Agriculture, Handbook No. 537. Washington. URL: [http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/ad\\_hoc/36021500USLEDatabase/AH\\_537.pdf](http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/ad_hoc/36021500USLEDatabase/AH_537.pdf). Zugriff: 4. Nov. 2008.

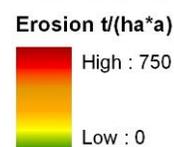
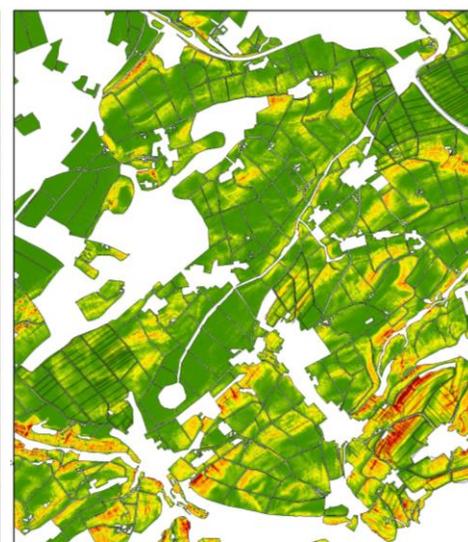
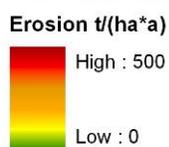
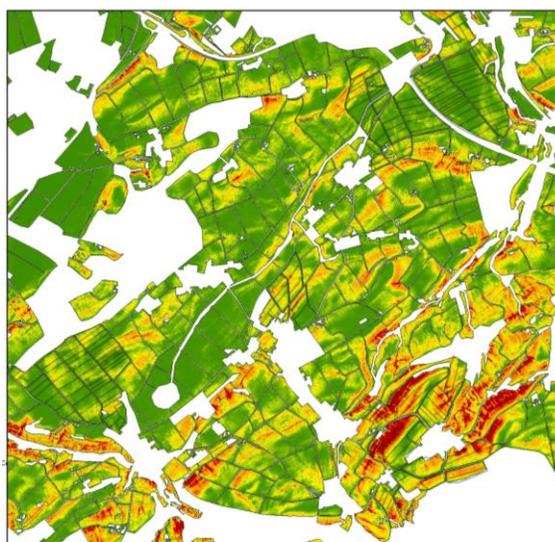
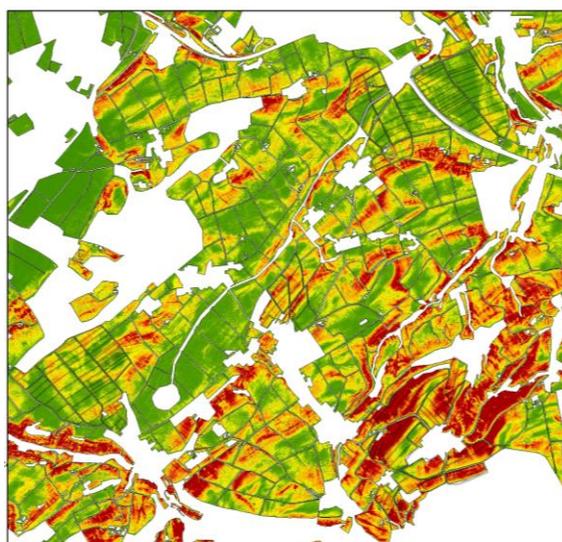
## ANNEXE

Annexe 1: Comparaison entre diverses possibilités de représentation de la carte des risques d'érosion. Les données de base sont toujours les mêmes, mais la valeur maximale a été fixée différemment pour la coloration avec des valeurs fluctuantes. Cela signifie que tous les pixels avec des valeurs dépassant 250 ont été colorés en rouge sombre dans la figure de gauche, alors que, dans les figures du centre et de droite, les pixels n'ont reçu cette couleur qu'à partir de 500 et 750, respectivement. Il en résulte trois cartes très différentes, qui contiennent pourtant les mêmes valeurs numériques. Il faut donc être prudent en choisissant les différentes couleurs et leur répartition, car celles-ci peuvent fortement influencer la perception.

