

Nouvelles méthodes de cartographie des sols – Projet pilote CCSols de Prez (FR)

Rapport du CCSols N° 13
Annexe C: cartes de propriétés des sols,
cartes des caractéristiques des sols et
cartes thématiques

Table des matières

C 1. Cartes de propriétés des sols	2
C 1.1 Teneur en argile	2
C 1.2 Teneur en limon	6
C 1.3 Teneur en sable	10
C 1.4 Teneur en matières organiques	14
C 1.5 Teneur en carbonates	18
C 1.6 pH	22
C 2. Cartes des caractéristiques des sols	26
C 2.1 Capacité d'échange cationique effective	26
C 2.2 Groupes de régime hydrique	28
C 2.3 Limite des carbonates	31
C 2.4 Profondeur jusqu'à l'horizon « gg »	33
C 2.5 Profondeur jusqu'à l'horizon « r »	35
C 2.6 Profondeur utile	37
C 2.7 Réserve utile	39
C 2.8 Types de sol	41
C 2.9 Sous-types : I, G, R	43
C 3. Cartes thématiques	47
C 3.1 Agriculture	48
C 3.1.1 Potentiel de fourniture de l'azote (PRIF 2017)	48
C 3.1.2 Facteur de correction pédologique pour la fertilisation azotée normalisée (PRIF 2017)	50
C 3.1.3 Capacité de stockage des nutriments (Lehmann et al. 2013)	52
C 3.1.4 Besoins en chaulage (VDLUFA 2000)	54
C 3.2 Aménagement du territoire	56
C 3.2.1 Aptitude agricole CA 2023 (version d'essai, Greiner et al. 2025)	56
C 3.2.2 Indice de qualité des sols (Angelini et al. 2023)	59
C 3.2.3 Indice de qualité des sols (Engel et Stadtmann 2020)	61
C 3.2.4 Indice de qualité des sols (Hilbert et al. 2021)	63
C 3.2.5 Indice de qualité des sols (Knoll et al. 2010)	65
C 3.2.6 Indice de qualité des sols (Miller et al. 2022)	67
C 3.3 Protection contre les inondations	69
C 3.3.1 Fonction de régulation du régime hydrique (Danner et al. 2003)	69
C 3.4 Protection de la nature	71
C 3.4.1 Fonction d'habitat pour les microorganismes (Oberholzer et Scheid 2007)	71
C 3.4.2 Potentiel de sites humides (Vögeli et al. 2022)	73
C 3.4.3 Potentiel de sites secs (Lienhard et Merkel 2002)	75
C 3.5 Protection des eaux et eaux souterraines	77
C 3.5.1 Capacité à lier et à dégrader les polluants (Bechler et Thot 2010)	77
C 3.5.2 Capacité à lier les métaux lourds (DVWK 1988)	79
C 3.5.3 Rétention des nutriments face aux pertes par infiltration et par ruissellement (Jäggli et al. 1998)	81
C 3.6 Protection du climat	83
C 3.6.1 Potentiel d'enrichissement en carbone (Johannes et al. 2017)	83
C 3.6.2 Stockage de carbone	85
C 3.7 Sécheresse	88
C 3.7.1 Besoin en irrigation (Müller et al. 2012)	88
C 3.7.2 Aptitude à l'irrigation (Presler et Bagnoud 2013)	90
C 4. Table des illustrations	92
C 5. Bibliographie	94

C 1. Cartes de propriétés des sols

Tableau 1: Aperçu des cartes de propriétés des sols

Propriétés des sols	Unités	Profondeur
Teneur en argile	% masse	0-20, 20-40, 40-70 cm
Teneur en limon	% masse	0-20, 20-40, 40-70 cm
Teneur en sable	% masse	0-20, 20-40, 40-70 cm
Teneur en matières organiques	% masse	0-20, 20-40, 40-70 cm
Teneur en carbonates	% masse	0-20, 20-40, 40-70 cm
Valeur pH (CaCl ₂)	-	0-20, 20-40, 40-70 cm

C 1.1 Teneur en argile

Les composants minéraux dans les sols dont le diamètre est inférieur à 2 millimètres sont appelés « terre fine ». La terre fine est subdivisée en sable (0,05 à 2 mm), en limon (0,002 à 0,05 mm) et en argile (< 0,002 mm). La teneur en argile correspond au pourcentage de toutes les particules d'argile présentes dans la terre fine.

L'argile influence la capacité des sols à stocker l'eau et les nutriments, ainsi que leur facilité à être travaillés. Les sols riches en argile peuvent stocker beaucoup de nutriments et d'eau. Cependant, seule une petite partie de cette eau est disponible pour les plantes. Les sols argileux ont tendance à se compacter ou à se gorger d'eau et sont souvent difficiles à travailler. Les sols présentant un mélange équilibré de particules d'argile, de limon et de sable sont en moyenne les plus fertiles.

Les cartes (Figure 1, Figure 2 et Figure 3) sont basées sur des études approfondies réalisées à partir de sondages. Des méthodes classiques et spectroscopiques en laboratoire ont été utilisées à cet effet. La cartographie a été réalisée à l'aide de méthodes de cartographie numérique des sols. Pour plus d'informations, consultez le site internet du projet.

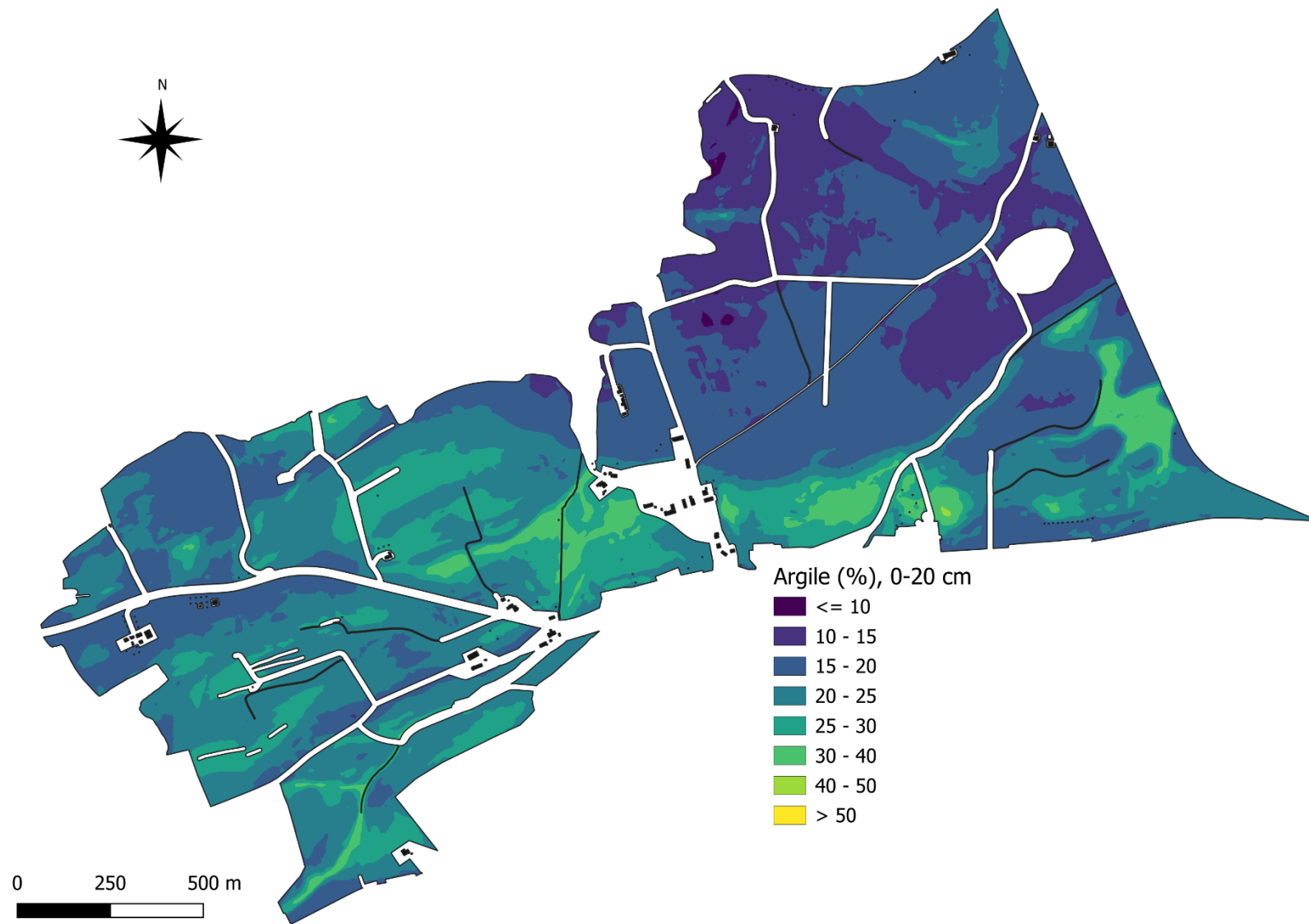


Figure 1 : Carte de propriétés des sols « Teneur en argile » (profondeur : 0-20 cm).

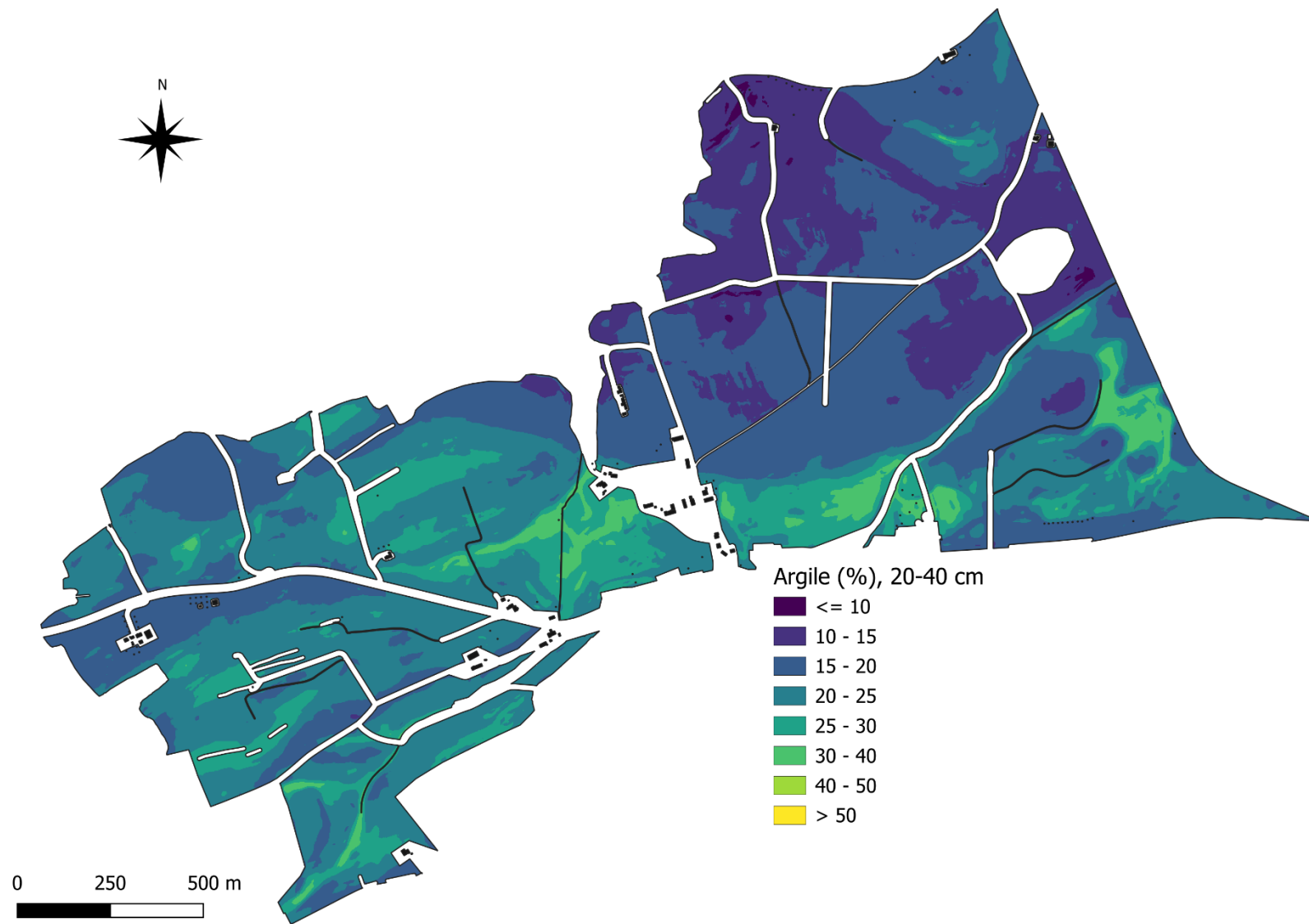


Figure 2 : Carte de propriétés des sols « Teneur en argile » (profondeur : 20-40 cm).

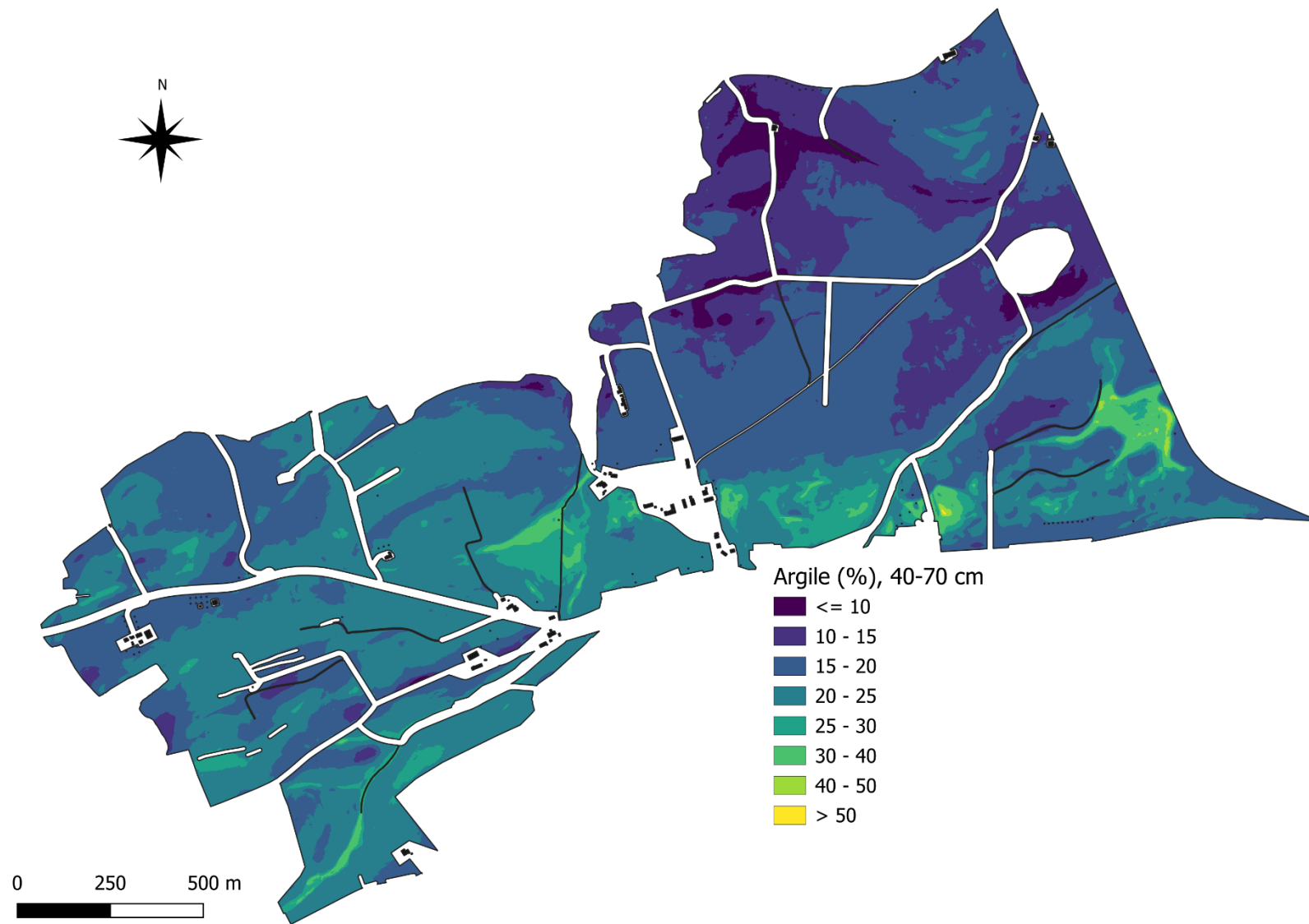


Figure 3 : Carte de propriétés des sols « Teneur en argile » (profondeur : 40-70 cm).

C 1.2 Teneur en limon

Les composants minéraux dans les sols dont le diamètre est inférieur à 2 millimètres sont appelés « terre fine ». La terre fine est subdivisée en sable (0,05 à 2 mm), en limon (0,002 à 0,05 mm) et en argile (< 0,002 mm). La teneur en limon correspond au pourcentage de toutes les particules de limon présentes dans la terre fine.

Le limon influence de nombreux processus liés aux sols, tels que sa fertilité, sa capacité de rétention en eau et sa sensibilité à l'érosion. Les sols à forte teneur en limon sont particulièrement exposés à l'érosion et aux croûtes de battance. Les sols présentant un mélange équilibré de particules d'argile, de limon et de sable sont en moyenne les plus fertiles.

Les cartes (Figure 4, Figure 5 et Figure 6) sont basées sur des études approfondies réalisées à partir de sondages. Des méthodes classiques et spectroscopiques en laboratoire ont été utilisées à cet effet. La cartographie a été réalisée à l'aide de méthodes de cartographie numérique des sols. Pour plus d'informations, consultez le site internet du projet.

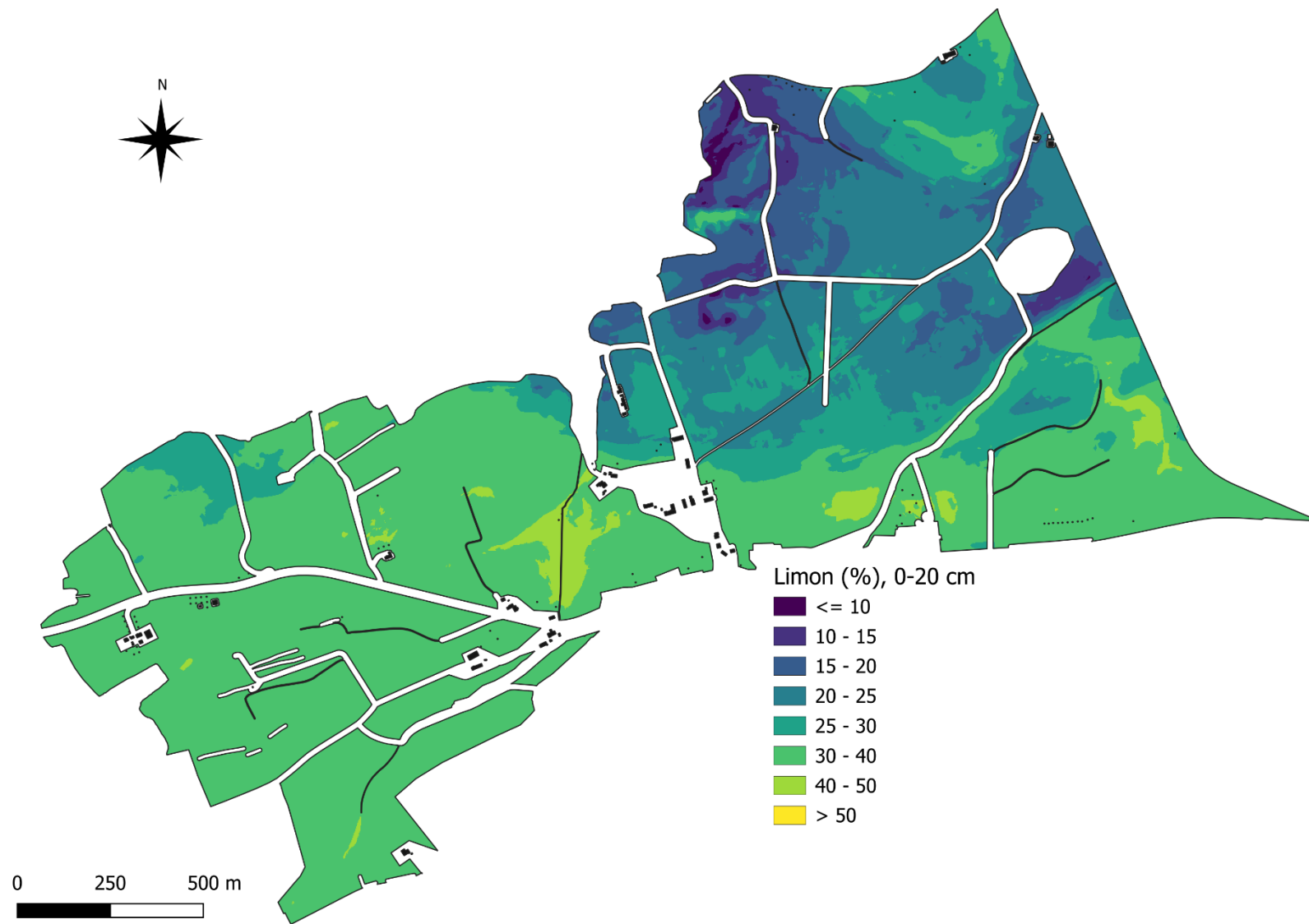


Figure 4 : Carte de propriétés des sols « Teneur en limon » (profondeur : 0-20 cm).