Frienisberg - fließend Max. 250

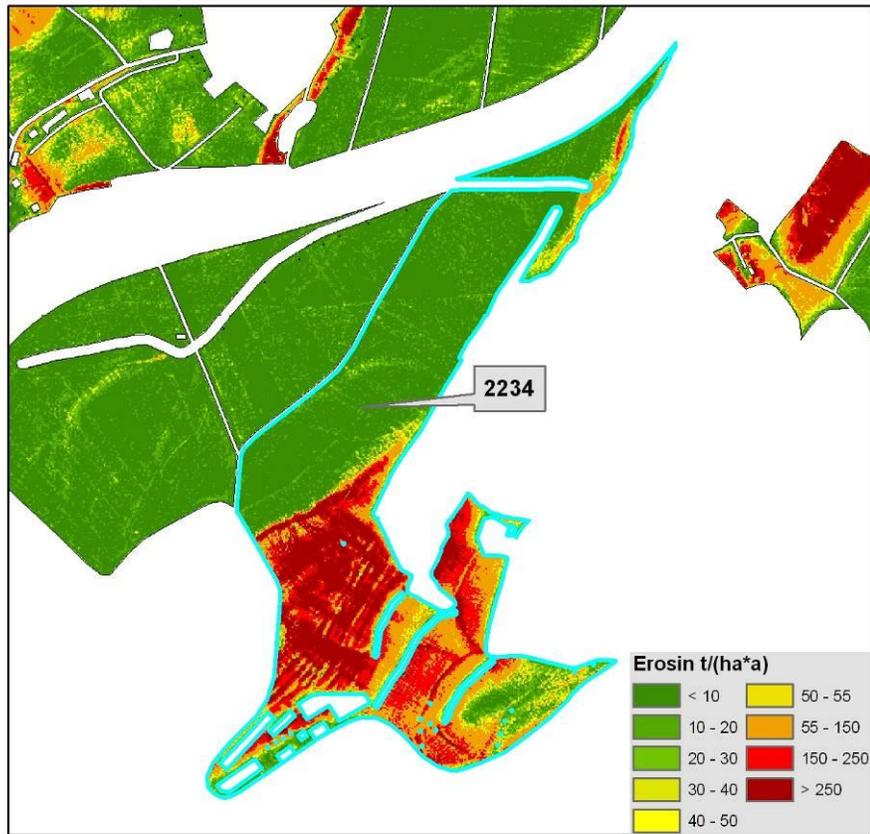
Frienisberg - fließend Max. 500

Frienisberg - fließend Max. 750

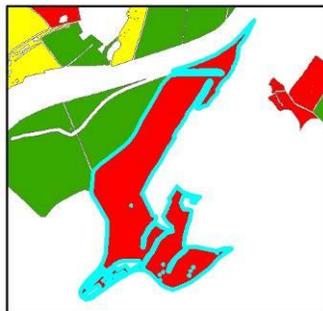


Annexe 2: Comparaison entre différentes approches de répartition de blocs de parcelles entières en classes de risque. Cette approche a été abandonnée jusqu'à nouvel ordre. Les figures montrent le risque d'érosion modélisé (en haut) et l'évaluation de blocs de parcelles entières (2234) selon différents facteurs (en bas). En bas à gauche : la valeur moyenne de tous les pixels dans le bloc de parcelles est déterminante pour la répartition. En bas au milieu : la valeur médiane de tous les pixels dans le bloc de parcelles est déterminante pour la répartition. En bas à droite : une combinaison de valeurs de tolérance relatives et absolues est déterminante pour la répartition.

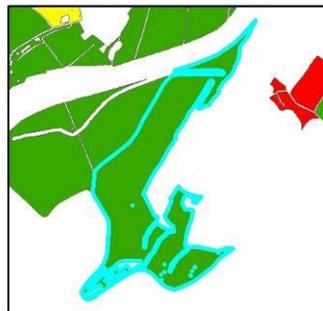
### Comparaison entre moyenne, médiane et variante 4



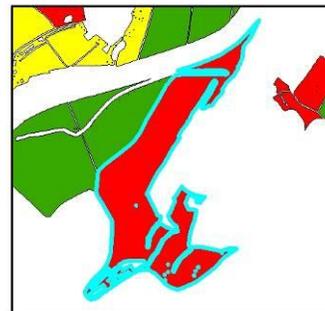
#### Kategorie



MITTELWERT



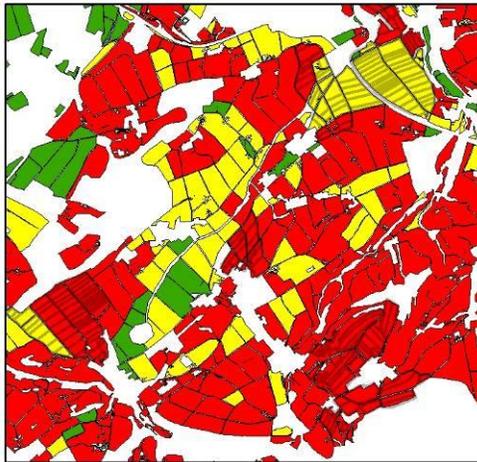
MEDIAN



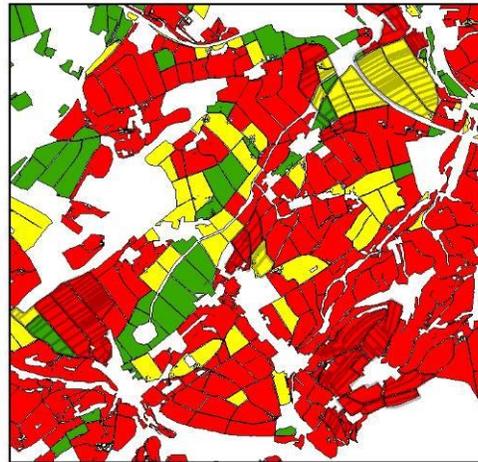
CODE4\_30

FID	Bis_30	Bis_55	Plus_55	PIXEL_ALL	MEAN	MEDIAN	Code4_30
2234	40592	4722	32122	77436	106	30	13

## Einteilung Feldblöcke

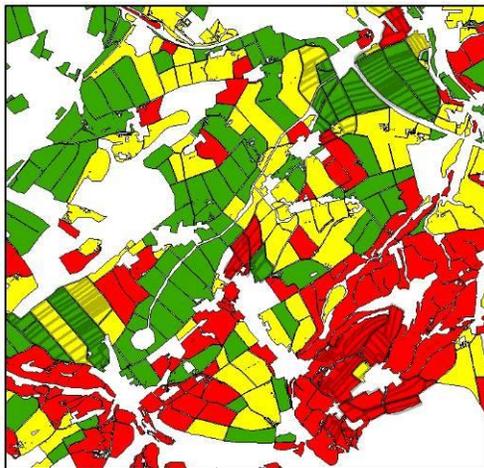


Code4\_30

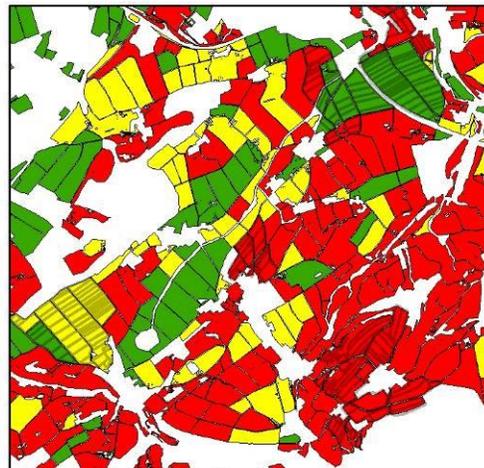


Code3\_20

### Erosionsrisiko



Median

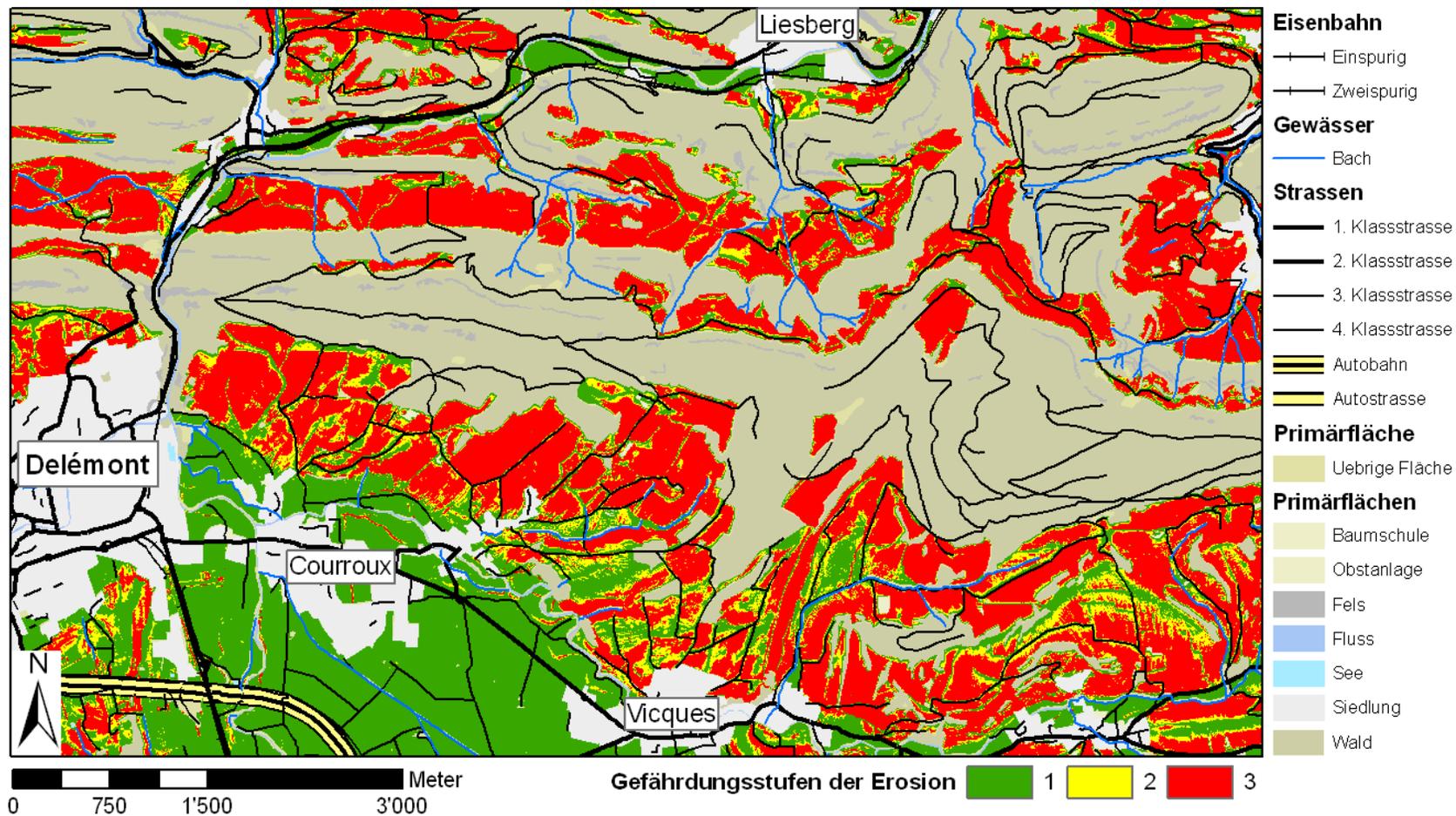


Mittelwert

La figure montre un aperçu de la répartition des blocs de parcelles selon différents facteurs et les images divergentes qui en résultent.

Annexe 3a: en fonction de l'échelle, une représentation appropriée des différents attributs (routes, ruisseaux, voies ferrées, etc.) doit être choisie pour la superposition avec Vector25. Il s'agit seulement d'un exemple de représentation possible avec Vector25.

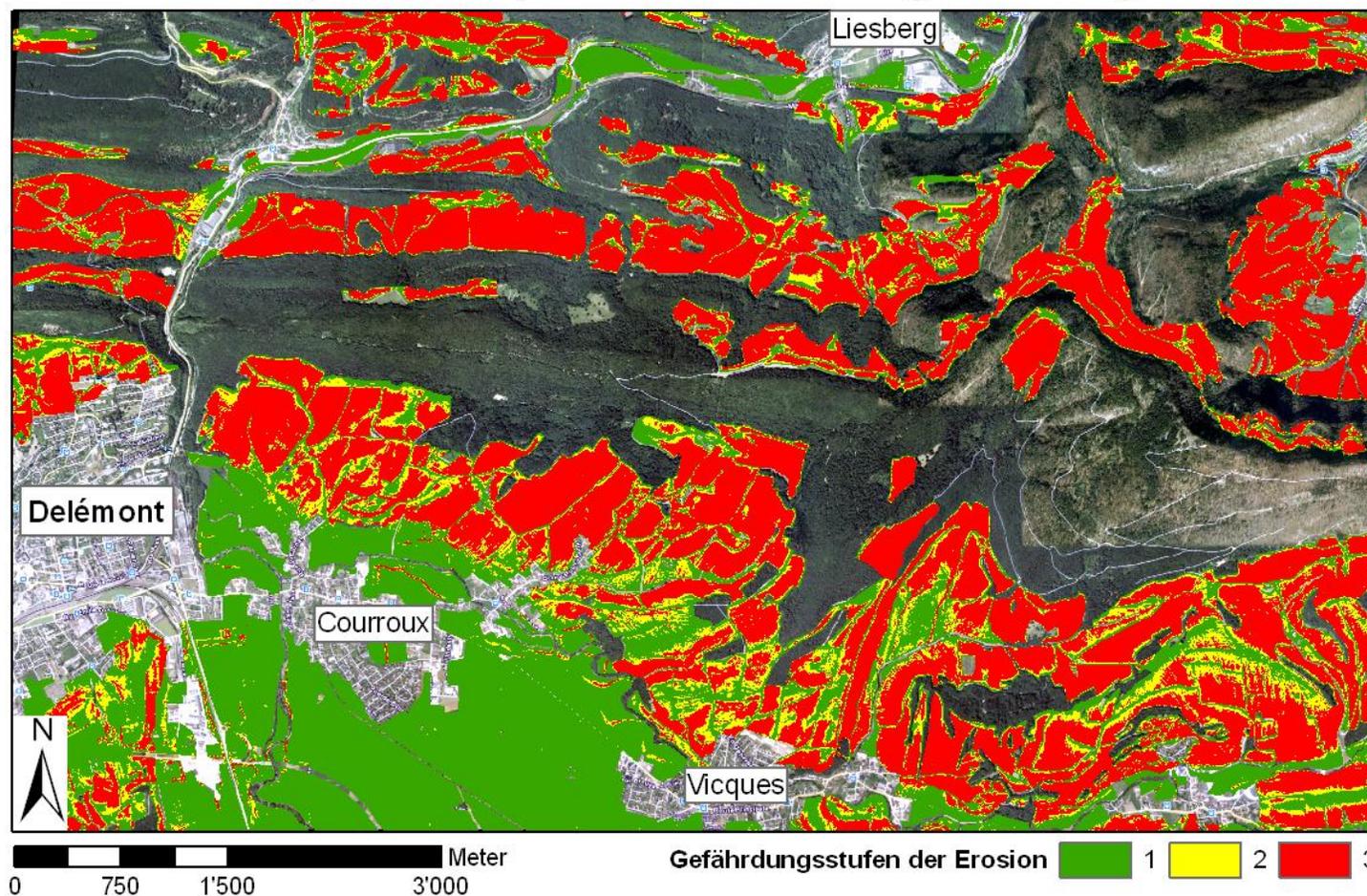
## Erosionsrisiko (3 Klassen) 1:50'000 - hinterlegt mit Vector25