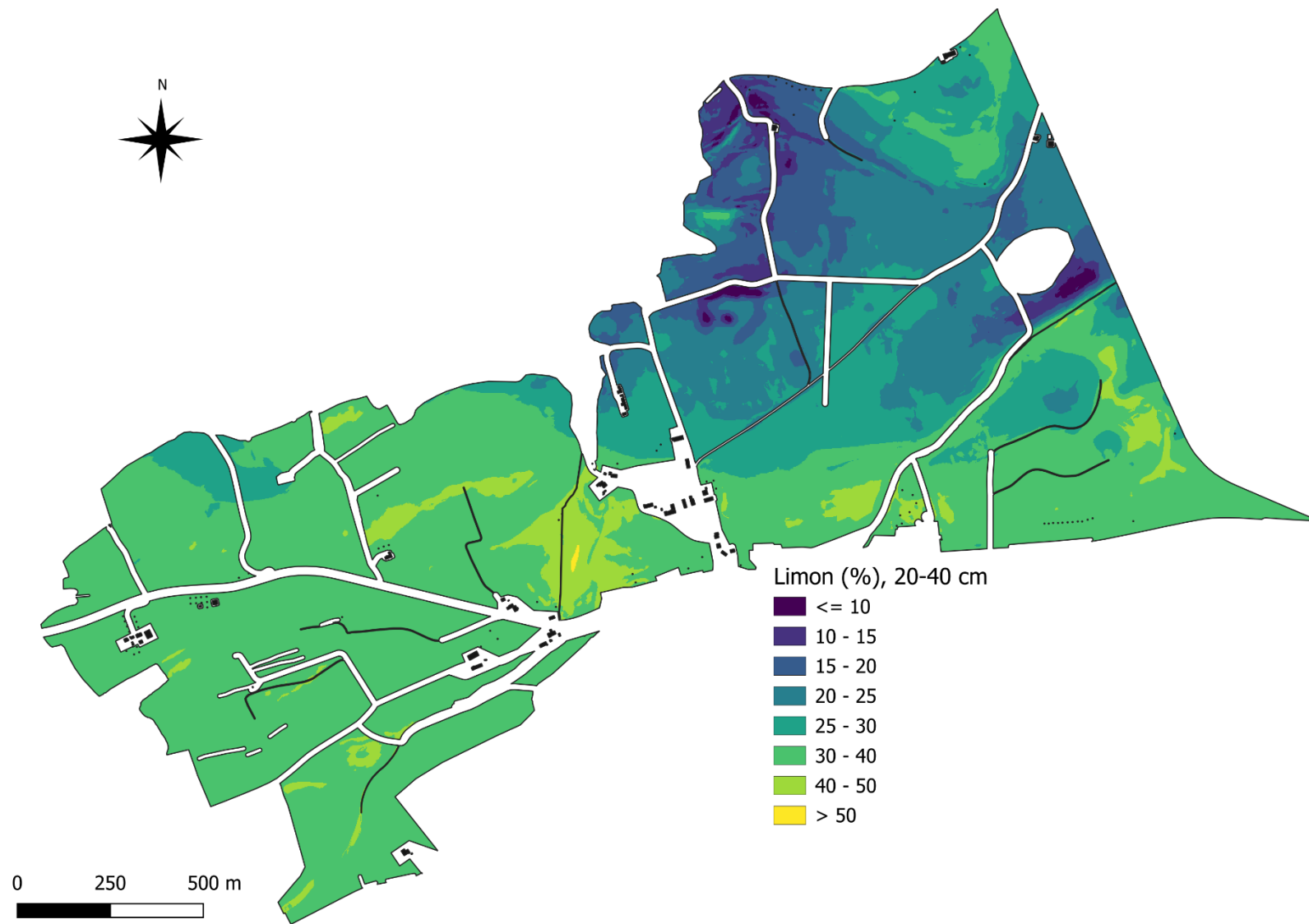


Figure 5 : Carte de propriétés des sols « Teneur en limon » (profondeur : 20-40 cm).

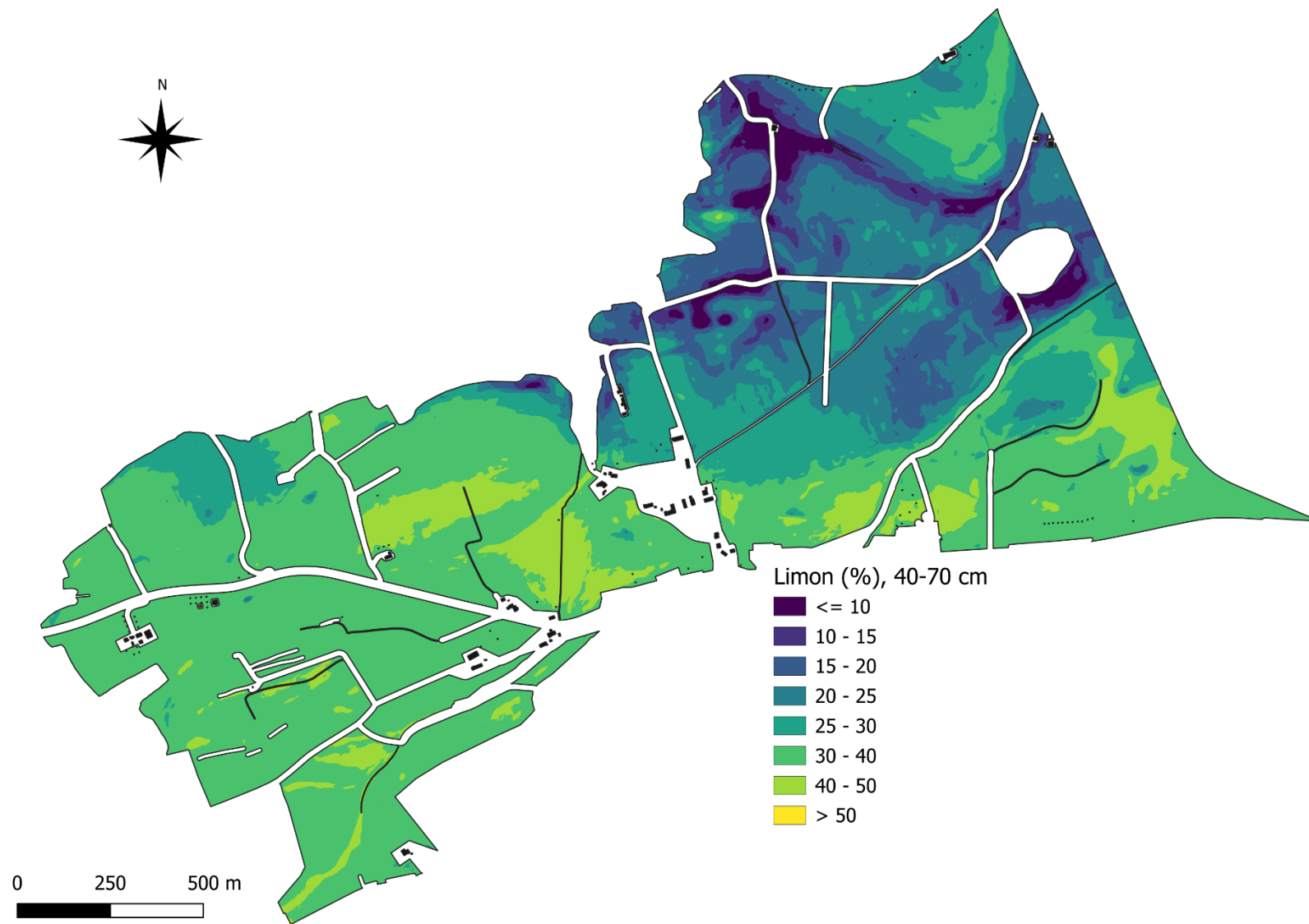


Figure 6 : Carte de propriétés des sols « Teneur en limon » (profondeur : 40-70 cm).

C 1.3 Teneur en sable

Les composants minéraux dans les sols dont le diamètre est inférieur à 2 millimètres sont appelés « terre fine ». La terre fine est subdivisée en sable (0,05 à 2 mm), en limon (0,002 à 0,05 mm) et en argile (< 0,002 mm). La teneur en sable correspond au pourcentage de toutes les particules de sable présentes dans la terre fine.

Le sable influence de nombreux processus liés aux sols, tels que leur perméabilité, leur richesse en nutriments et leur capacité de rétention en eau. Les sols riches en sable s'assèchent rapidement, stockent peu de nutriments et sont sensibles à l'érosion. Ils sont toutefois bien aérés et faciles à travailler. Les sols présentant un mélange équilibré de particules d'argile, de limon et de sable sont en moyenne les plus fertiles.

Les cartes (Figure 7, Figure 8 et Figure 9) sont basées sur des études approfondies réalisées à partir de sondages. Des méthodes classiques et spectroscopiques en laboratoire ont été utilisées à cet effet. La cartographie a été réalisée à l'aide de méthodes de cartographie numérique des sols. Pour plus d'informations, consultez le site internet du projet.

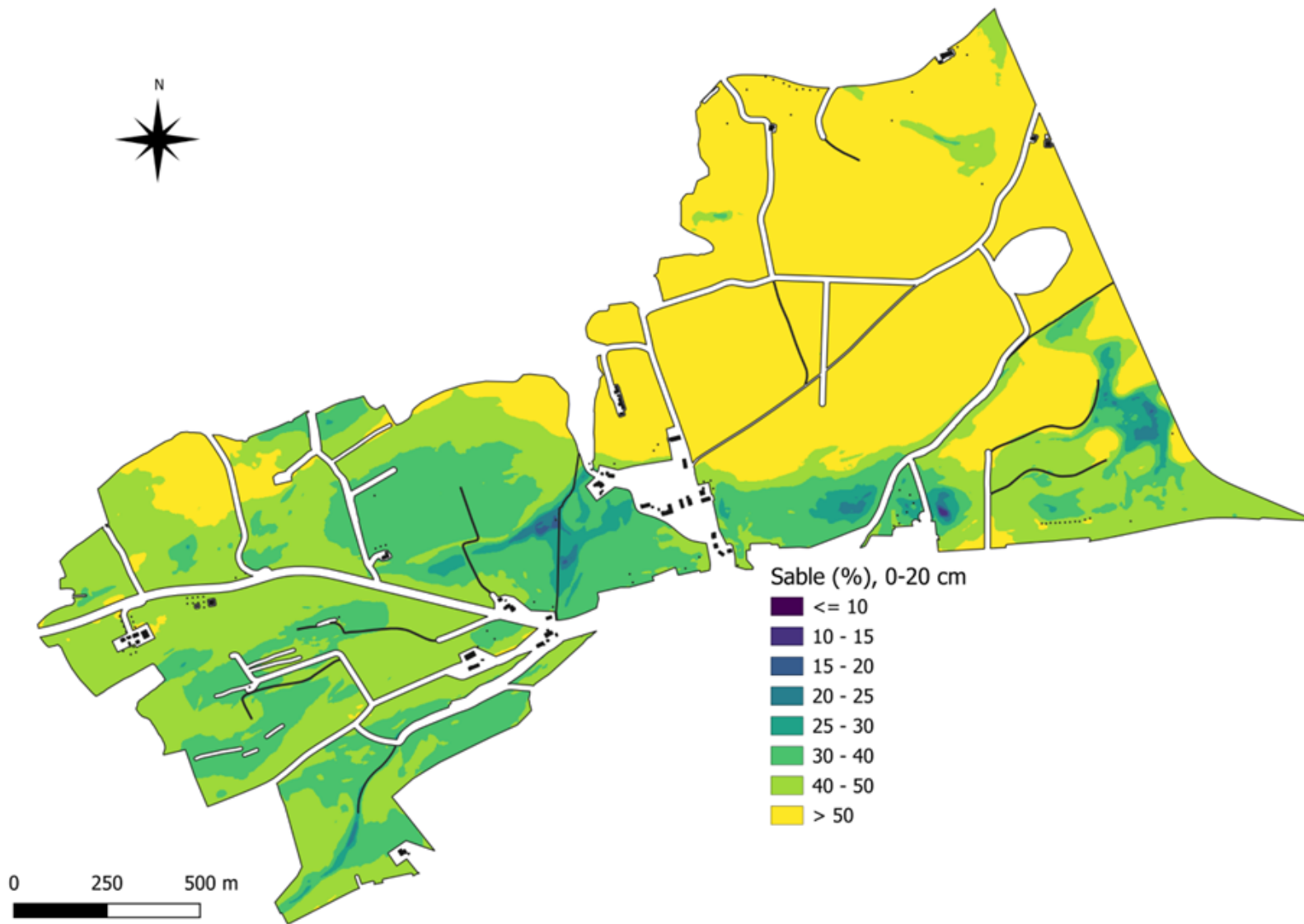


Figure 7 : Carte de propriétés des sols « Teneur en sable » (profondeur : 0-20 cm).

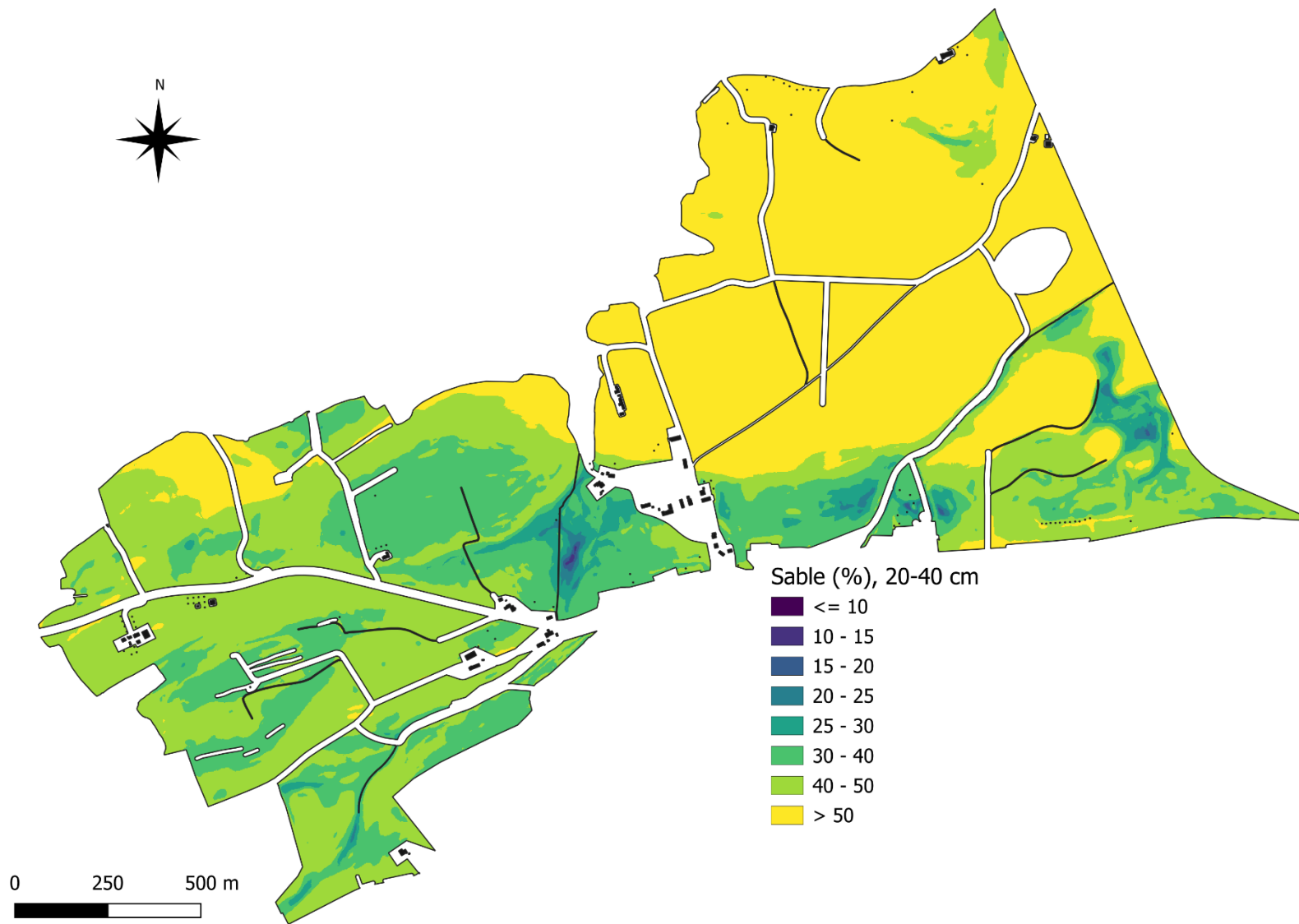


Figure 8 : Carte de propriétés des sols « Teneur en sable » (profondeur : 20-40 cm).

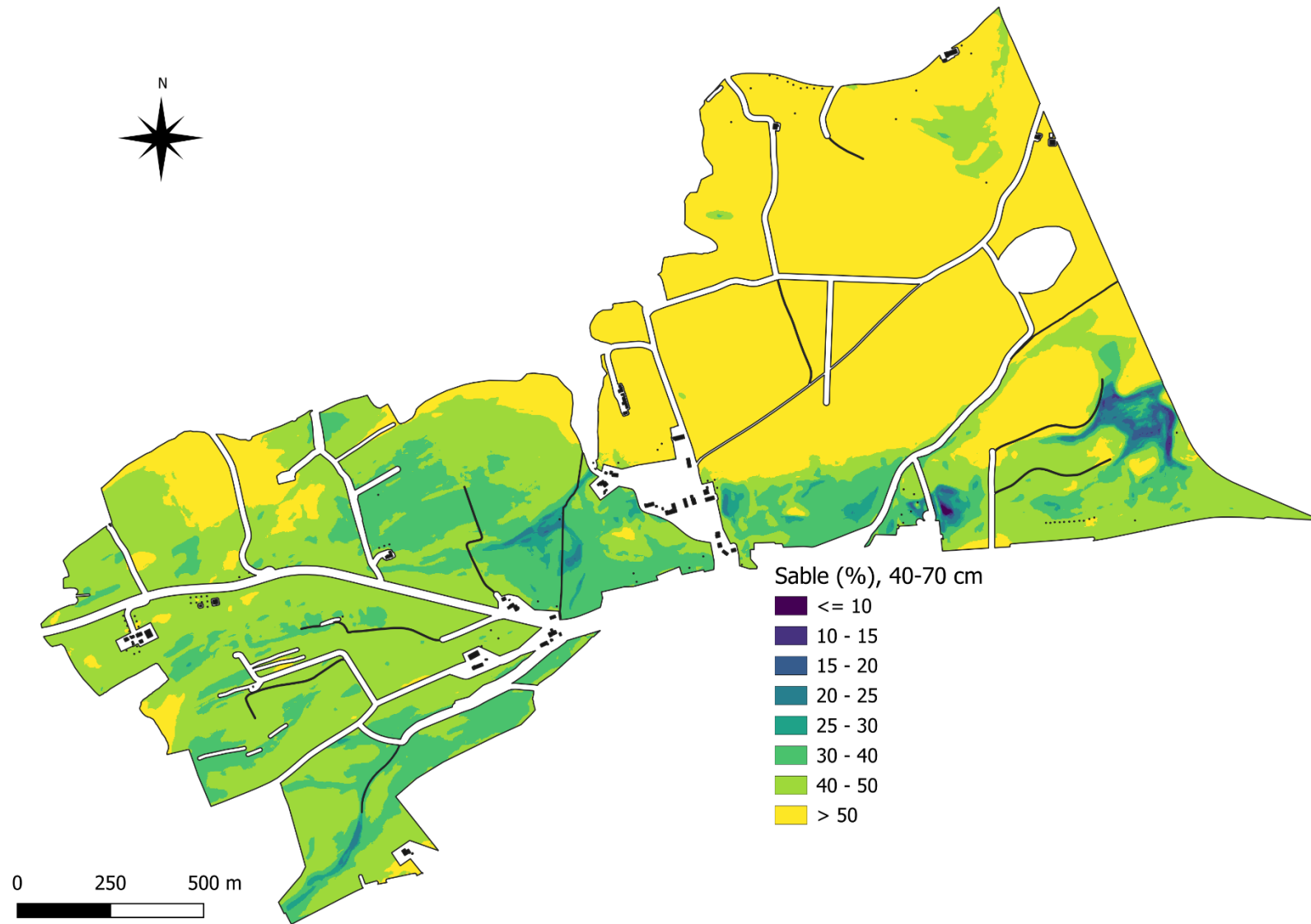


Figure 9 : Carte de propriétés des sols « Teneur en sable » (profondeur : 40-70 cm).

C 1.4 Teneur en matières organiques

Les matières organiques des sols proviennent des résidus végétaux et des organismes morts, ainsi que des produits de leur décomposition et de leur transformation. Elles jouent un rôle important dans le fonctionnement des sols, notamment par leur capacité à stocker l'eau et les nutriments et ont une influence positive sur de nombreuses fonctions des sols. La teneur en matières organiques constitue ainsi un indicateur clé de la fertilité et de la qualité des sols.

Les matières organiques sont composées pour plus de la moitié de carbone. Le carbone stocké dans les sols joue un rôle important dans le contexte du changement climatique et de la protection du climat. En Suisse, les sols stockent plus de carbone que l'atmosphère et la biomasse vivante réunies.

Les cartes (Figure 10, Figure 11 et Figure 12) reposent sur des études détaillées réalisées à partir de sondages. Des méthodes d'analyse en laboratoire reconnues, ainsi que des méthodes spectroscopiques, ont été utilisées pour caractériser ces sondages. Les cartes ont été établies à l'aide de méthodes de cartographie numérique des sols. Pour plus d'informations, veuillez consulter la page internet du projet.

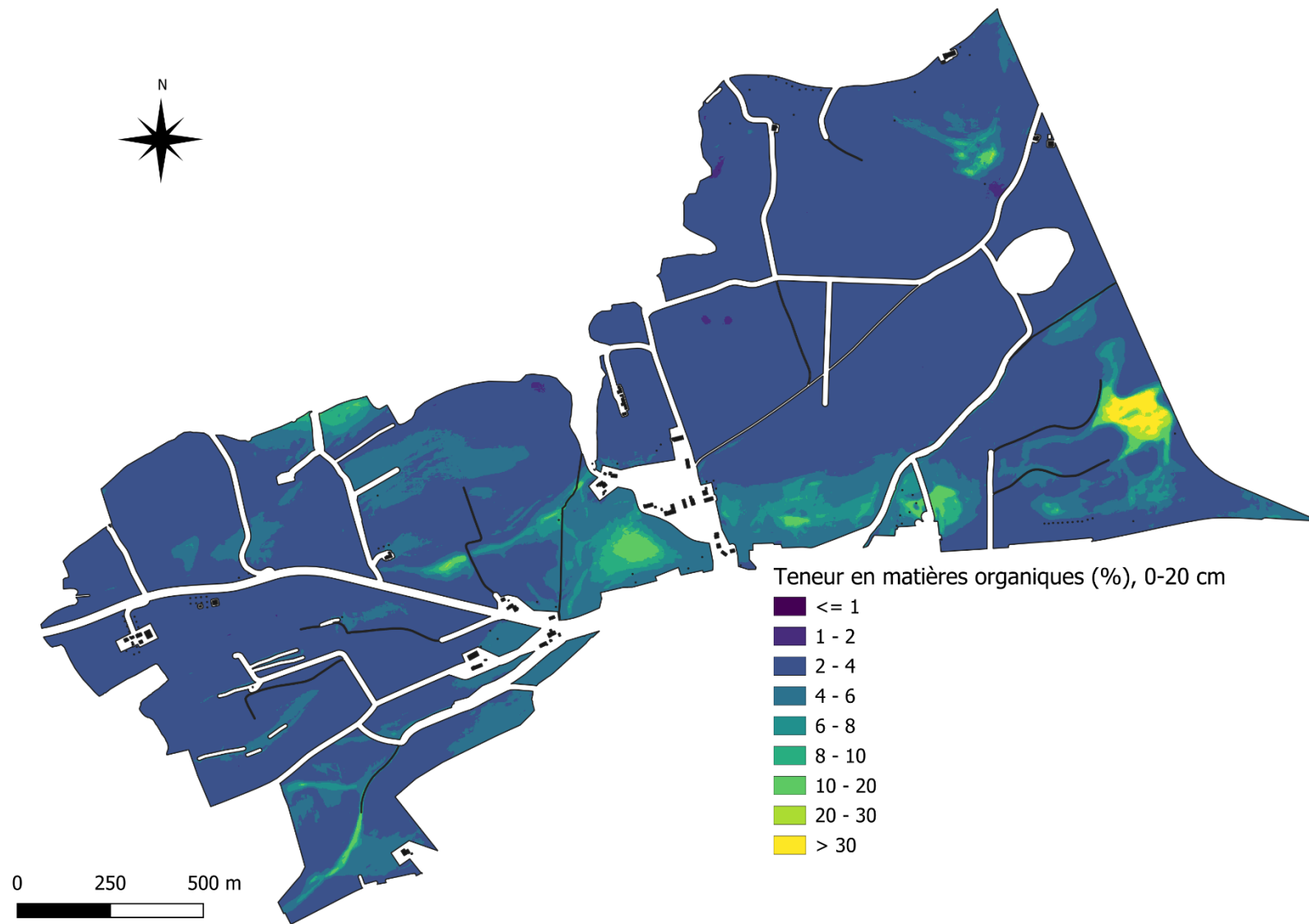


Figure 10 : Carte de propriétés des sols « Teneur en matières organiques » (profondeur : 0-20 cm).

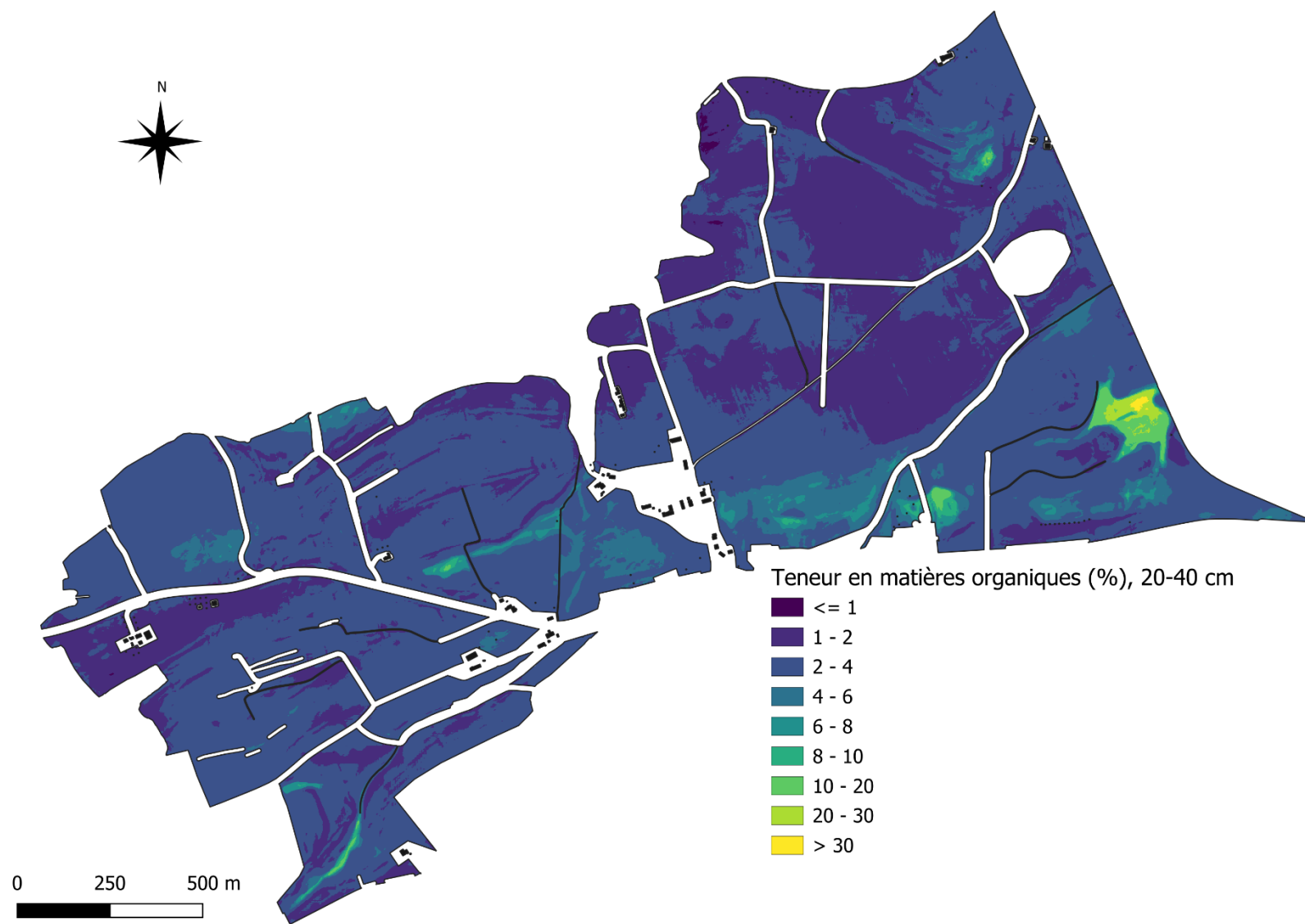


Figure 11 : Carte de propriétés des sols « Teneur en matières organiques » (profondeur : 20-40 cm).

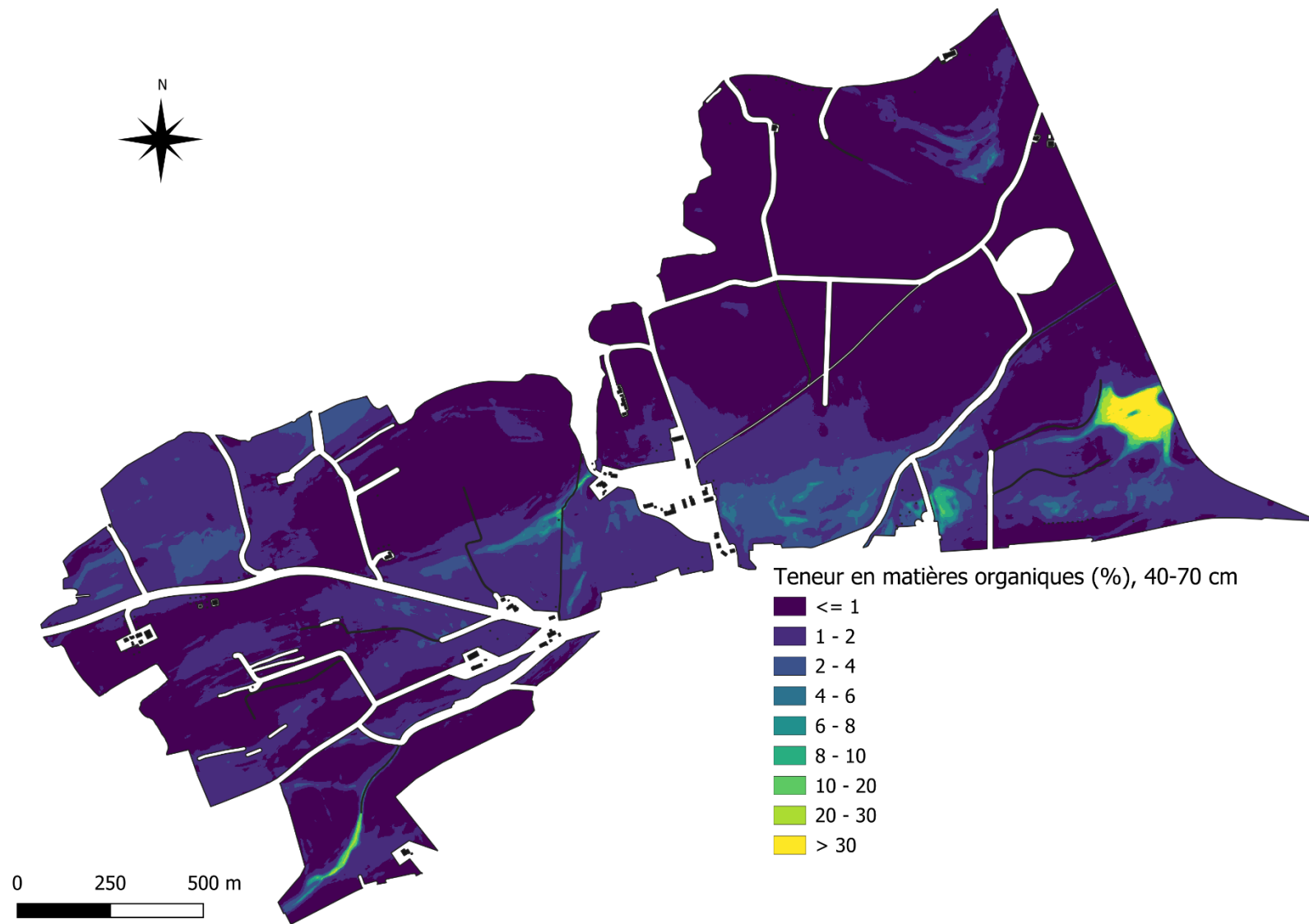


Figure 12 : Carte de propriétés des sols « Teneur en matières organiques » (profondeur : 40-70 cm).

C 1.5 Teneur en carbonates

La teneur en carbonates renseigne sur la quantité de carbonate de calcium (CaCO_3), également appelé chaux, présente dans les sols. La chaux joue un rôle important de tampon contre l'acidification des sols. Dans les sols agricoles, des apports réguliers en chaux sont effectués afin de maintenir le pH dans une gamme garantissant une bonne disponibilité des nutriments. La présence de carbonates favorise également l'activité des organismes vivant dans les sols et contribue à l'amélioration de la structure des sols. Les sols avec une structure stable sont moins sensibles à la formation de croûtes de battance, sont mieux aérés et présentent une meilleure capacité de rétention en eau.

Les cartes (Figure 13, Figure 14 et Figure 15) reposent sur des analyses approfondies de profils et de sondages. Des méthodes de laboratoire éprouvées ont été utilisées pour leur caractérisation. Les cartes ont été établies à l'aide de méthodes de cartographie numérique des sols. Pour plus d'informations, veuillez consulter la page internet du projet.

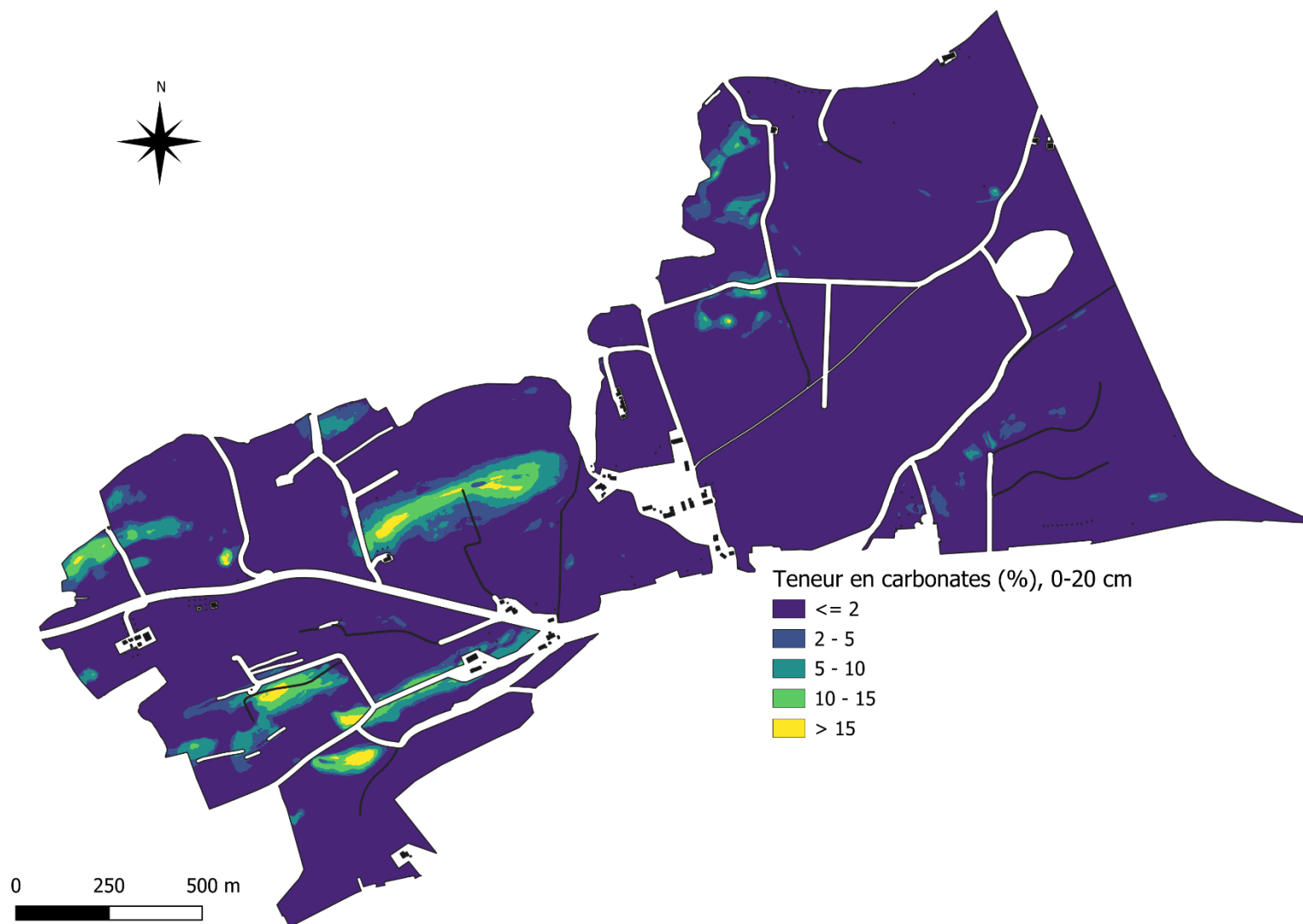


Figure 13 : Carte de propriétés des sols « Teneur en carbonates » (profondeur : 0-20 cm).

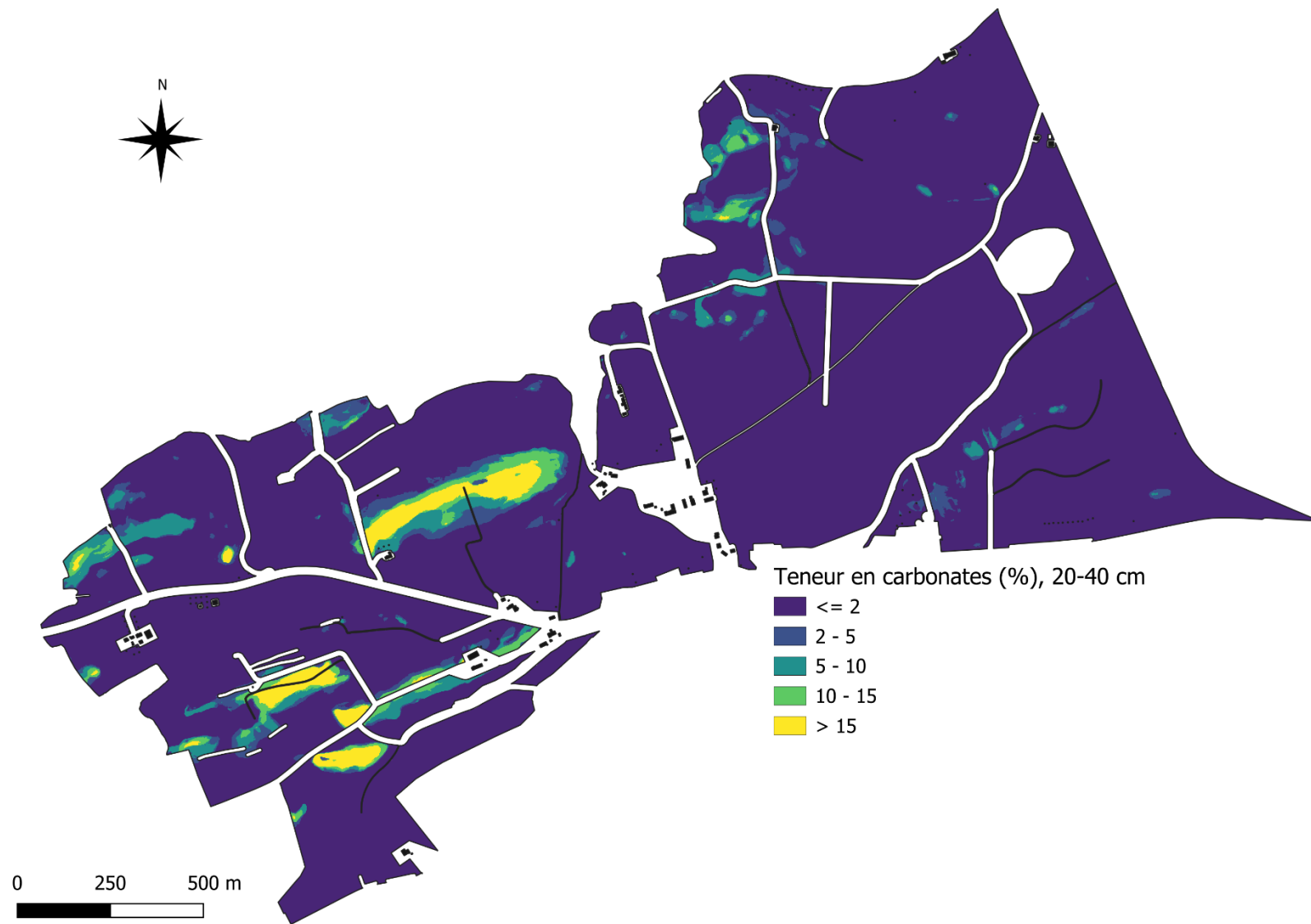


Figure 14 : Carte de propriétés des sols « Teneur en carbonates » (profondeur : 20-40 cm).