Carte des risques d'érosion avec 3 niveaux de risque. A l'arrière plan : Vector25. Source : document interne, Vector25 (swisstopo)

Annexe 3b: la carte des risque d'érosion peut également être superposée avec des photos aériennes pour permettre une meilleure vue d'ensemble. Voici un exemple avec une image Google-Earth géoréférencée (Google TM).

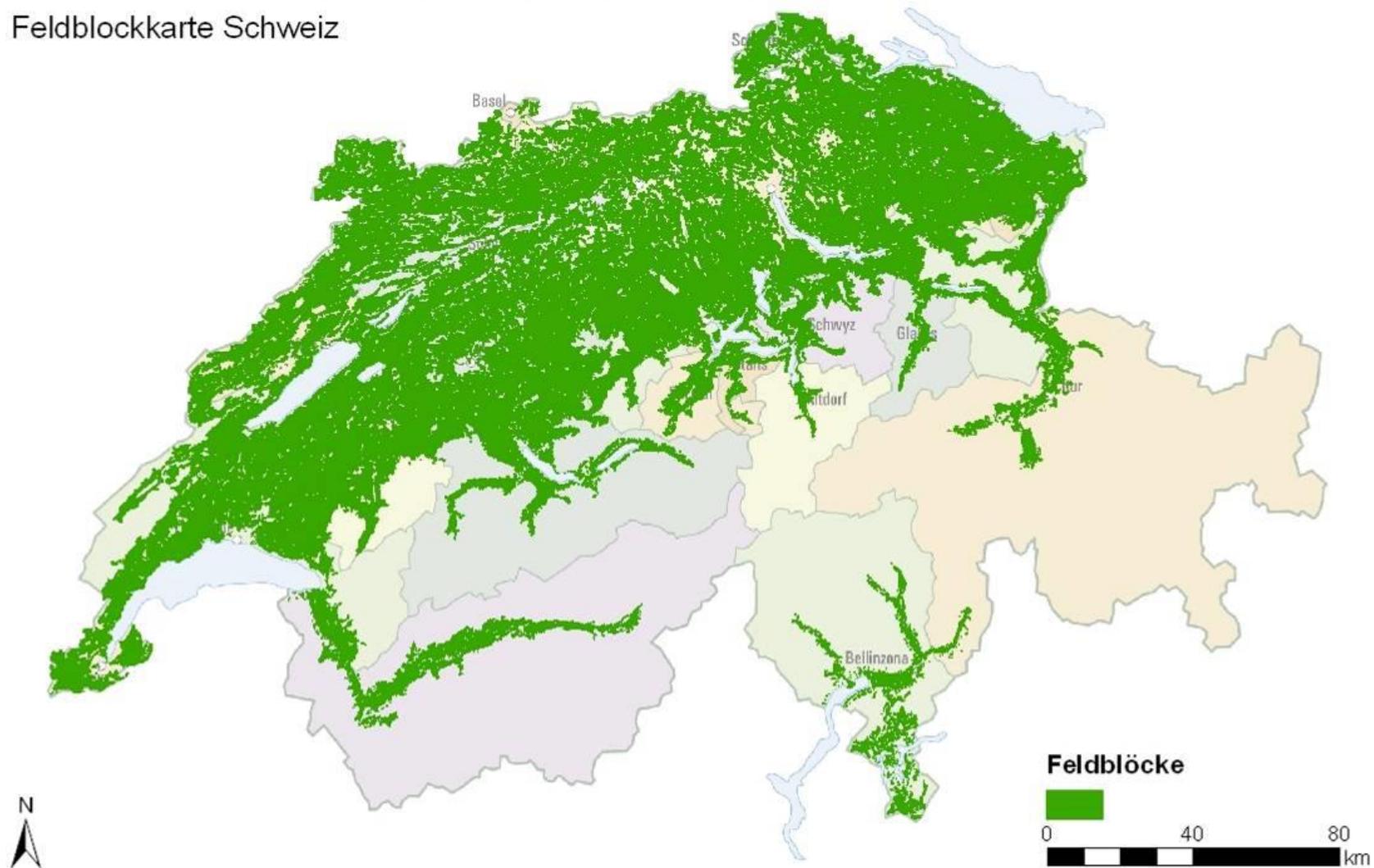
### Erosionsrisiko (3 Klassen) 1:50'000 - hinterlegt mit Google-Earth Bild



Carte des risques d'érosion avec 3 niveaux de risque. Arrière plan : image Google-Earth. Source : document interne, Google-Earth

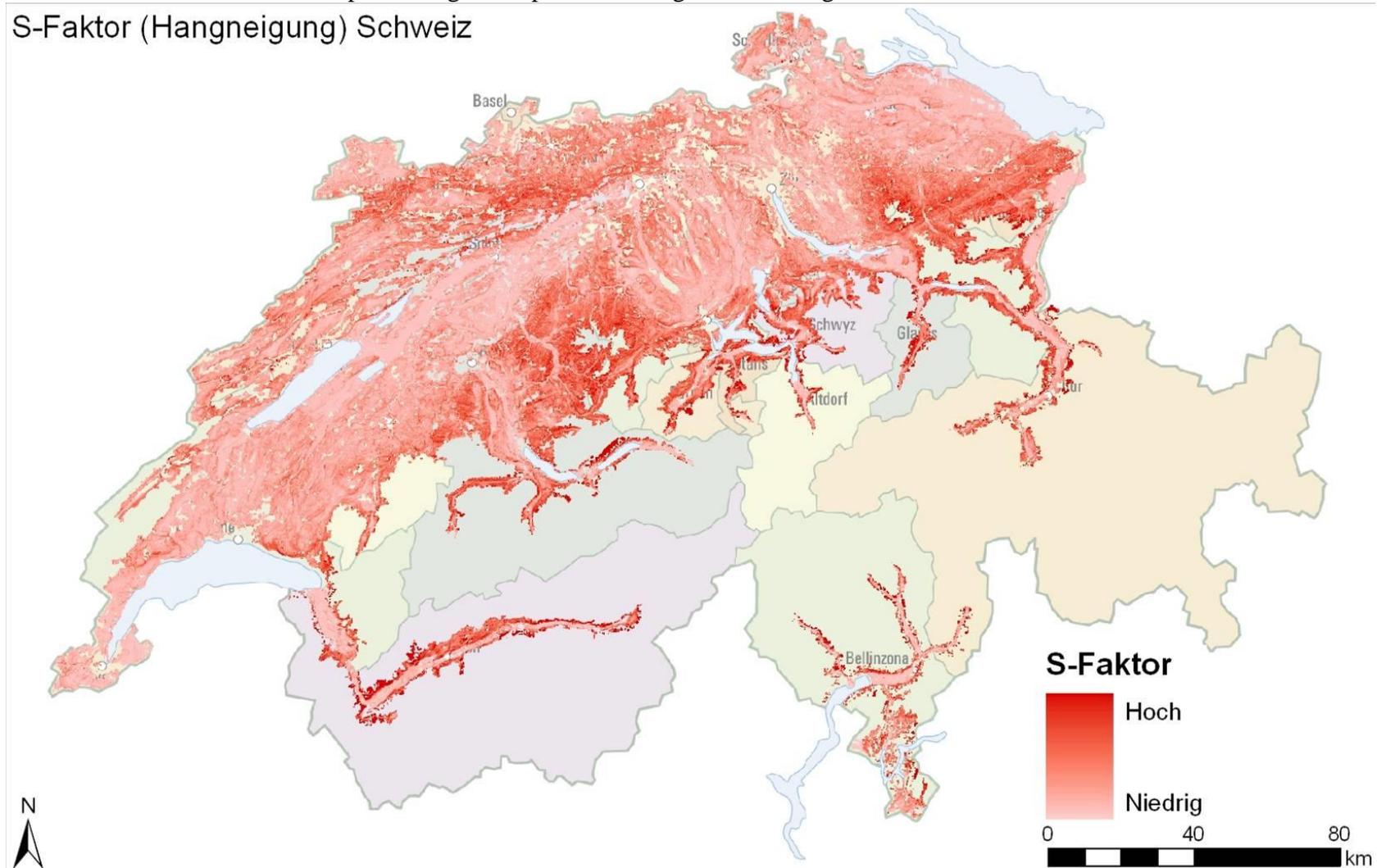
Annexe 4a: carte des blocs de parcelles pour la région de plaine et la région de montagne I et II.

### Feldblockkarte Schweiz



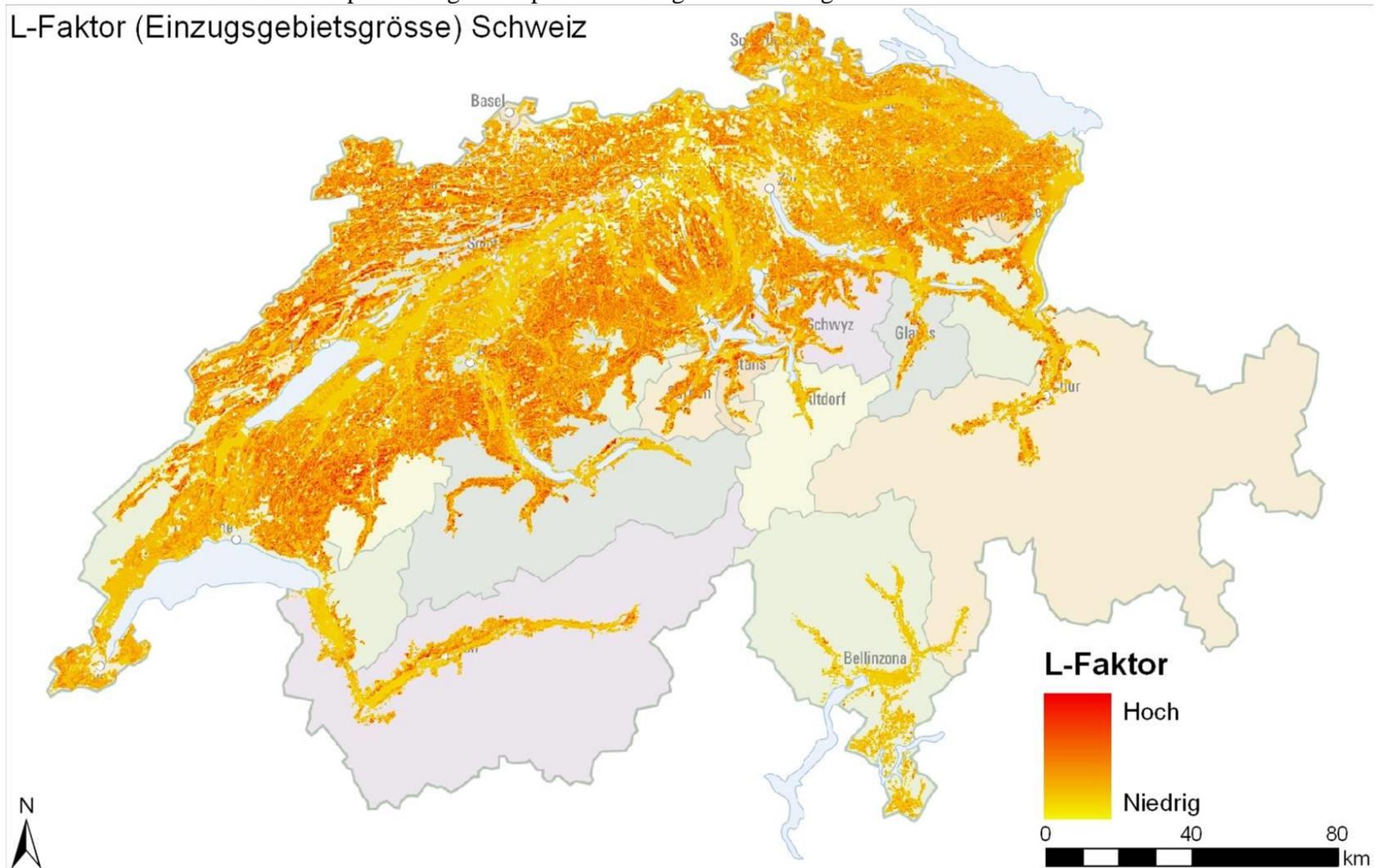
Annexe 4b : carte des facteurs S pour la région de plaine et la région de montagne I et II.