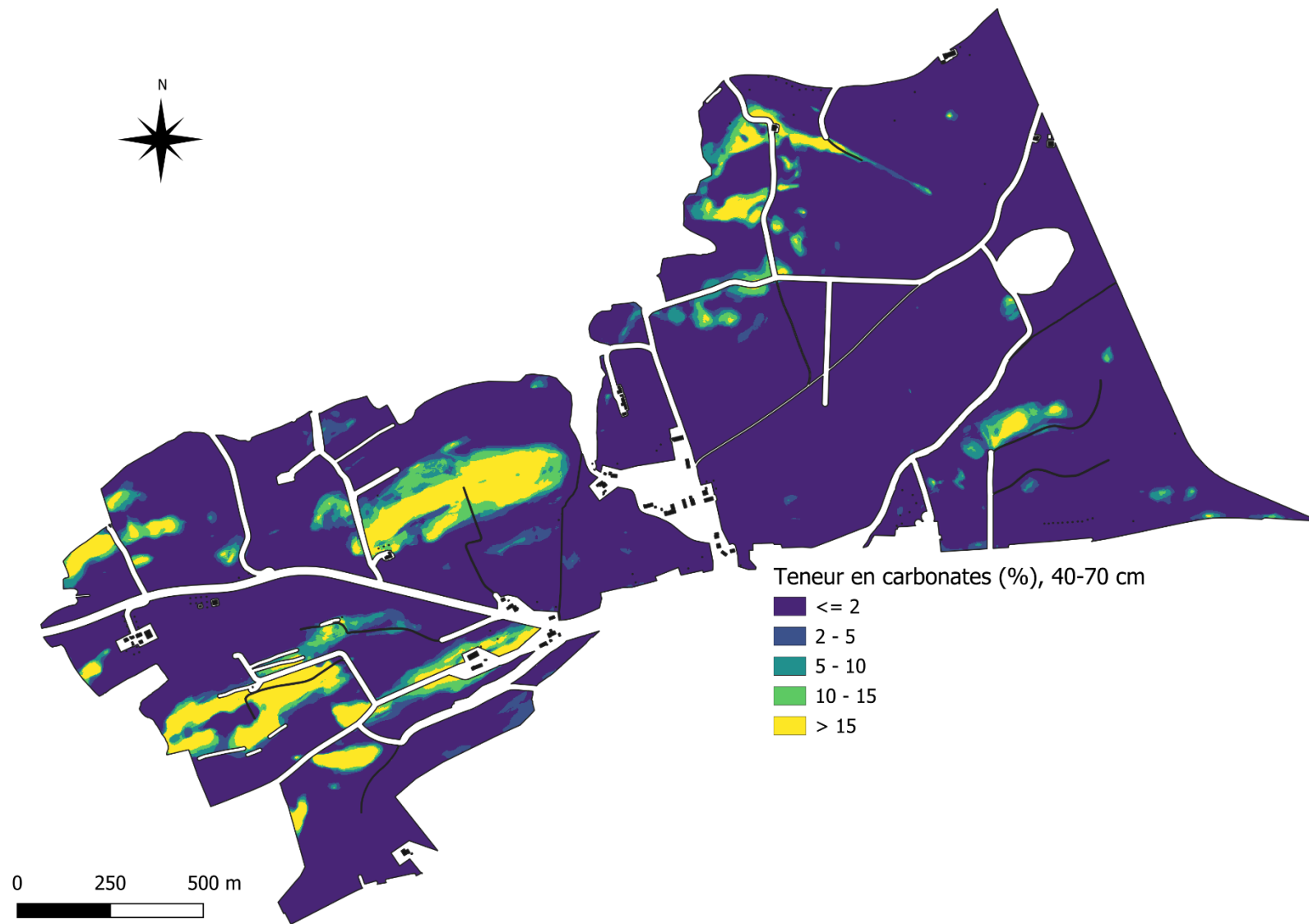


Figure 15 : Carte de propriétés des sols « Teneur en carbonates » (profondeur : 40-70 cm).

C 1.6 pH

Le pH renseigne sur le degré d'acidité ou de basicité des sols. De nombreux processus dans les sols sont influencés par le pH. Lorsque l'acidité des sols augmente, la disponibilité des nutriments, la capacité de filtration et la vie dans les sols diminuent de manière générale. Les sols agricoles sont les plus fertiles lorsque le pH se situe entre 5,5 et 7 (pH neutre à légèrement acide). Un chaulage régulier permet d'ajuster le pH des sols agricoles à un niveau optimal.

Les cartes (Figure 16, Figure 17 et Figure 18) sont basées sur des études approfondies réalisées à partir de sondages. Des méthodes d'analyse classiques et spectroscopiques en laboratoire ont été utilisées à cet effet. Ces cartes ont été élaborées à l'aide de techniques de cartographie numérique des sols. Pour plus d'informations, consultez le site internet du projet.

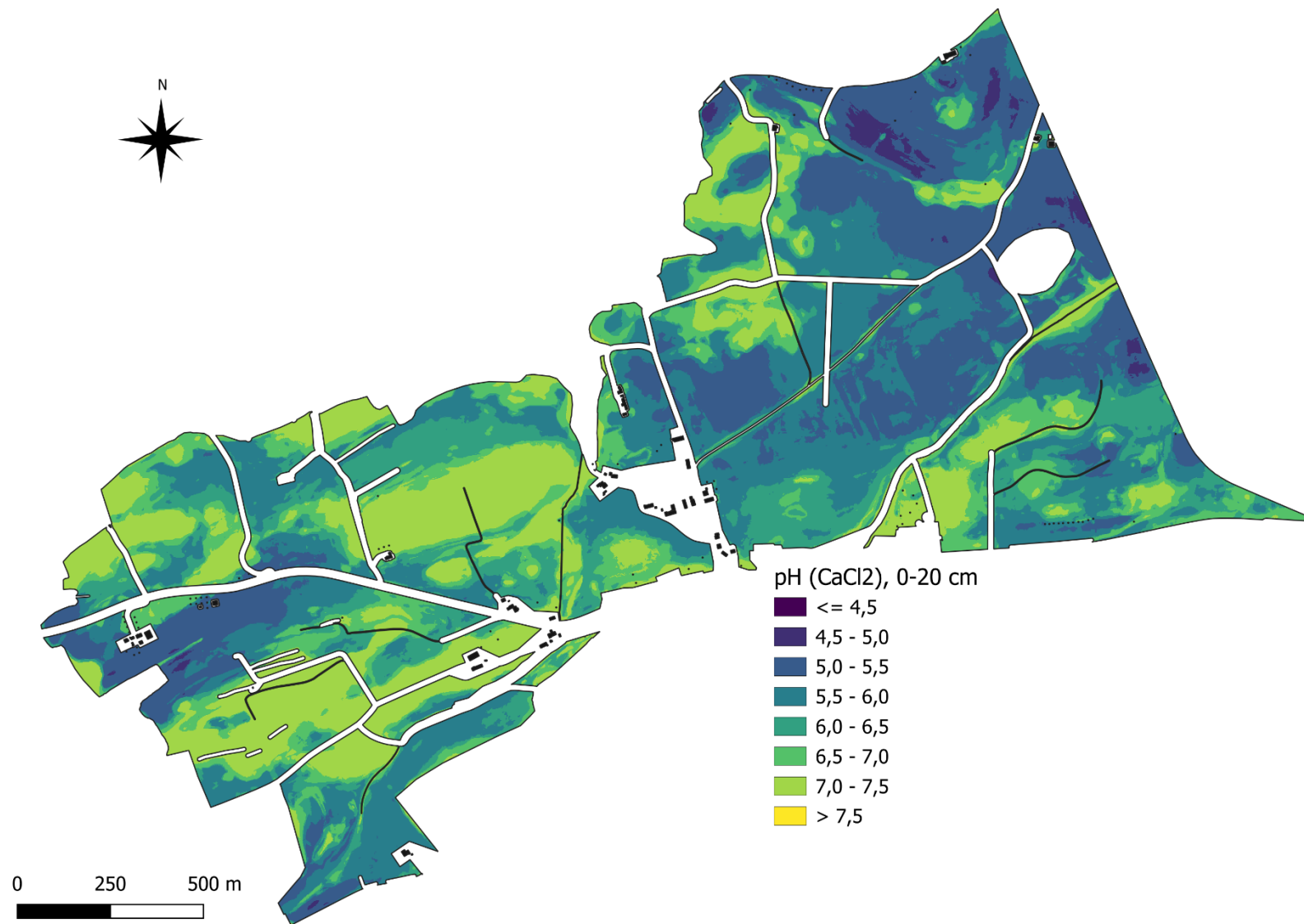


Figure 16 : Carte de propriétés des sols « pH » (profondeur : 0-20 cm).

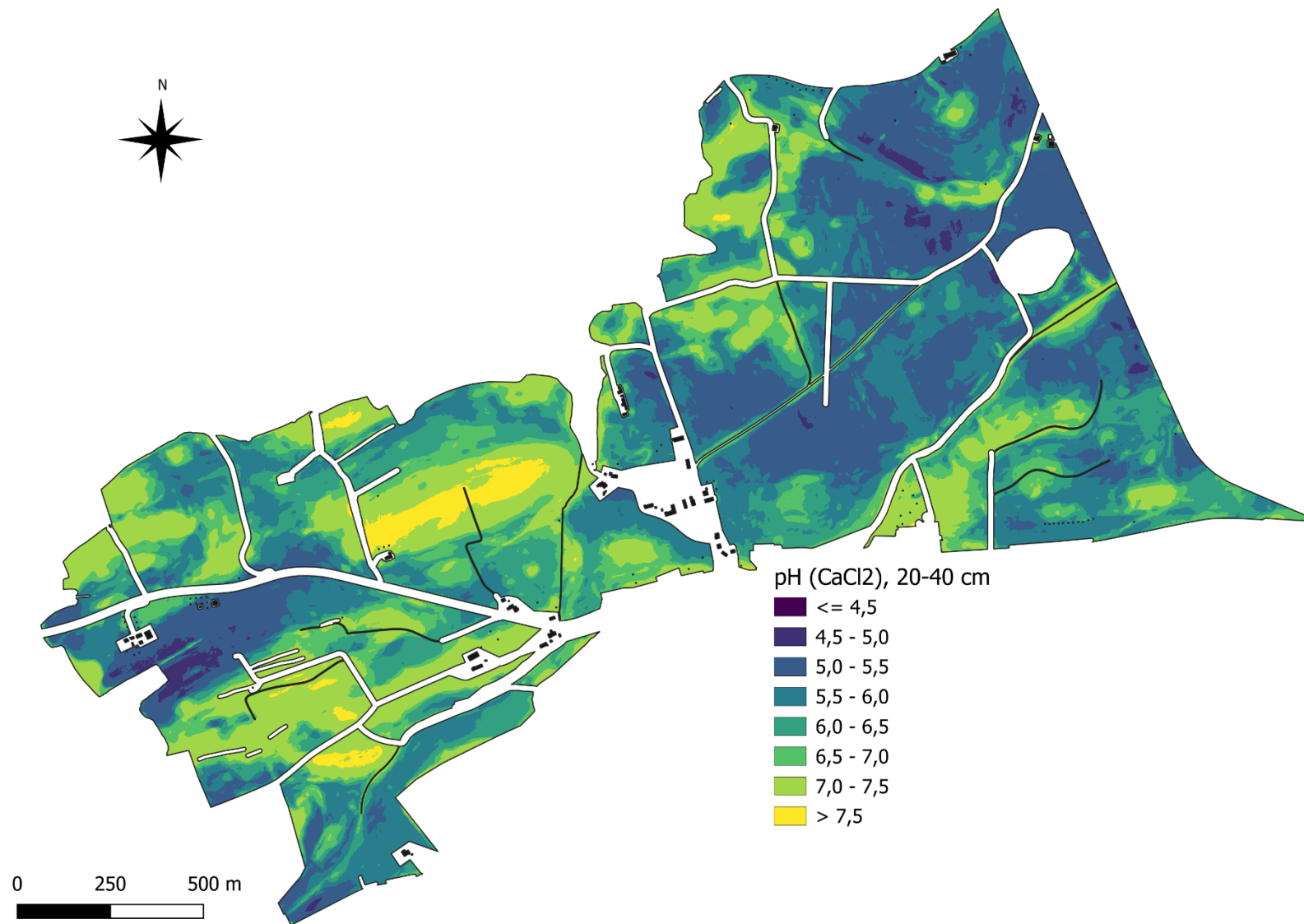


Figure 17 : Carte de propriétés des sols « pH » (profondeur : 20-40 cm).

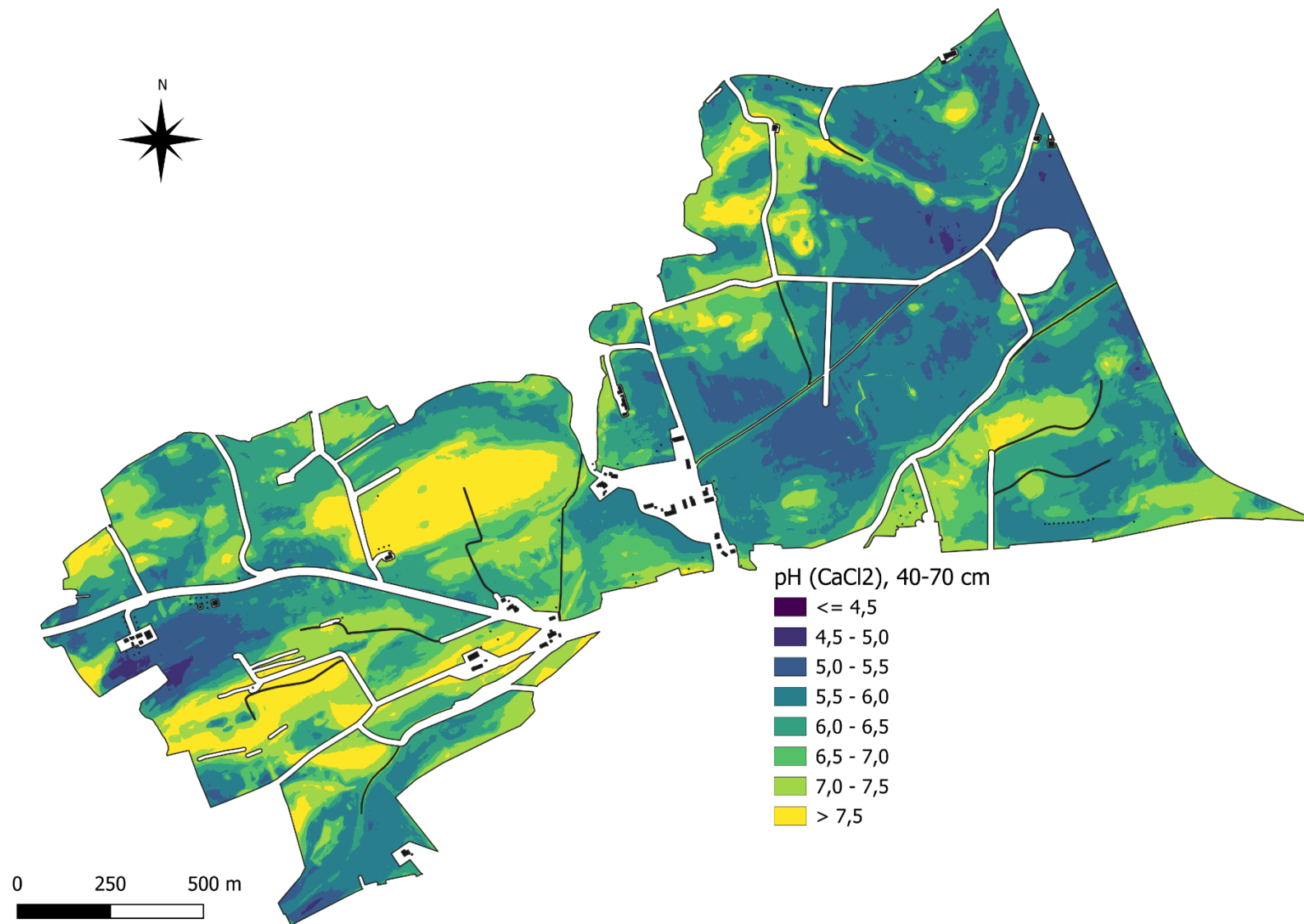


Figure 18 : Carte de propriétés des sols « pH » (profondeur : 40-70 cm).

C 2. Cartes des caractéristiques des sols

Tableau 2: Aperçu des cartes des caractéristiques des sols

Propriétés des caractéristiques des sols	Unités	Profondeur
Capacité d'échange cationique	mol _c /m ²	0–90 cm
Groupe de régime hydrique	-	-
Limite des carbonates	cm	-
Profondeur jusqu'à l'horizon « gg »	cm	-
Profondeur jusqu'à l'horizon « r »	cm	-
Profondeur utile	cm	-
Réserve utile	mm	-
Types de sol	-	-
Sous-types I, G, R	-	-

C 2.1 Capacité d'échange cationique effective

Les nutriments essentiels tels que le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium sont présents dans les sols sous forme d'ions positifs (cations). La capacité d'échange cationique (CEC) décrit la quantité de ces cations que les sols sont capables de retenir et d'échanger. Elle constitue un indicateur important de la fertilité des sols.

La CEC dépend principalement de la teneur en argile et en matières organiques, ainsi que du pH. Les sols riches en argile et en matières organiques présentent généralement une CEC élevée, laquelle augmente avec le pH pour atteindre un maximum dans des conditions légèrement basiques.

La CEC effective (CEC_{eff}) est mesurée en fonction du pH du sol, tandis que la CEC potentielle (CEC_{pot}) correspond à la capacité maximale pouvant être atteinte dans des conditions légèrement basiques. Dans cette étude, la CEC effective est estimée à l'aide d'une fonction de pédotransfert, conformément au manuel de cartographie des sols KA5 (Allemagne).

La carte est basée sur la méthode de Lehmann et al. (2013, voir la documentation méthodologique pour plus de détails). Les paramètres utilisés lors de l'évaluation sont :

- teneur en argile et en limon,
- teneur en matières organiques,
- pH,
- masse volumique apparente de la terre fine,
- limite supérieure du sous-sol et des horizons « gg » et « r ».

La capacité d'échange cationique effective est exprimée en mol_c/m² (voir Figure 19 ci-dessous). La méthode ne convient pas aux sols organiques (tourbes, sols semi-tourbeux), qui ont par conséquent été exclus de la carte.

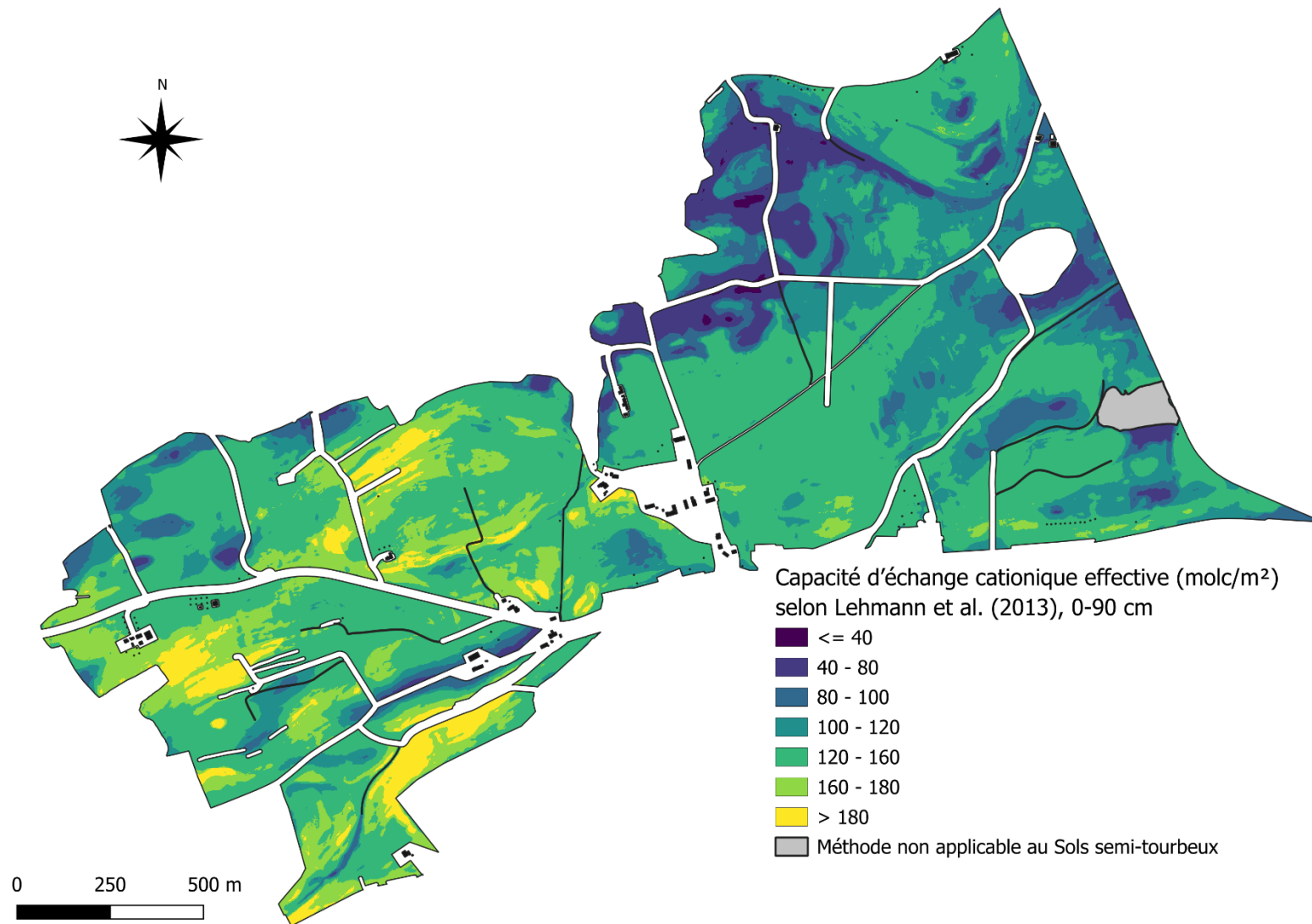


Figure 19 : Carte des caractéristiques des sols « Capacité d'échange cationique effective » d'après Lehmann et al. (2013).