### S-Faktor (Hangneigung) Schweiz



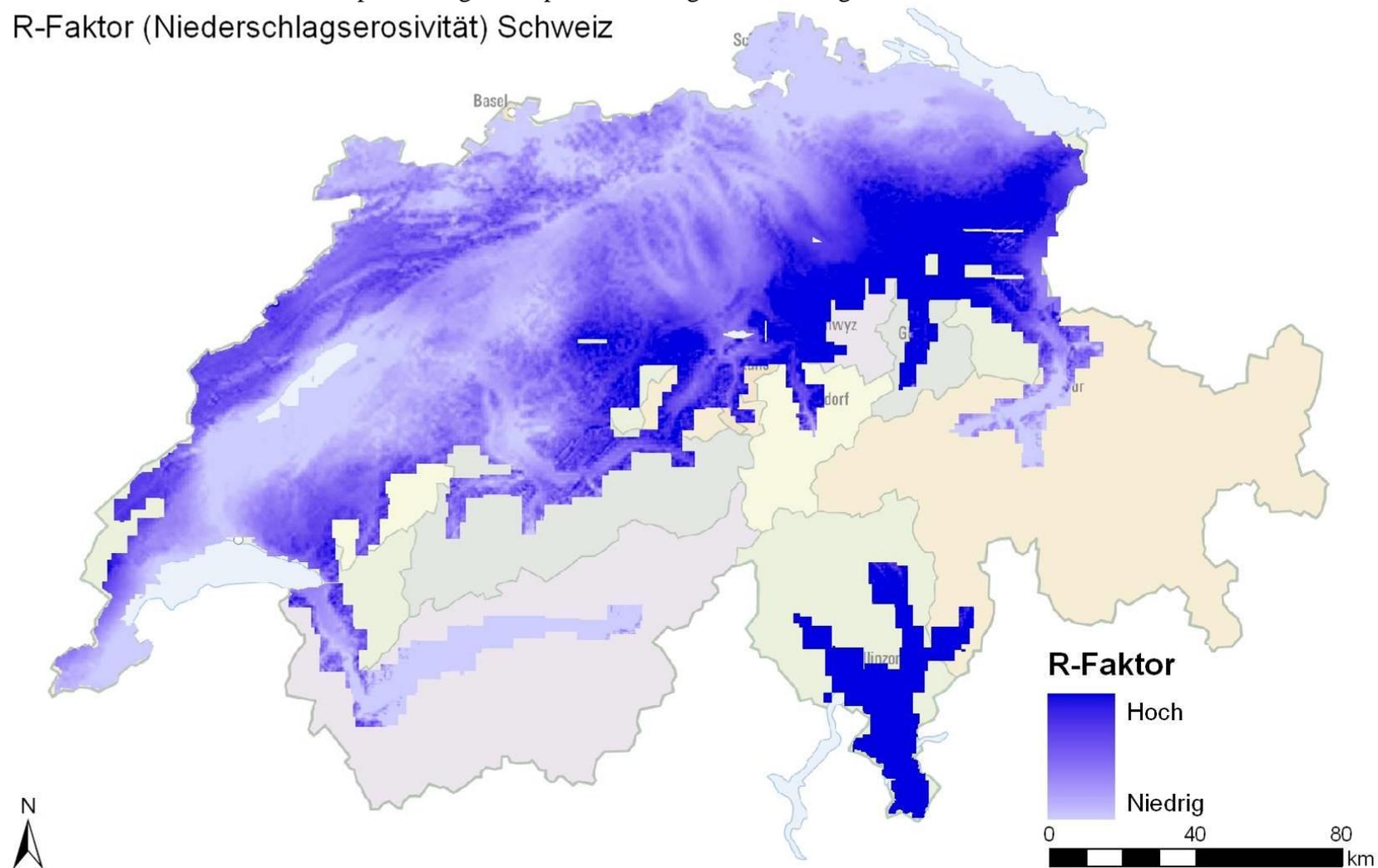
Annexe 4c : carte des facteurs L pour la région de plaine et la région de montagne I et II.

L-Faktor (Einzugsgebietsgrösse) Schweiz



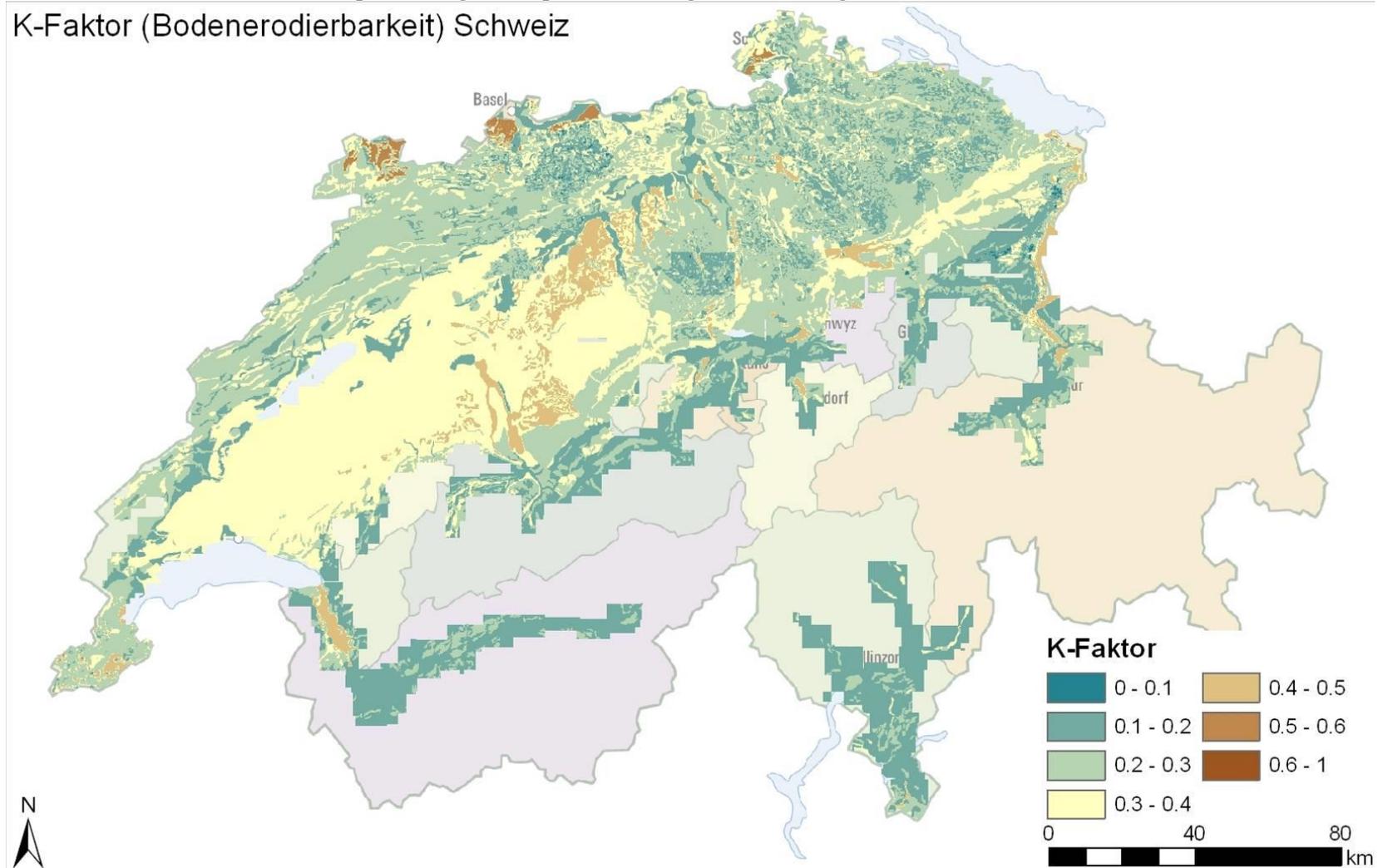
Annexe 4d : carte des facteurs R pour la région de plaine et la région de montagne I et II.

R-Faktor (Niederschlagserosivität) Schweiz



Annexe 4e : carte des facteurs K pour la région de plaine et la région de montagne I et II.

### K-Faktor (Bodenerodierbarkeit) Schweiz



## Annexe 5: attributs de Vector25 avec largeurs et espaces tampon correspondants.

Kategorien und Attribute von Vektor 25

effektiv verwendet

Kategorie

Objektart	Attributnamen	ObjectVal	Verwendung	Puffer (m)	
			Grundlayer Eingeschnittene Attribute	Angewendet	
<b>Primärflächen</b>					
Flächen-Objektarten	Übriges Gebiet	Z_Uebrig			
	Reben	Z_Reben			
	Fluss	Z_Fluss		6	
	See	Z_See		6	
	Sumpf und Gebüsch	Z_SumGeb		3	
	Sumpf	Z_Sumpf		3	
	Sumpf in Wald	Z_SumWa		3	
	Sumpf in offenem Wald	Z_SumWaO		3	
	Wald	Z_Wald		3	
	Wald offen	Z_WaldOf		3	
<b>Strassennetz</b>					
Linien-Objektarten	Autobahn	Autobahn		12	
	Autobahn richtungsgetreunt	Autob_Ri		14	
	Autostrasse	Autostr		6	
	Ein-/Ausfahrt	Ein_Ausf		4	
	Autobahnzufahrt	A_Zufahrt		4	
	1. Klass Strasse	1_Klass		5	
	2. Klass Strasse	2_Klass		4	
	3. Klass Strasse	3_Klass		3	
	4. Klass Strasse	4_Klass		3	
	5. Klass Strasse	5_Klass		3	
	6. Klass Strasse	6_Klass		2,5	
	Quartierstrasse	Q_Klass		2,5	
<b>Eisenbahnnetz</b>					
				Variante 1	
Linien-Objektarten	Normalspurbahn mehrgleisig	NS_Bahn2		7	
	Normalspurbahn eingleisig	NS_Bahn1		5	
	Schmalspurbahn mehrgleisig	SS_Bahn2		5	
	Güterbahn	Gt_Bahn		4	
	Museumsbahn	MS_Bahn		4	
	Industriegeleise	I_Geais		3	
		Schmalspurbahn eingleisig	SS_Bahn1		3
		Strassenbahn	Str_Bahn		3
		Streckenverknüpfung innerhalb des Bahnhofareals	Str_Bhof		3