C 2.2 Groupes de régime hydrique

Le régime hydrique des sols désigne la manière dont l'eau est absorbée, stockée et restituée par les sols. Un régime hydrique équilibré est essentiel pour la fertilité des sols, leur utilisation agricole et sylvicole, ainsi que pour leur fonction de filtre et de régulation.

Une partie du régime hydrique peut être décrite à l'aide du « groupe de régime hydrique » et du « sous-groupe de régime hydrique ».

Quand il pleut, l'eau s'infiltre sans problème dans les couches profondes de certains sols. Dans d'autres, cependant, une couche imperméable empêche son écoulement, ce qui entraîne une accumulation d'eau. D'autres sols sont soumis à l'influence des eaux souterraines ou des eaux de pente.

Les groupes de régime hydrique décrivent les différentes conditions hydriques sous la forme de neuf classes, allant des sols normalement perméables à ceux qui sont saturés en eau en permanence jusqu'à la surface.

La combinaison de la profondeur utile des sols – c'est-à-dire la profondeur maximale à laquelle les plantes peuvent s'enraciner dans le sol – et du groupe de régime hydrique donne le sous-groupe de régime hydrique (WHUG). Le WHUG classe les sols en 25 catégories, allant de perméables et profonds à constamment engorgés et superficiels. Il s'agit d'un paramètre essentiel pour la planification cantonale et l'agriculture.

Les cartes (Figure 20 et Figure 21) sont basées sur des études approfondies de profils et de sondages. Les caractéristiques pédologiques ont été décrites sur le terrain. Les cartes ont été établies à l'aide de méthodes de cartographie numérique des sols. Pour plus d'informations, consultez le site internet du projet.

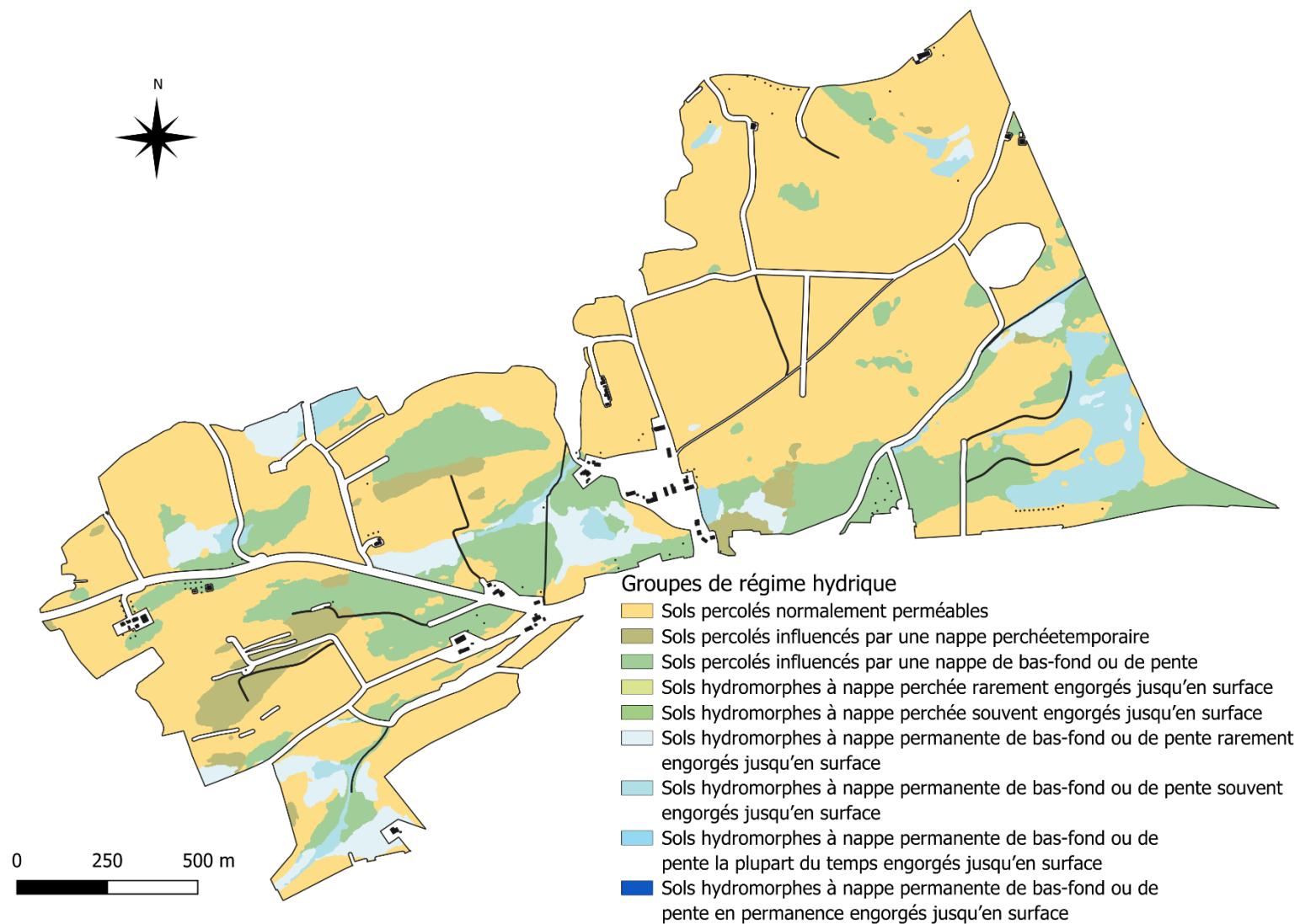


Figure 20: Carte des caractéristiques des sols « Groupe de régime hydrique ».

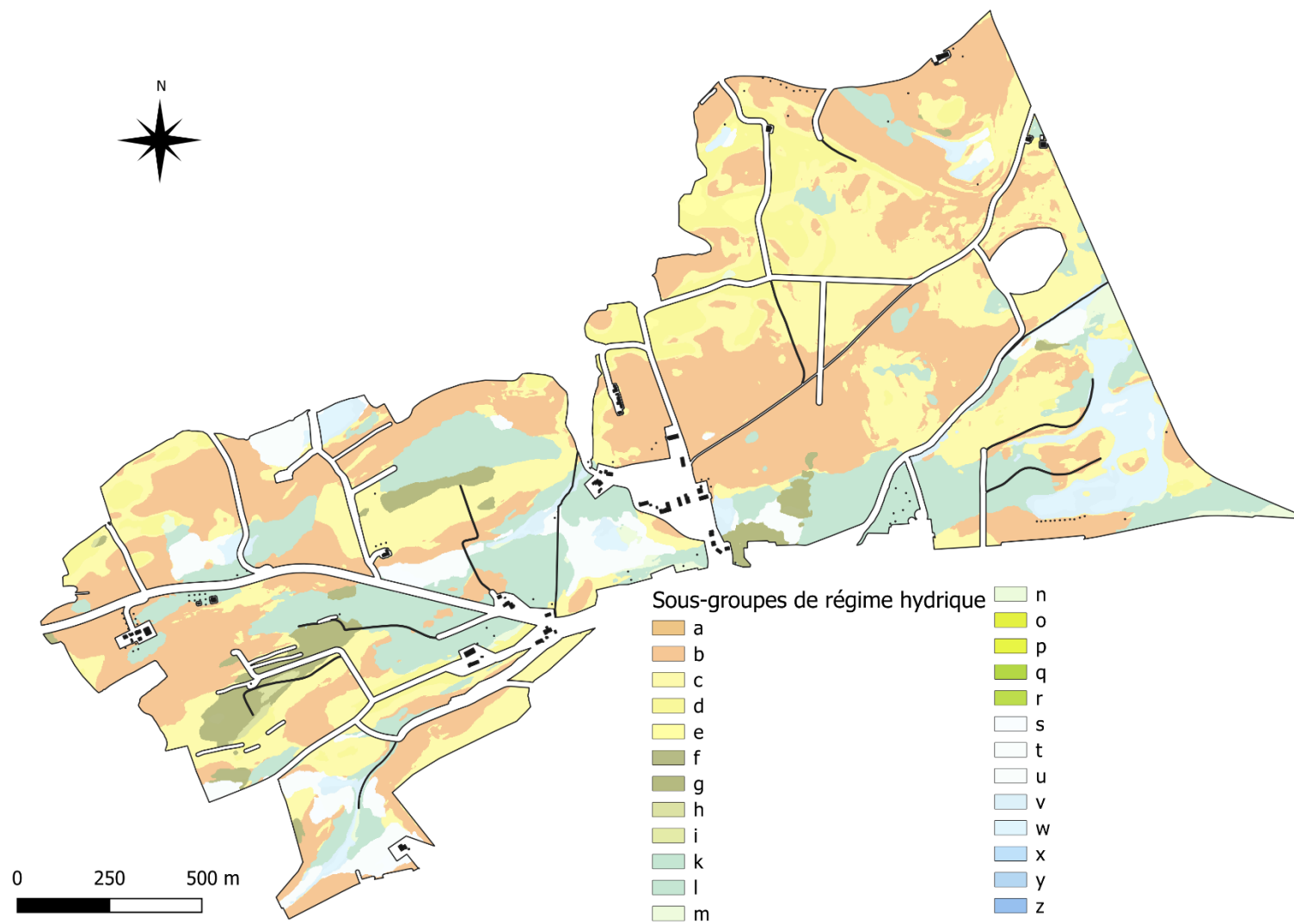


Figure 21 : Carte des caractéristiques des sols « Sous-groupes de régime hydrique ».

C 2.3 Limite des carbonates

Au cours de leur évolution, les sols s'acidifient. Ce processus entraîne la dissolution des carbonates (carbonates de calcium, CaCO_3) dans l'eau, qui sont ensuite transportés vers les couches profondes des sols avec les eaux d'infiltration. Les sols se décalcifient donc de haut en bas. La limite des carbonates indique la profondeur à laquelle il n'y a plus de carbonates dans le sol.

Dans les horizons décarbonatés, l'apport en nutriments est limité. La limite des carbonates indique la profondeur à partir de laquelle les nutriments essentiels aux plantes deviennent insuffisants. En milieu forestier, elle constitue un indicateur clé de l'état nutritionnel des sols et de leur capacité tampon face aux apports acides.

La carte (Figure 22) repose sur des études approfondies de profils et de sondages. Des méthodes d'analyse en laboratoire reconnues ont été utilisées à cette fin. Les cartes ont été élaborées à l'aide de méthodes de cartographie numérique des sols. De plus amples informations sont disponibles sur le site internet du projet.

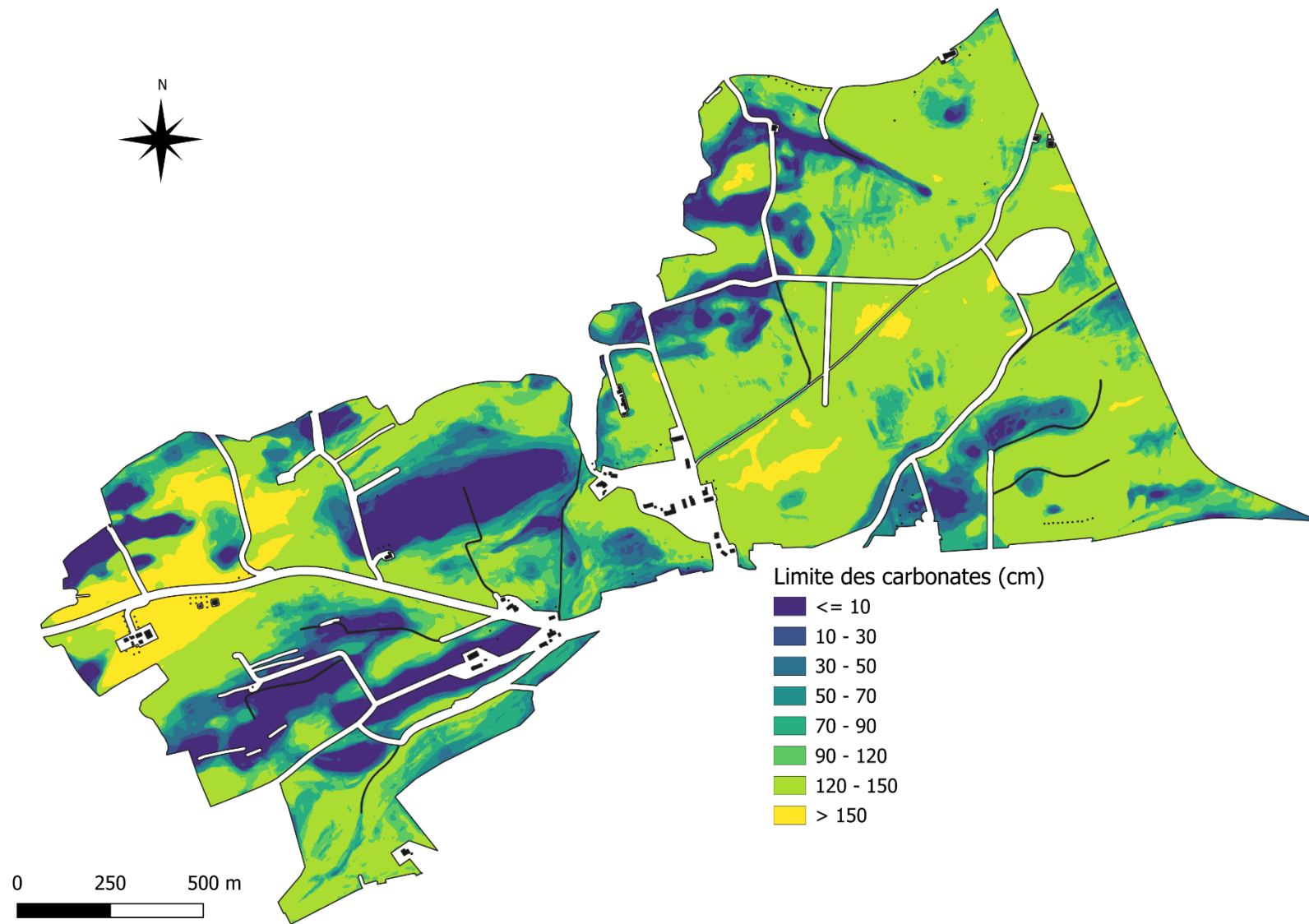


Figure 22 : Carte des caractéristiques des sols « Limite des carbonates ».

C 2.4 Profondeur jusqu'à l'horizon « gg »

Le régime hydrique des sols désigne la manière dont l'eau est absorbée, stockée et restituée par le sol. Un des paramètres du régime hydrique est caractérisé par la profondeur du sol jusqu'à l'horizon « gg ».

Les sols sont constitués de différentes couches, appelées horizons. Ceux-ci se développent au cours de la formation des sols et présentent des propriétés similaires lorsqu'ils se sont développés dans des conditions comparables. Chaque horizon possède ses propres caractéristiques qui le distinguent des couches voisines.

Les conditions d'humidité peuvent fortement influencer les propriétés d'un horizon. Selon la durée et l'intensité de l'engorgement, différentes caractéristiques apparaissent : des taches de rouille au fer oxydé et des précipitations de manganèse jusqu'à des zones décolorées et grises. Le symbole « gg » désigne les horizons qui présentent de nombreuses taches de rouille en raison d'un engorgement récurrent. La « profondeur jusqu'à l'horizon « gg » décrit à partir de quelle profondeur un horizon engorgé apparaît.

La carte (Figure 23) repose sur des études approfondies de profils et de sondages. Les caractéristiques pédologiques ont été décrites sur le terrain. La carte a été établie à l'aide de méthodes de

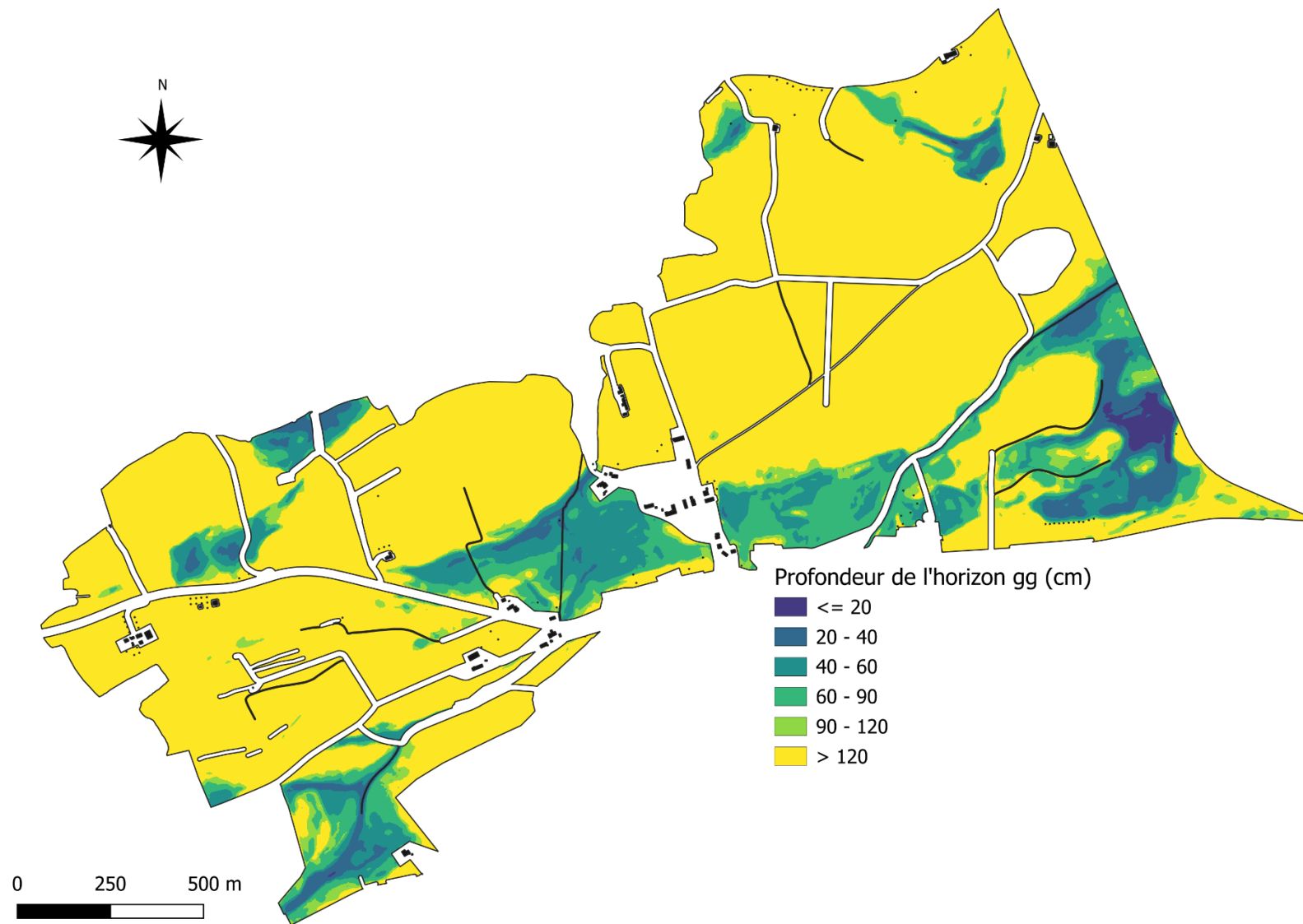


Figure 23 : Carte des caractéristiques des sols « Profondeur de l'horizon « gg » ».

C 2.5 Profondeur jusqu'à l'horizon « r »

Le régime hydrique des sols désigne la manière dont l'eau est absorbée, stockée et restituée par le sol. Un des paramètres du régime hydrique est caractérisé par la profondeur du sol jusqu'à l'horizon « r ».

Les sols sont constitués de différentes couches, appelées horizons. Ceux-ci se développent au cours de la formation des sols et présentent des propriétés similaires lorsqu'ils se sont développés dans des conditions comparables. Chaque horizon possède ses propres caractéristiques qui le distinguent des couches voisines.

Les conditions d'humidité peuvent fortement influencer les propriétés d'un horizon. Selon la durée et l'intensité de l'engorgement, différentes caractéristiques apparaissent : des taches de rouille dues au fer oxydé et des précipitations de manganèse jusqu'à des zones décolorées et grises. Le symbole « r » désigne les horizons qui sont durablement engorgés et fortement réduits, c'est-à-dire qui présentent presque en permanence des conditions pauvres en oxygène. La « profondeur jusqu'à l'horizon « r » » décrit à partir de quelle profondeur un horizon durablement saturé en eau apparaît.

La carte (Figure 24) repose sur des études approfondies de profils et de sondages. Les caractéristiques pédologiques ont été décrites sur le terrain. La carte a été établie à l'aide de méthodes de cartographie numérique des sols. Pour plus d'informations, consultez le site internet du projet.

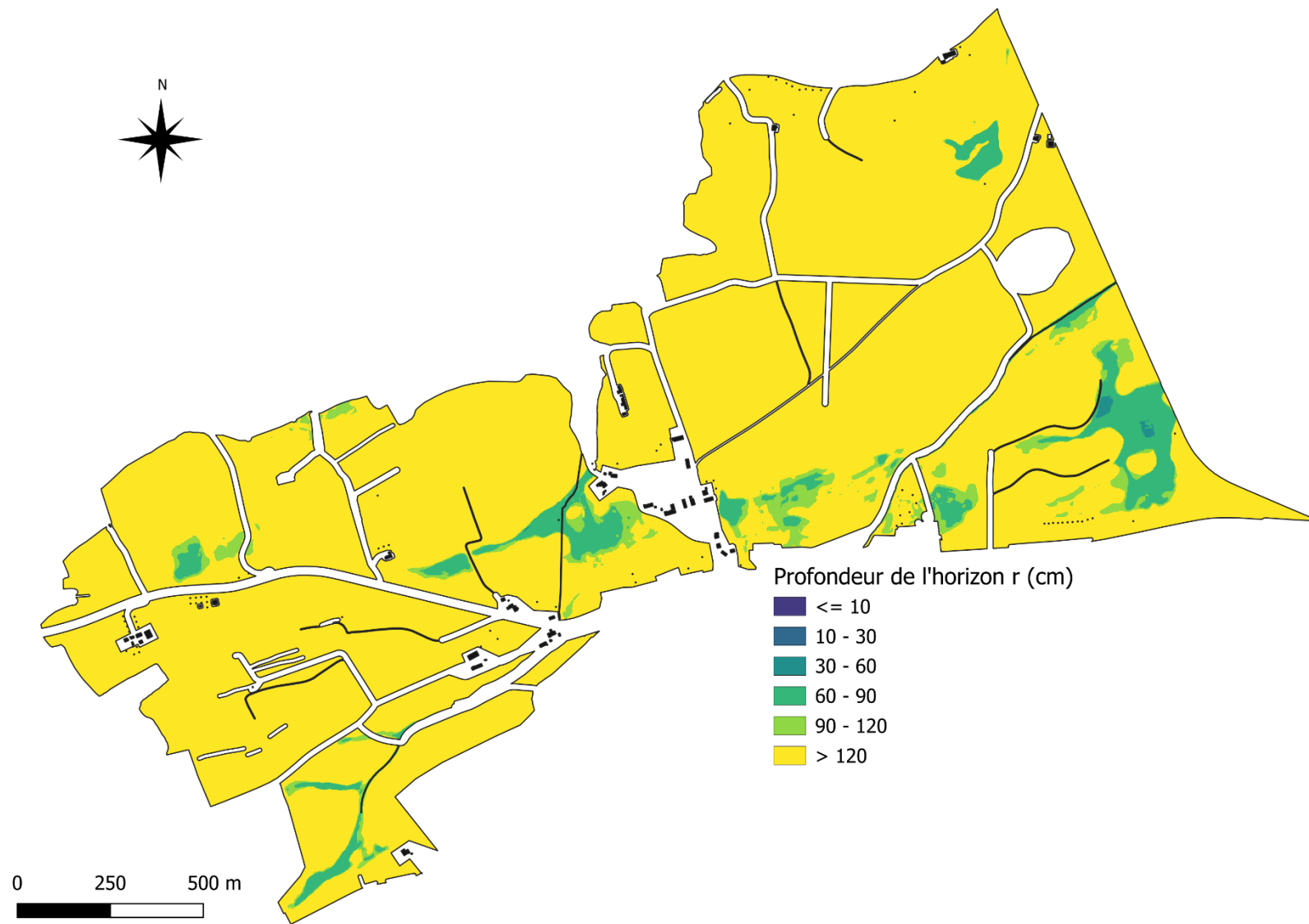


Figure 24 : Carte des caractéristiques des sols « Profondeur de l'horizon « r » ».

C 2.6 Profondeur utile

Les plantes se développent bien lorsque leurs racines disposent d'une grande capacité d'enracinement pour absorber l'eau et les nutriments. Cette capacité est déterminée par l'épaisseur du sol, mais peut être limitée par certains obstacles, tels que les pierres, les horizons fortement compactés ou les zones détrempées, qui restreignent la croissance des racines. Tous ces facteurs sont pris en compte pour déterminer la profondeur utile (PU). Plus la PU est grande, plus le sol est adapté à l'exploitation agricole.

La carte (Figure 25) repose sur des analyses approfondies de profils et de sondages. Des méthodes de laboratoire éprouvées ont été utilisées et les caractéristiques pédologiques ont été décrites sur le terrain. La carte a été établie à l'aide de méthodes de cartographie numérique des sols. Pour plus d'informations, consultez le site internet du projet.

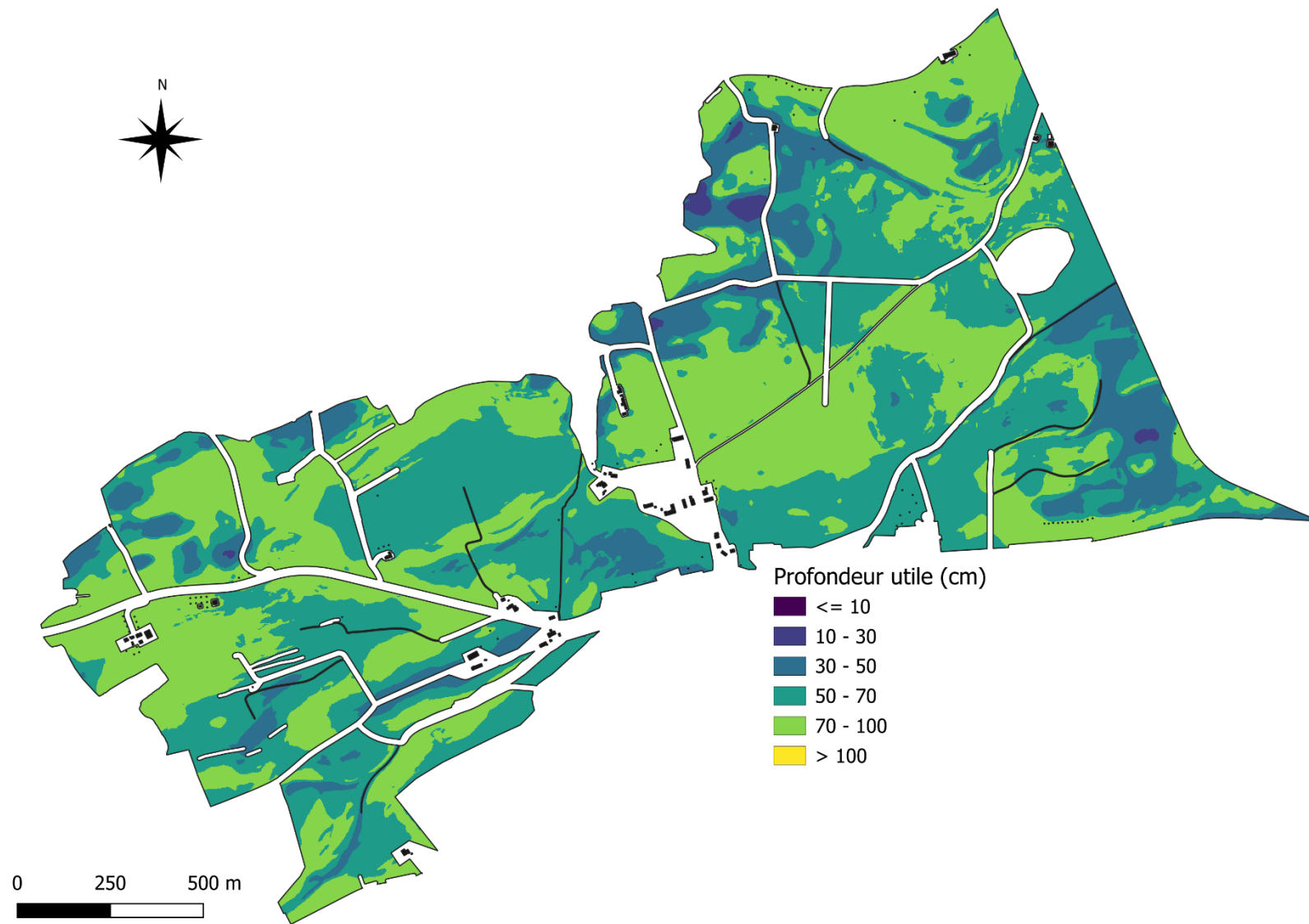


Figure 25 : Carte des caractéristiques des sols « Profondeur utile ».

C 2.7 Réserve utile

La réserve utile (RU) indique la quantité d'eau qu'un sol peut absorber et stocker pour les plantes. Cette propriété est essentielle pour la fertilité des sols et la régulation du régime hydrique. Les sols présentant une RU élevée peuvent stocker beaucoup d'eau et la restituer aux plantes, tandis que celles poussant sur des sols avec une RU faible sont plus sensibles au stress hydrique. La RU a été estimée à l'aide d'une fonction de pédotransfert issue du guide allemand de cartographie des sols, appliquée aux épaisseurs des horizons ou des couches et cumulée jusqu'au sous-sol ou jusqu'à un horizon engorgé. Cette méthode permet d'évaluer la quantité d'eau disponible pour les plantes sous un mètre carré de sol.

La carte thématique « Réserve utile » repose sur la méthode de Danner et al. (2003) (voir la documentation méthodologique pour plus de détails). Les paramètres pris en compte sont les suivants :

- teneur en argile et en limon,
- teneur en matières organiques,
- teneur en éléments grossiers (minéraux > 2mm),
- masse volumique apparente de l'échantillon total,
- limite supérieure des horizons « gg » et « r »,
- profondeur jusqu'au sous-sol.

La réserve utile est exprimée en millimètres (mm, voir Figure 26 ci-dessous), 1 mm correspondant à 1 litre d'eau par m². Les sols sont évalués jusqu'à une profondeur maximale de 90 cm. Cette méthode ne s'applique qu'aux sols minéraux. Les sols organiques ont, par conséquent, été exclus de la carte.

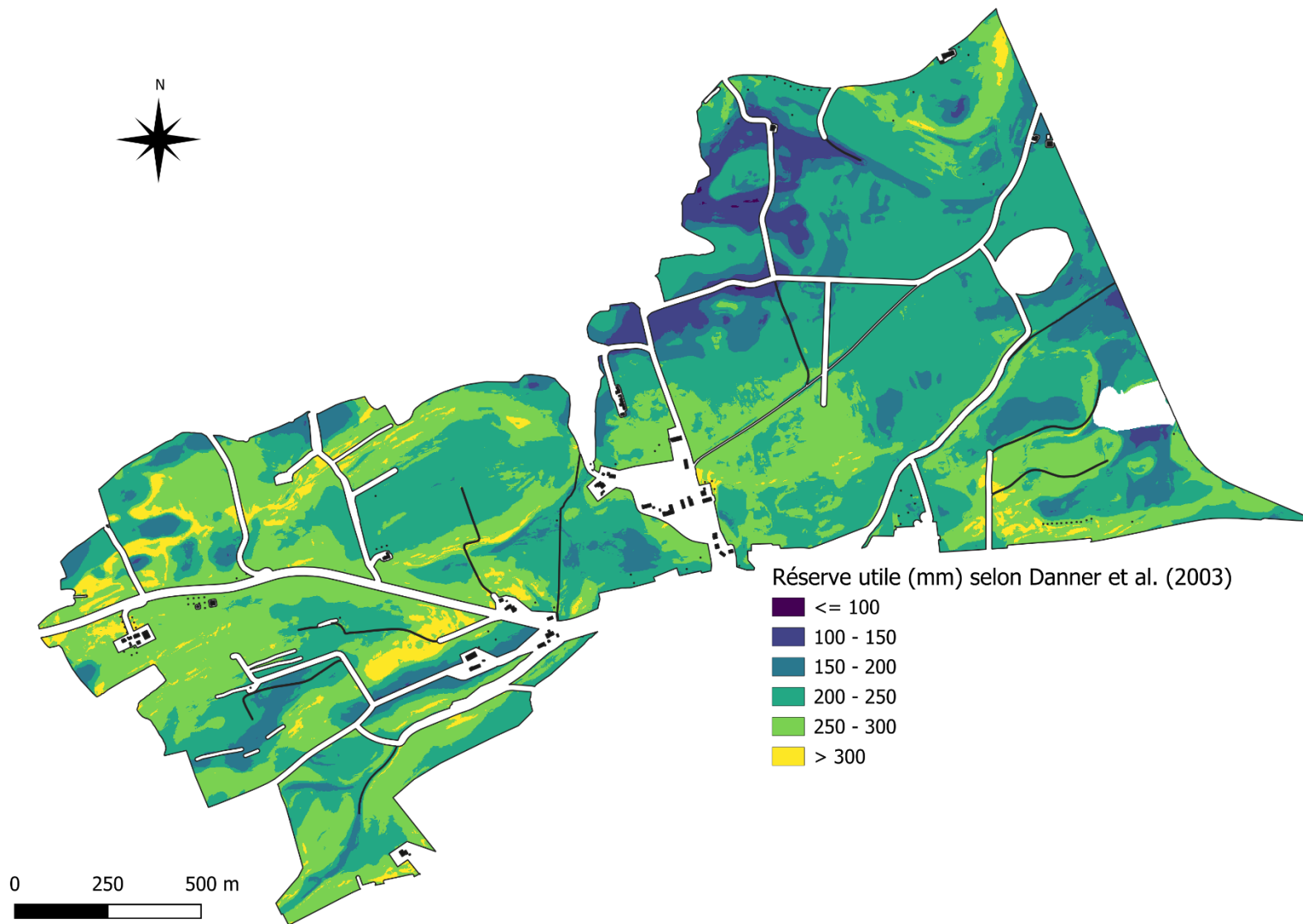


Figure 26 : Carte des caractéristiques des sols « Réserve utile » d'après Danner et al. (2003).

C 2.8 Types de sol

Les sols suisses se sont formés au cours des quelque 10 000 dernières années à partir de matériaux rocheux issus de la dernière période glaciaire. Leur diversité s'explique par l'action conjointe de facteurs pédogénétiques, tels que la roche mère, le climat, le relief et la végétation.

Dans les Alpes, le climat plus frais entraîne une formation des sols plus lente, ce qui donne principalement des sols peu épais. À l'inverse, sur le Plateau suisse, le climat plus doux favorise une formation des sols plus rapide, ce qui donne des sols généralement plus profonds et fertiles. Lorsque les sols se développent dans des conditions similaires, ils présentent des caractéristiques comparables (horizons pédologiques) et des propriétés physiques et chimiques semblables. Ces ensembles caractéristiques sont appelés types de sols. En Suisse se trouvent notamment des Sols bruns, des Sols bruns lessivés, des Régosols et des sols gleyifiés.

La carte (Figure 27) repose sur des études détaillées des profils et des sondages. Des méthodes d'analyse en laboratoire reconnues ont été utilisées et les paramètres des sols ont été décrits directement sur le terrain. L'élaboration de la carte s'est appuyée sur des méthodes de cartographie numérique des sols. Pour plus d'informations, veuillez consulter la page internet du projet.

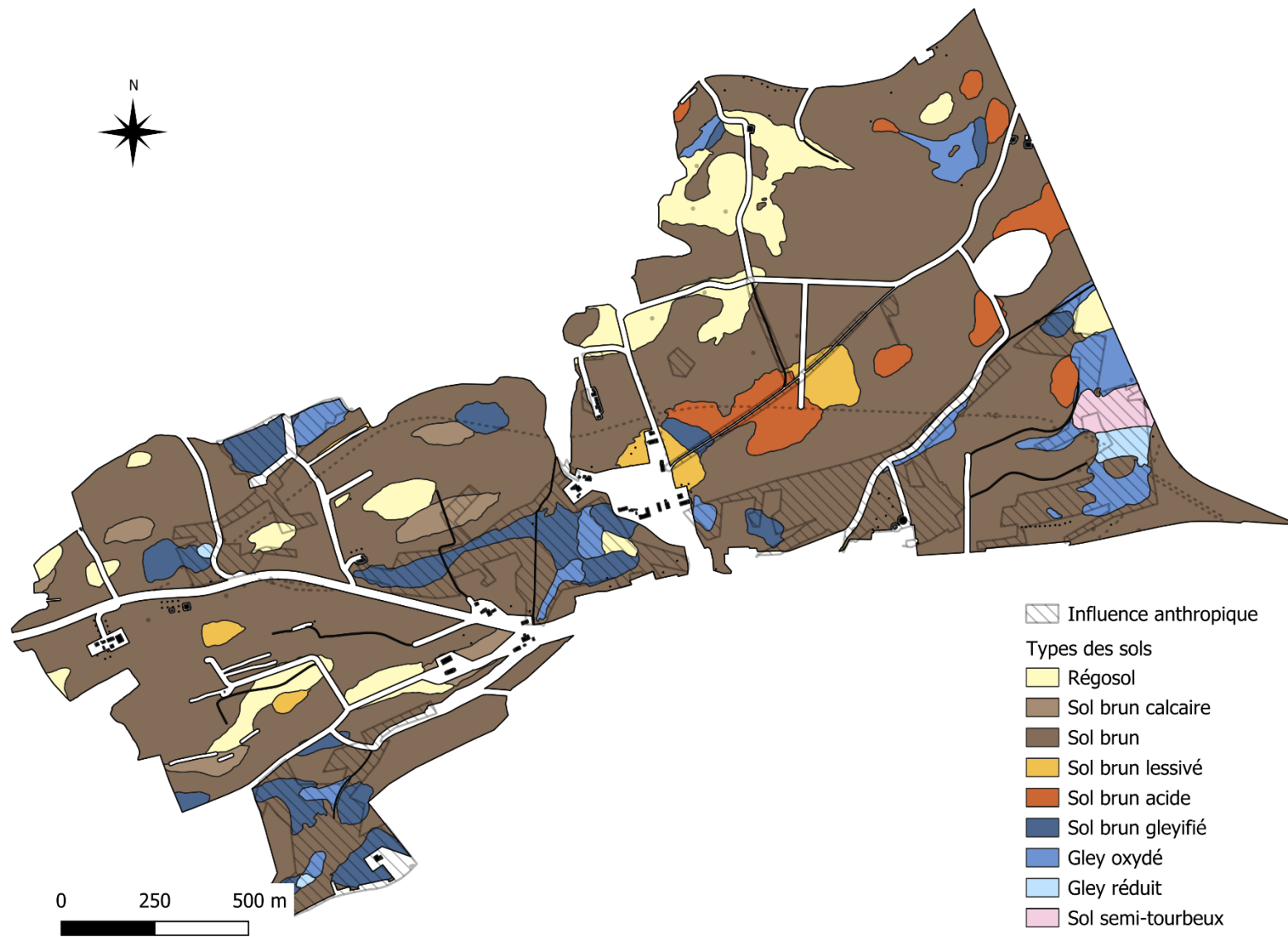


Figure 27 : Carte des caractéristiques des sols « Types de sol ».

C 2.9 Sous-types : I, G, R

Le régime hydrique des sols désigne la manière dont l'eau est absorbée, stockée et restituée par les sols. Un des paramètres du régime hydrique peut être décrit à l'aide des « sous-types I, G et R ».

Un sol moyen est composé pour moitié de matière solide et pour moitié de pores pouvant être remplis d'air ou d'eau. Si une partie du sol est saturée en eau de manière permanente ou temporaire, on parle alors d'un sol engorgé.

Lorsque des horizons peu perméables empêchent l'infiltration de l'eau ou que la nappe phréatique remonte de manière permanente ou périodique dans les couches supérieures du sol, il en résulte des caractéristiques typiques d'engorgement qui limitent l'activité microbienne et ont un impact négatif sur la fertilité du sol ainsi que sur l'exploitation agricole et forestière.

Même au sein d'un type de sol caractérisé par la présence d'eau, certaines propriétés importantes peuvent varier. Ces différences sont décrites par les sous-types :

- Le sous-type I désigne les sols influencés par des nappes perchées.
- Le sous-type G désigne les sols soumis à l'influence de nappes permanentes à battements
- Le sous-type R décrit les sols qui sont constamment engorgés d'eau en raison de la présence de nappes permanentes stables ou d'eau de pente.

Les cartes (Figure 28, Figure 29 et Figure 30) sont basées sur des études approfondies de profils et de sondages. Les caractéristiques pédologiques ont été décrites sur le terrain. Les cartes ont été établies à l'aide de méthodes de cartographie numérique des sols. Pour plus d'informations, consultez le site internet du projet.