Gewässernetz			Bachvariante		
			Puffer + Schutzstreifen		
Linien-Objektarten	Bach, kleiner Fluss	Bach		3 + 6	
	fiktiver Bachverlauf	Bachachs		3 + 6	
	Fluss	Fluss		6 + 6	
	Bach ohne Erkennbare /	Kanal		3 + 6	
	Fiktive Seeachse innerhalb eines	Seeachse		3 + 6	
	Seeufer	See		3 + 6	
Gebäude					
Flächen-Objektarten	Gebäude / Einzelhaus	Z_Gebaeude			
	Innenhof	Z_Innenhof			
	Abgelegener Gasthof	Z_Gasthof			
	Hütte	Z_Huette			
	Kirche	Z_Kirche			
	Kühlturm	Z_Kuehlturm			
	Lagertank	Z_Lagertank			
	Perrondach	Z_Perron			
	Schiessstand, Schützenhaus	Z_Schiessstand			
	Schloss, Burg	Z_Schloss			
	Station / ÖV Haltestelle	Z_Station			
	Treibhaus	Z_Treibhaus			
	Wasserbecken (Schwimmbäder,	Z_WBecken			
Hecken und Bäume					
Punkt-Objektarten	Einzelbaum	EinBaum			1,25
	Obstbaum	ObstBaum			1,25
			Heckenvariante		
			Puffer + Schutzstreifen		
Linien-Objektarten	Baumreihe	BauReihe	nahe Fluss (20m) / im Feld	1 + 3	
	Hecke	Hecke		1 + 3	
	Obstbaumreihe	OBReihe		1 + 3	
Anlagen					
Flächen-Objektarten	Bahnhofareal	Z_BhArea			
	Flughafenareal	Z_FlArea			
	Flughafenbahnhofareal	Z_FlugBh			
Einzelobjekte					
Linien-Objektarten	Böschungsoberkante	BoeschOK		6	
	Böschungsunterkante	BoeschUK		8	

Puffer wirken immer zweiseitig. Um die Breite eines Linielements mit Puffer zu erhalten, muss der angegebene Wert mit 2 multipliziert werden.

### Nicht verwendete Attribute der Vek25 Karte

#### Primärflächen

Flächen-Objektarten	Fels	Z_Fels
	Gebüsch	Z_Gebue
	Geröll mit Gebüsch	Z_GerGeb
	Geröll auf gletscher	Z_GerGle
	Geröll	Z_Geroel
	Geröll in Wald	Z_GerWa
	Geröll in offenem Wald	Z_GerWaO
	Gleschter	Z_Glet
	Graspiste	Z_GsPist
	Piste mit Hartbelag	Z_HaPist
	Kiesgrube	Z_KiGrub
	Lehmgrube	Z_LeGrub
	Siedlung	Z_Siedl
	Staudamm	Z_StauDa
	Staumauer	Z_StauMa
	Steinbruch	Z_SteBru

Linien-Objektarten	Flussinsel	Flussins
	Flussrand	Flu_Rand
	Flussufer links	Fluss_li
	Flussufer rechts	Fluss_Re
	Grenze exakt	GrenzEx
	Grenze interpretiert	GrenzIn
	Hilfsgrenze	H_Grenze
	Gesamtperimeter	H_Rahmen
	Seeufer	Seeufer
	Seeufer veränderlich	Seeu_and
	Seeufer verbaut	Seeu_bau
	Waldrand	Waldrand
	Waldrand offen	WaldrO
	Staumaueroberkante /	Stau_OK
	Staumauerunterkante /	Stau_UK

#### Strassennetz

Linien-Objektarten	Alleinstehende Brücke	BrueckLe	
	Alleinstehender Steg	StegLe	
	D: Fahrweg	Fahrweg	
	Historischer Weg/Strasse	HistWeg	8 kleine
	Panzerpiste	PzPiste	
	Parkweg	Parkweg	
	Alleinstehende Brücke gedeckt	GedBruLe	
	D: Bundesstrasse	Bundesst	
	D: Fussweg	Fussweg	
	D: Hauptstrasse	Hauptst	
	D: Nebenstrasse	Nebenst	
	D: Wirtweg	Wirtweg	
	F: Accès et sortie (autoroute)	Acces	
	F: Autoroute	AutoFte	
	F: Autre route Régulièrement entretenue	AutrRteA	
	F: Autre route Irrégulièrement	AutrRteB	

kann man  
weglassen

F: Chemin d'exploitation	ChExploi
F: Route à 2 voies étroites	Tre2etr
F: Route à 2 voies larges	Rte2larg
F: Route à 3 voies et plus	Rte3voie
F: Route à 2 chhaussées	Rte2chau
F: Route étroite	RteEtroi
F: Sentier, layon, ligne de coupe	Sentier
Verbindungselement	ww50

**Gewässernetz**

Bachverlauf unterirdisch oder auf	Bach_U
Suone: Bewässerungskanäle an	Bisse
Druckleitung einfach	Druck_1
Druckleitung mehrfach	Druck_2
Druckstollen	Drucksto
Flussverlauf unterirdisch oder auf	Fluss_U
Seeinsel	Seeinsel

**Gebäude**

Linien-Objektarten	Grenzlinie Gebäude	GrenzGeb
--------------------	--------------------	----------

**Anlagen**

Linien-Objektarten	Grenzlinie Anlagen	GrenzAnl
--------------------	--------------------	----------

**Einzelobjekte**

Punkt-Objektarten	Antenne	Antenne
	ARA	ARA
	Aussichtsturm	AusTurm
	Bildstock / Wegkreuz	BiStock
	Brunnen	Brunnen
	Denkmal	Denkmal
	Doline	Doline
	Drehscheibe	Drehsch
	Elektrizitätswerk	EiWerk
	hafen	hafen
	Höhle/Grotte	Hoehle
	Hochkamin	Kamin
	Kapelle	Kapelle
	Kirchturm	KiTurm
	Quelle	Quelle
	Reservoir	Reserv
	Schiffstation	Schiffst
	Sendeanlage	SendeAnl
	Turm	Turm
	Wasserturm	W_Turm
	Wasserfall	WaFall
	Zisterne offen	ZistOff
	Hochspannungsleitung	HSP_Ltg
	Ruine	Ruine
	Radiosender	Sender
	Steinböschungsoberkante	StBoeOK
	Steinböschungsunterkante	StBoeUK

**Übriger Verkehr**

Linien-Objektarten	Autofähre	A_Faehre
	Luftseilbahn	LS_Bahn
	Materialbahn	Mat_Bahn
	Personenfähre	P_Fahre
	Skilift	Skilift