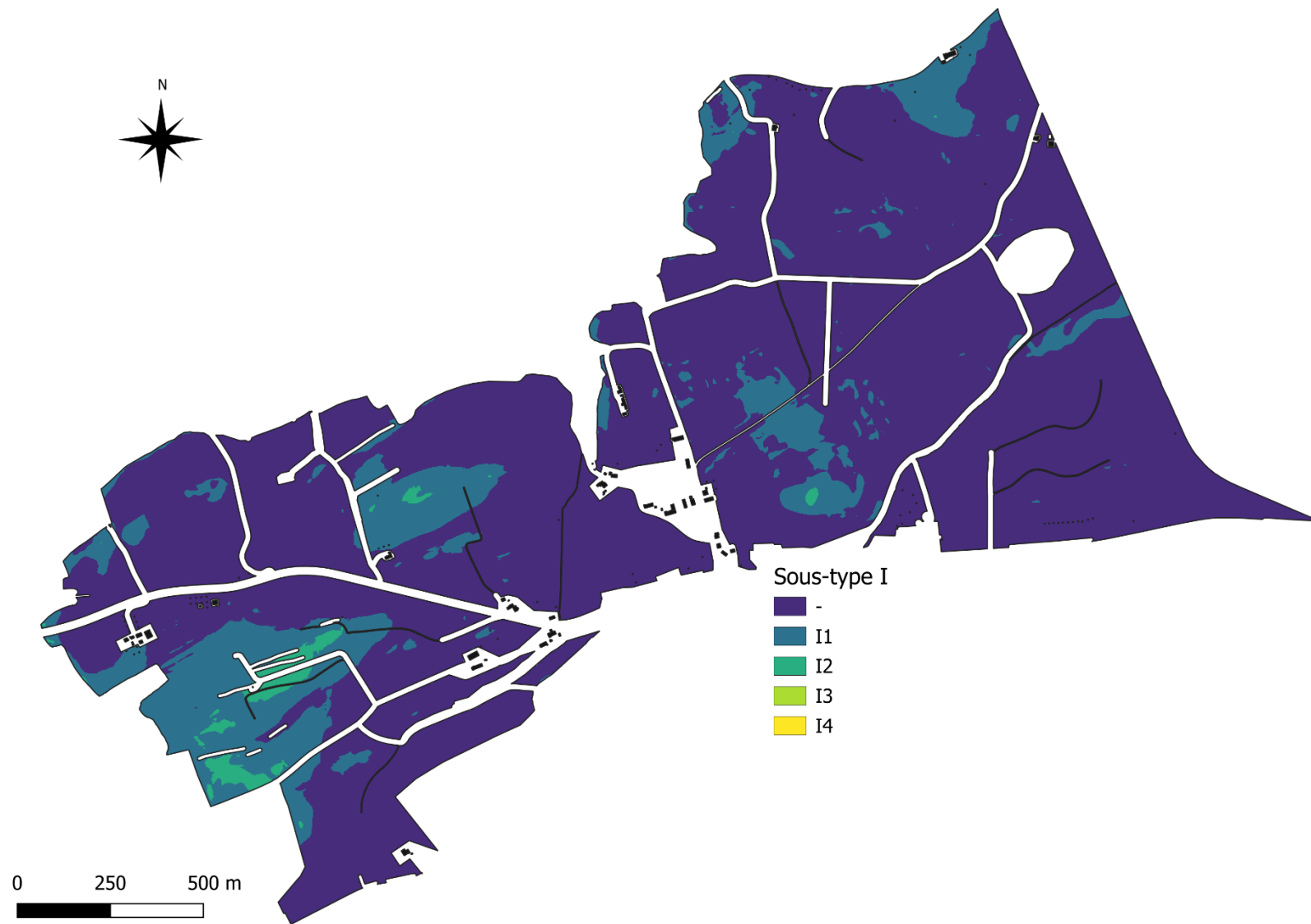


Figure 28 : Carte des caractéristiques des sols « Sous-type I ».

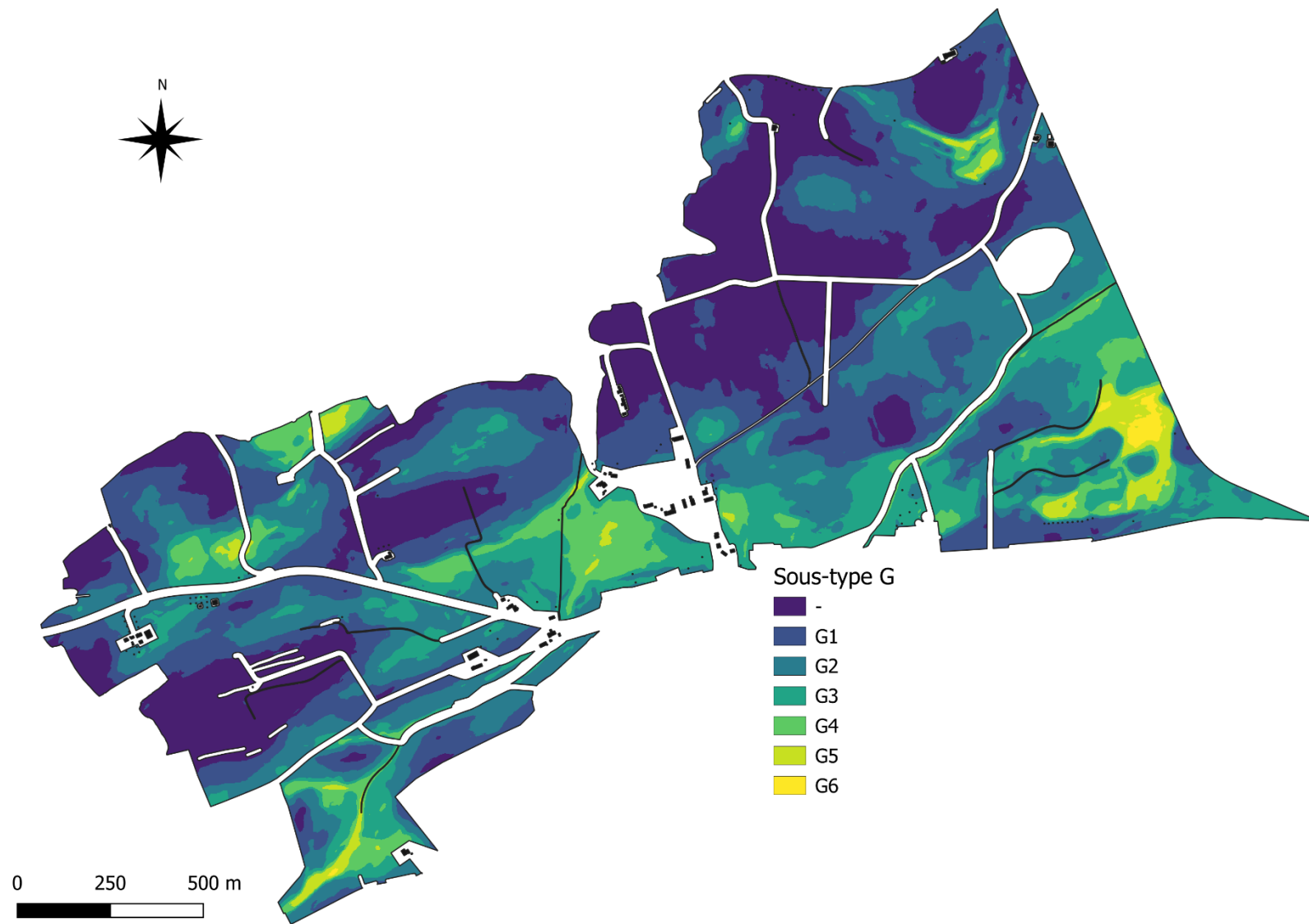


Figure 29 : Carte des caractéristiques des sols « Sous-type G ».

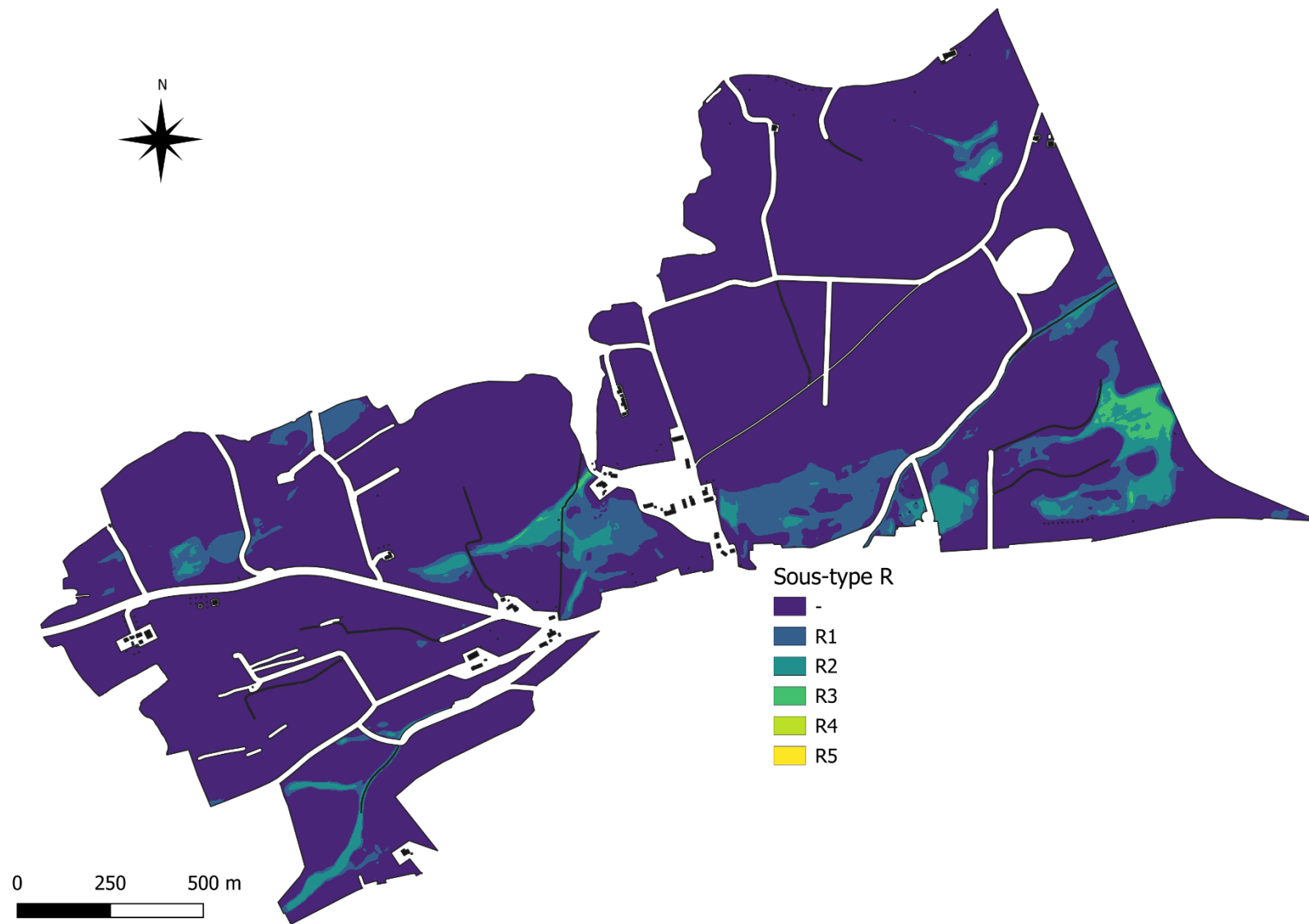


Figure 30 : Carte des caractéristiques des sols « Sous-type R ».

C 3. Cartes thématiques

Tableau 3 : Aperçu des cartes thématiques

<i>Domaines et noms des produits</i>	<i>Sources</i>
Agriculture	
Potentiel de fourniture de l'azote	PRIF 2017
Facteur de correction pédologique pour la fertilisation azotée normalisée	PRIF 2017
Capacité de stockage des nutriments	Lehmann et al. 2013
Besoins en chaulage	VDLUFA 2000
Aménagement du territoire	
Aptitude agricole CA 2023 (version d'essai)	Greiner et al. 2025
Indice de qualité des sols	Angelini et al. 2023
Indice de qualité des sols	Engel und Stadtmann 2020
Indice de qualité des sols	Hilbert et al. 2021
Indice de qualité des sols	Knoll et al. 2010
Indice de qualité des sols	Miller et al. 2022
Protection contre les inondations	
Fonction de régulation du régime hydrique	Danner et al. 2003
Protection de la nature	
Fonction d'habitat pour les microorganismes	Oberholzer et Scheid 2007
Potentiel de sites humides	Vögeli et al. 2022
Potentiel de sites secs	Lienhard et Merkel 2002
Protection des eaux et eaux souterraines	
Capacité à lier et à dégrader les polluants	Bechler et Toth 2010
Capacité à lier les métaux lourds	DVWK 1988
Rétention des nutriments face aux pertes par infiltration et par ruissellement	Jäggli et al. 1998
Protection du climat	
Potentiel d'enrichissement en carbone	Johannes et al. 2017
Stockage de carbone	-
Sécheresse	
Besoin en irrigation	Müller et al. 2012
Aptitude à l'irrigation	Presler et Bagnoud 2013

C 3.1 Agriculture

C 3.1.1 Potentiel de fourniture de l'azote (PRIF 2017)

La minéralisation des matières organiques dans les sols entraîne une libération d'azote. Le potentiel de restitution de cet azote dépend de la teneur en matières organiques et en argile. Lorsque la teneur en matières organiques est élevée et que la proportion de matières organiques stabilisées dans des complexes argilo-humiques est faible, le potentiel de restitution de l'azote est important. Le facteur d'engorgement du sol n'est pas pris en compte dans cette méthode.

Afin d'adapter la fertilisation au site, il est utile de connaître le potentiel de fourniture/libération de l'azote. Les sols à fort potentiel contribuent de manière significative à l'apport en nutriments des plantes. Cette fonction est essentielle pour la fertilité des sols et une production végétale durable.

La carte thématique « Potentiel de fourniture de l'azote » repose sur la méthode du PRIF (2017, voir la documentation méthodologique pour plus de détails). Les paramètres pris en compte sont les suivants :

- teneur en argile,
- teneur en matières organiques.

Le potentiel de fourniture de l'azote est évalué selon cinq classes (voir Figure 31 ci-dessous). Cette méthode convient aux surfaces agricoles et aux sols minéraux.

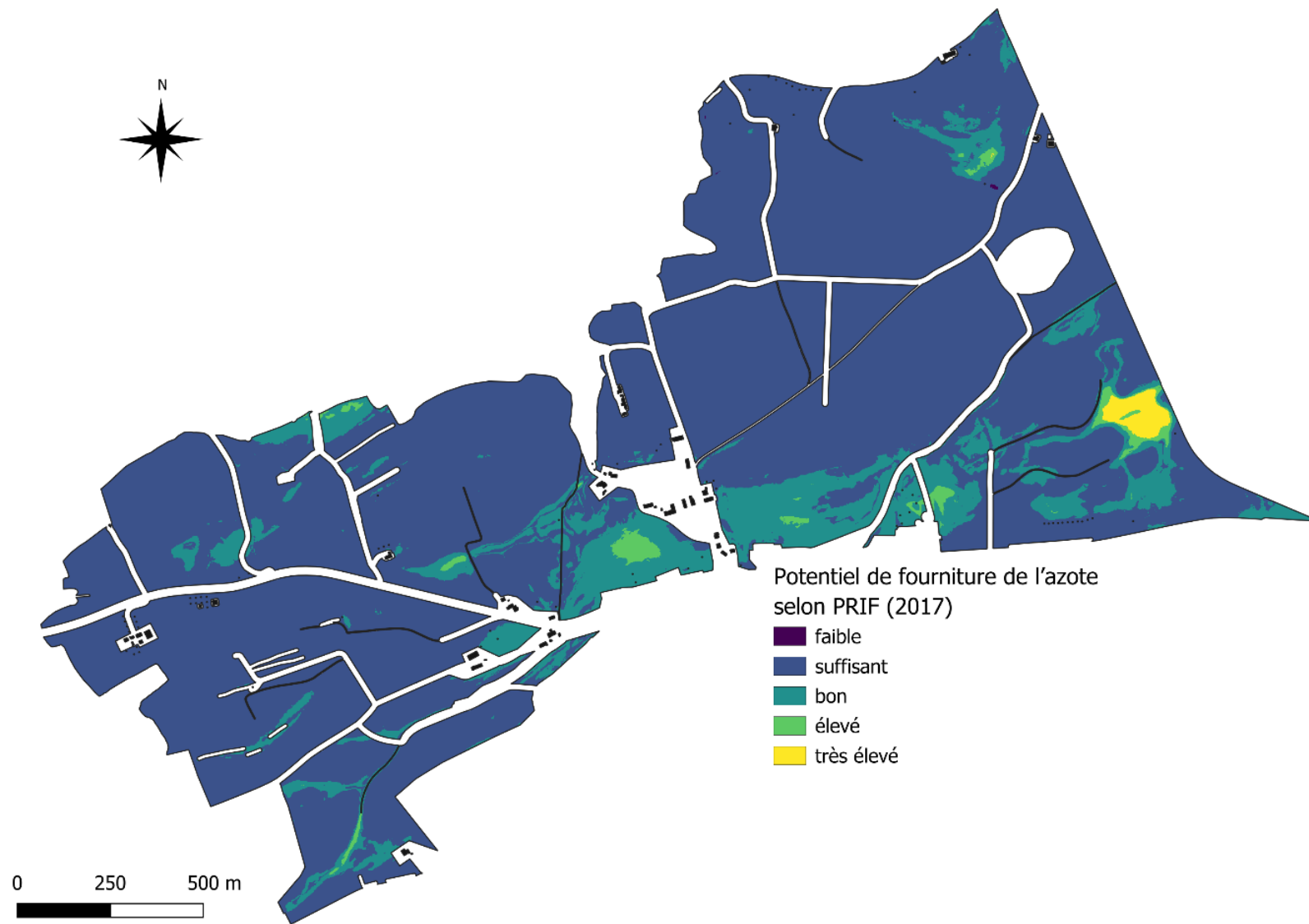


Figure 31 : Carte thématique « Potentiel de fourniture de l'azote » d'après PRIF (2017).

C 3.1.2 Facteur de correction pédologique pour la fertilisation azotée normalisée (PRIF 2017)

L'azote influence la croissance et le rendement des plantes. La fertilisation azotée constitue donc un facteur essentiel pour une production végétale durable. Afin de garantir à long terme la sécurité des rendements sur les surfaces agricoles, les nutriments prélevés lors de la récolte doivent être restitués aux sols.

La norme de fertilisation définit la quantité d'azote à épandre dans des conditions standards sur un sol moyennement fertilisé afin d'obtenir le rendement typique en Suisse. Lorsque les conditions s'écartent de cette situation standard, la norme est ajustée à l'aide de sept facteurs de correction. L'un de ces facteurs concerne le sol dont la teneur en argile et en matières organiques influence fortement le cycle de l'azote. Le facteur de correction pédologique pour la fertilisation azotée normalisée a été déterminé selon le PRIF (2017).

La carte thématique « Facteur de correction pédologique pour la fertilisation azotée normalisée » repose sur la méthode du PRIF (2017, voir la documentation méthodologique pour plus de détails). Les paramètres pris en compte sont les suivants :

- teneur en argile,
- teneur en matières organiques.

Le facteur de correction pédologique pour la fertilisation azotée normalisée est exprimé en tonnes d'azote par hectare (voir Figure 32 ci-dessous). Cette méthode ne s'applique qu'aux sols minéraux des zones agricoles. Les sols organiques ont, par conséquent, été exclus de la carte.

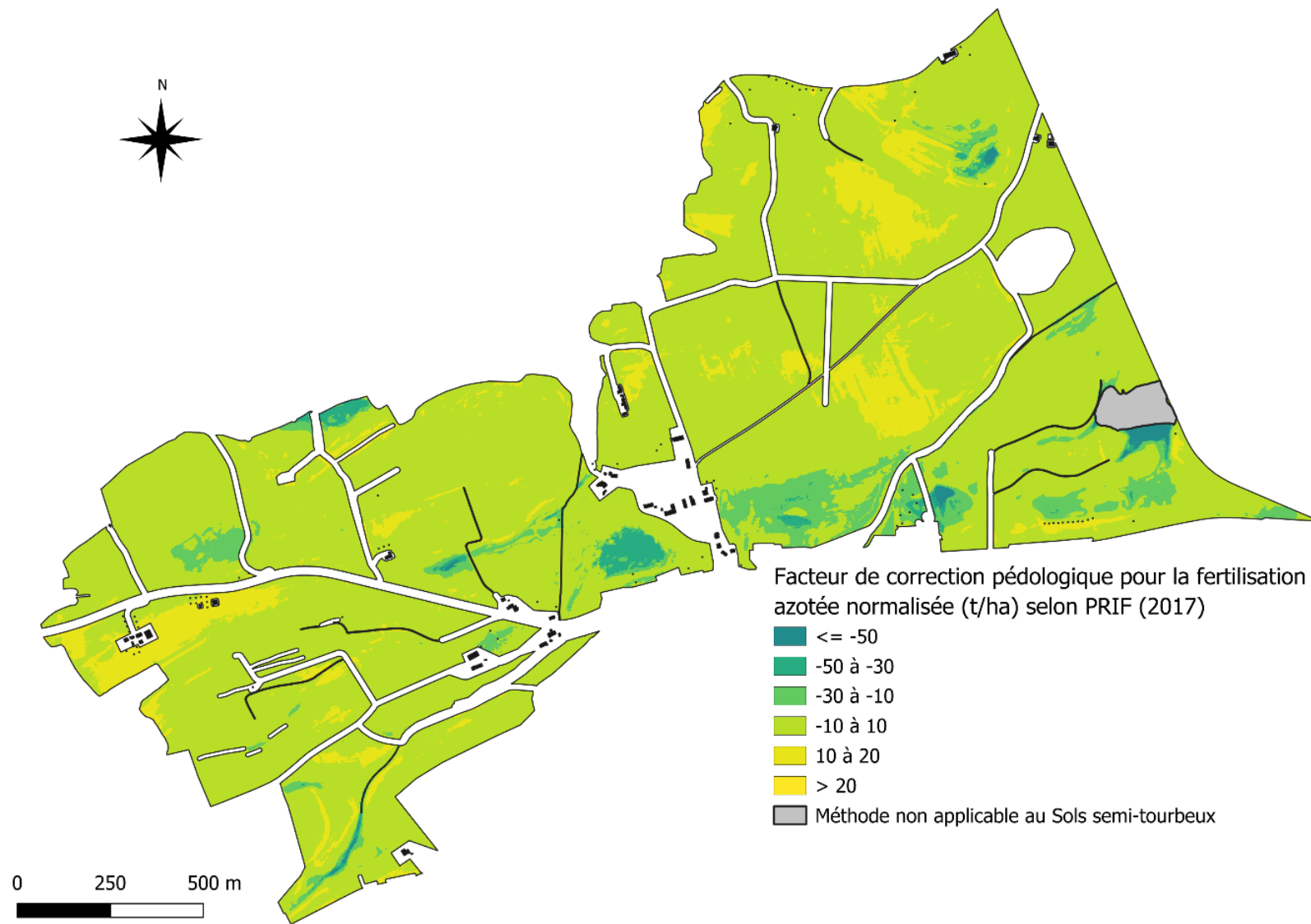


Figure 32 : Carte thématique « Facteur de correction pédologique pour la fertilisation azotée normalisée » d'après PRIF (2017)

C 3.1.3 Capacité de stockage des nutriments (Lehmann et al. 2013)

Les sols jouent un rôle central dans la régulation des cycles nutritifs, car ils absorbent, stockent et restituent les nutriments aux plantes. Ils limitent également les pertes de nutriments vers l'eau et l'atmosphère. La capacité des sols à stocker les nutriments sous une forme assimilable par les plantes constitue une fonction essentielle à une production végétale durable. Les sols présentant une forte capacité d'échange cationique effective (CECeff) peuvent absorber et stocker les nutriments puis les restituer aux racines sur de longues périodes. La méthode utilisée prend en compte sept propriétés des sols pour estimer la CECeff sur l'ensemble du profil et évaluer ainsi la disponibilité des nutriments.

La carte thématique « Capacité de stockage des nutriments » repose sur la méthode de Lehmann et al. (2013, voir la documentation méthodologique pour plus de détails). Les paramètres pris en compte sont les suivants :

- teneur en argile et en limon,
- teneur en matières organiques
- teneur en éléments grossiers (minéraux > 2mm),
- pH,
- masse volumique apparente de la terre fine,
- la limite supérieure des horizons « gg » et « r »,
- la profondeur jusqu'au sous-sol.

La fonction « Capacité de stockage des nutriments » est évaluée en cinq classes (voir Figure 33 ci-dessous). La méthode ne convient qu'aux sols minéraux. Les sols organiques ont, par conséquent, été exclus de la carte.

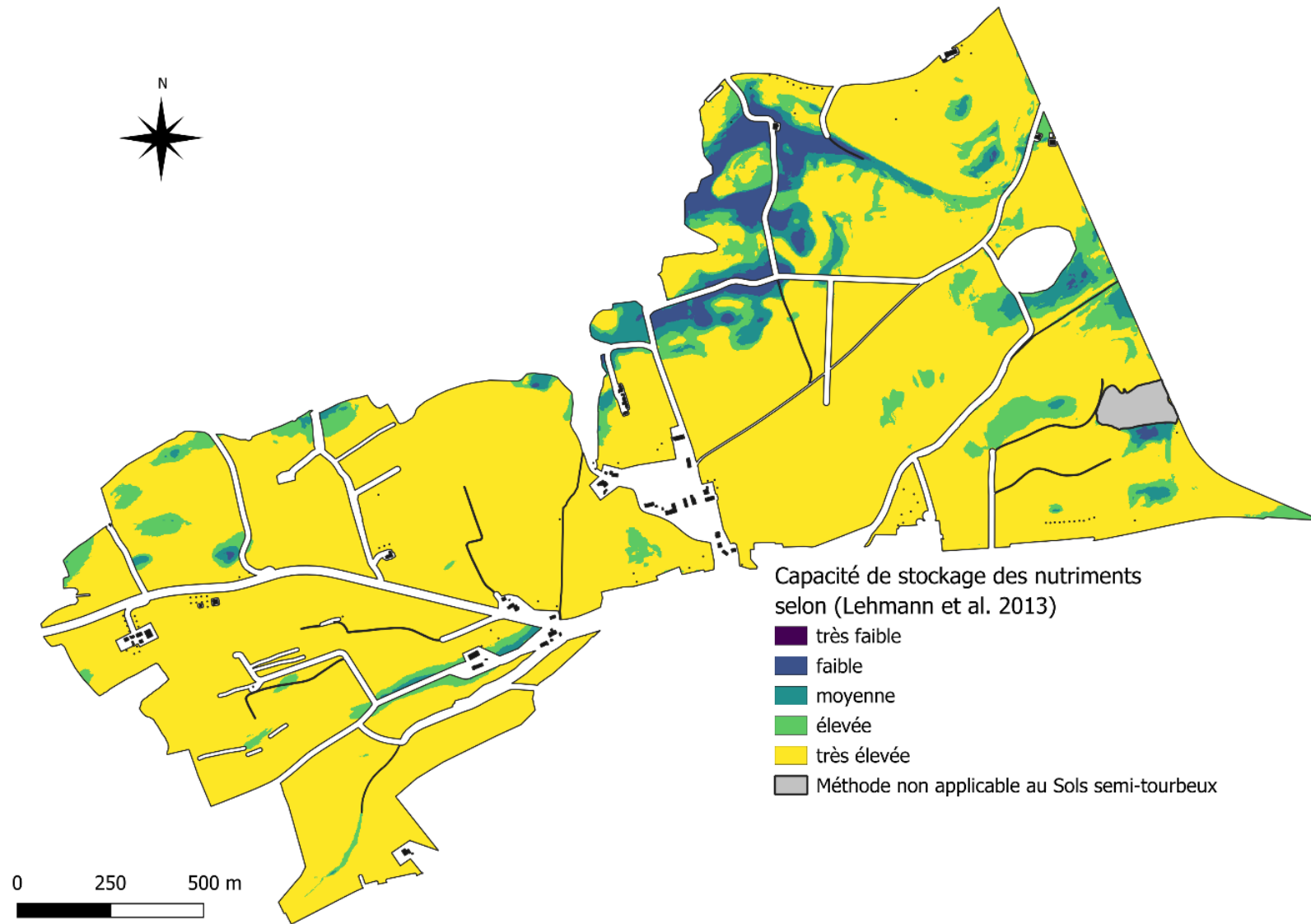


Figure 33 : Carte thématique « Capacité de stockage des nutriments » d'après Lehmann et al. (2013).

C 3.1.4 Besoins en chaulage (VDLUFA 2000)

Le chaulage régulier permet de lutter contre l'acidification naturelle des sols et améliore la disponibilité des nutriments ainsi que la structure et l'activité biologique des sols. C'est pourquoi des amendements de chaux sont régulièrement épandus sur les surfaces agricoles en Suisse. La quantité optimale d'amendement dépend de différentes propriétés des sols telles que le pH, la teneur en matières organiques et le type de sol (teneur en argile, en limon et en sable).

La carte thématique « Besoins en chaulage » est basée sur la méthode de la VDLUFA (2000, voir la documentation méthodologique pour plus de détails).

Les paramètres utilisés pour cette méthode d'évaluation sont les suivants :

- teneur en argile et en limon,
- teneur en matières organiques.
- pH.

Les besoins en chaulage sont déterminés en décitonnes de chaux vive (CaO) par hectare (voir Figure 34 ci-dessous). Cette méthode ne s'applique qu'aux terres agricoles.

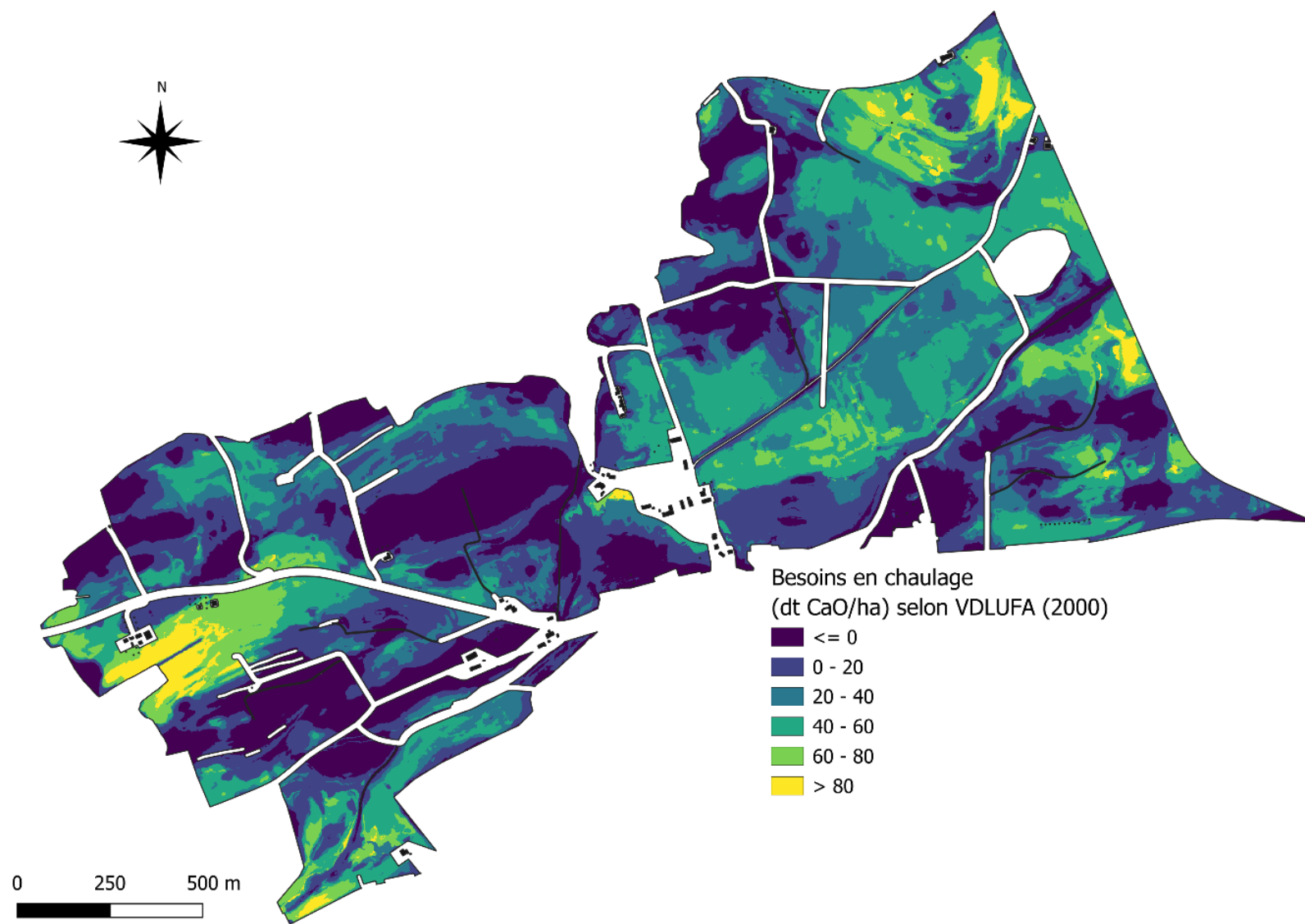


Figure 34 : Carte thématique « Besoins en chaulage » d'après VDLUFA (2000).

C 3.2 Aménagement du territoire

C 3.2.1 Aptitude agricole CA 2023 (version d'essai, Greiner et al. 2025)

Les classes d'aptitude agricole (CA) évaluent la qualité des sols et permettent de déterminer les types de cultures adaptés à un site donné, depuis un assolement sans restriction jusqu'au pâturage extensif ou à la récolte de litière. Les CA dépendent des sols, du climat et du terrain. Ces facteurs déterminent la disponibilité des nutriments et de l'eau, la durée de végétation, la facilité de travail et le risque d'érosion. Des conditions défavorables peuvent limiter l'exploitation.

Les cartes thématiques « Aptitude agricole, version d'essai 2023 » (Figure 35) et « Limitations des classes d'aptitude, version d'essai 2023 » (Figure 36) se basent sur la méthode de Greiner et al. (2023, voir la documentation méthodologique pour plus de détails). Cette méthode sera révisée au cours des prochaines années. Les paramètres pris en compte sont les suivants :

- teneur en argile,
- teneur en matières organiques,
- teneur en éléments grossiers (minéraux > 2mm),
- pH,
- masse volumique apparente de la terre fine,
- limite supérieure des horizons « gg » et « r »,
- profondeur jusqu'au sous-sol.

L'aptitude agricole est évaluée selon dix classes (voir Figure 35 ci-dessous). La méthode ne s'applique qu'aux zones agricoles et ne convient pas aux zones caractérisées par une période de végétation courte, un climat sec ou des précipitations variables.

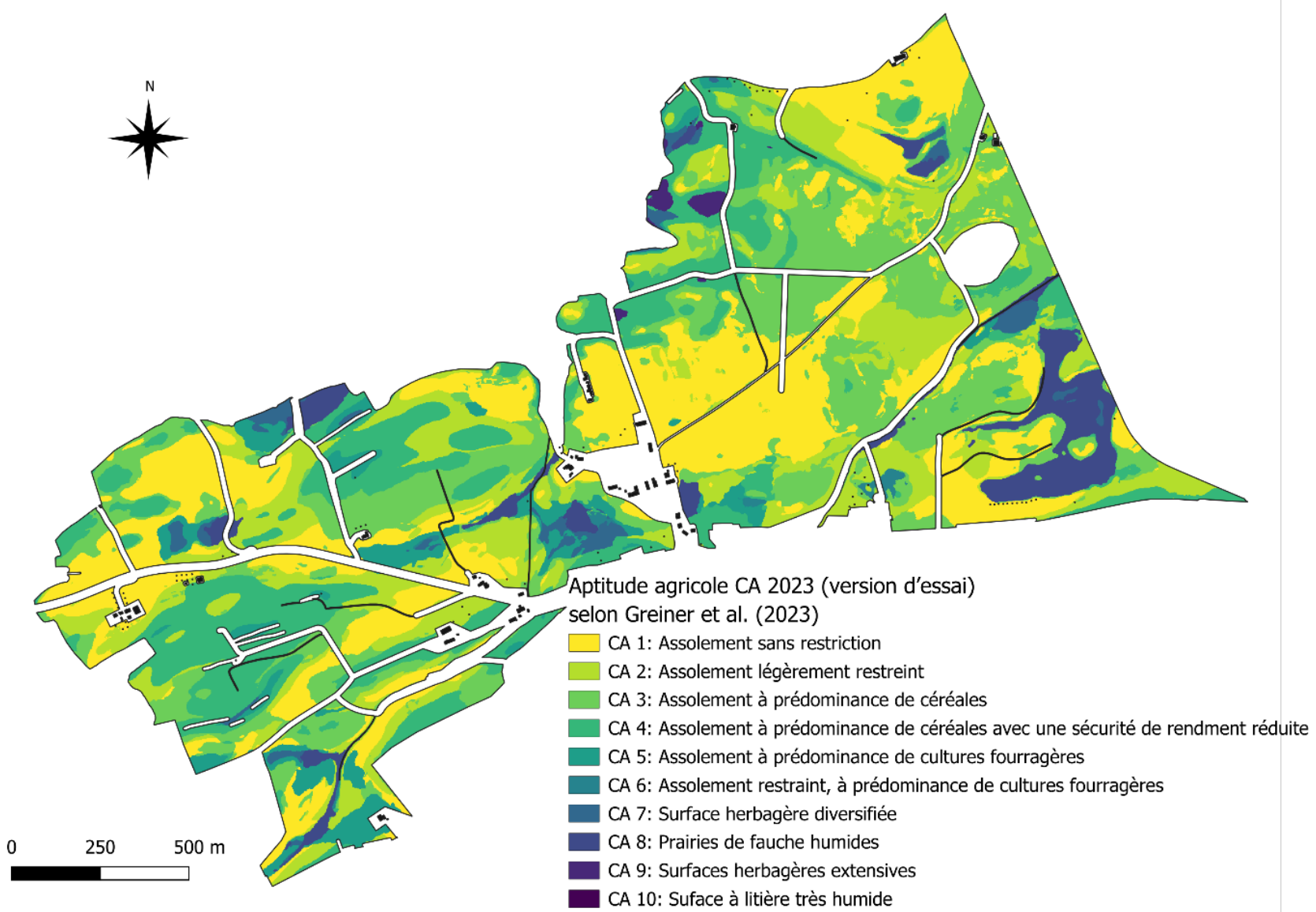


Figure 35 : Carte thématique « Aptitude agricole CA 2023 (version d'essai) » d'après Greiner et al. (2025).

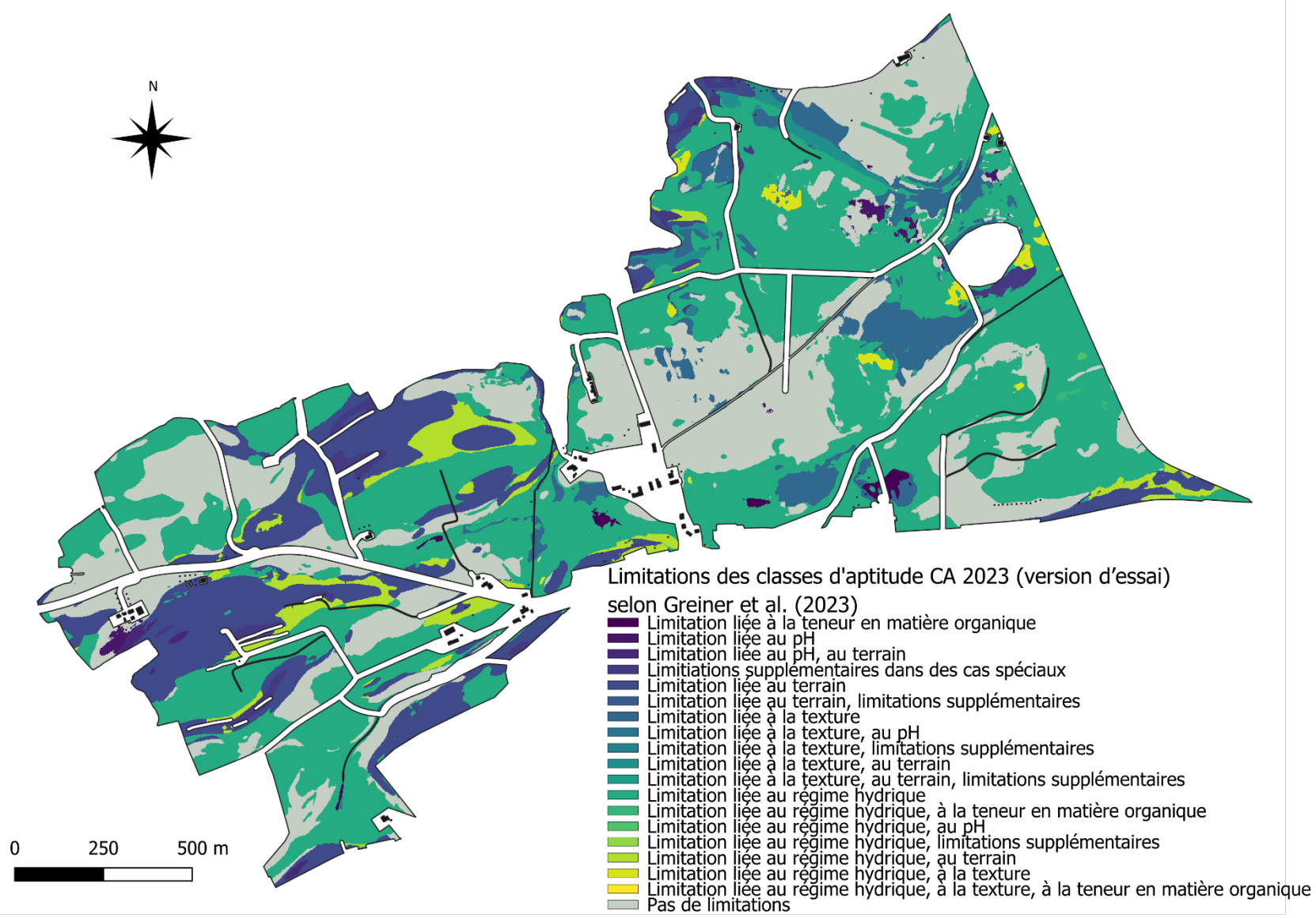


Figure 36 : Carte thématique « Limitations des classes d'aptitude CA 2023 (version d'essai) » d'après Greiner et al. (2025).

C 3.2.2 Indice de qualité des sols (Angelini et al. 2023)

Un indice de qualité des sols regroupe plusieurs fonctions des sols et les évalue selon des critères définis ou en fonction des priorités des parties prenantes. Il sert d'indicateur de la qualité des sols et facilite la prise de décision ainsi que la communication dans le domaine de l'aménagement du territoire. L'objectif est d'éviter la dégradation des sols et de garantir une utilisation durable.

L'indice de qualité des sols selon Angelini et al. (2023) prend en compte le stockage de carbone, la capacité à lier et à dégrader les polluants ainsi que la fonction de production agricole.

La carte thématique « Indice de qualité des sols » est basée sur la méthode d'Angelini et al. (2023, voir la documentation méthodologique pour plus de détails). Les paramètres pris en compte pour cette méthode d'évaluation sont les suivants :

- teneur en argile et en limon,
- teneur en éléments grossiers (minéraux >2mm),
- teneur en carbone et en matières organiques,
- pH,
- masse volumique apparente totale de l'échantillon et masse volumique apparente de la terre fine,
- sous-groupe de régime hydrique,
- profondeur utile pour les plantes,
- limite supérieure du sous-sol et des horizons « gg » et « r »,
- type de sol.

L'indice de qualité des sols est divisé en cinq classes (voir Figure 37 ci-dessous). Cette méthode s'applique aux terres arables, aux cultures pérennes, aux prairies, aux forêts et aux zones arbustives.

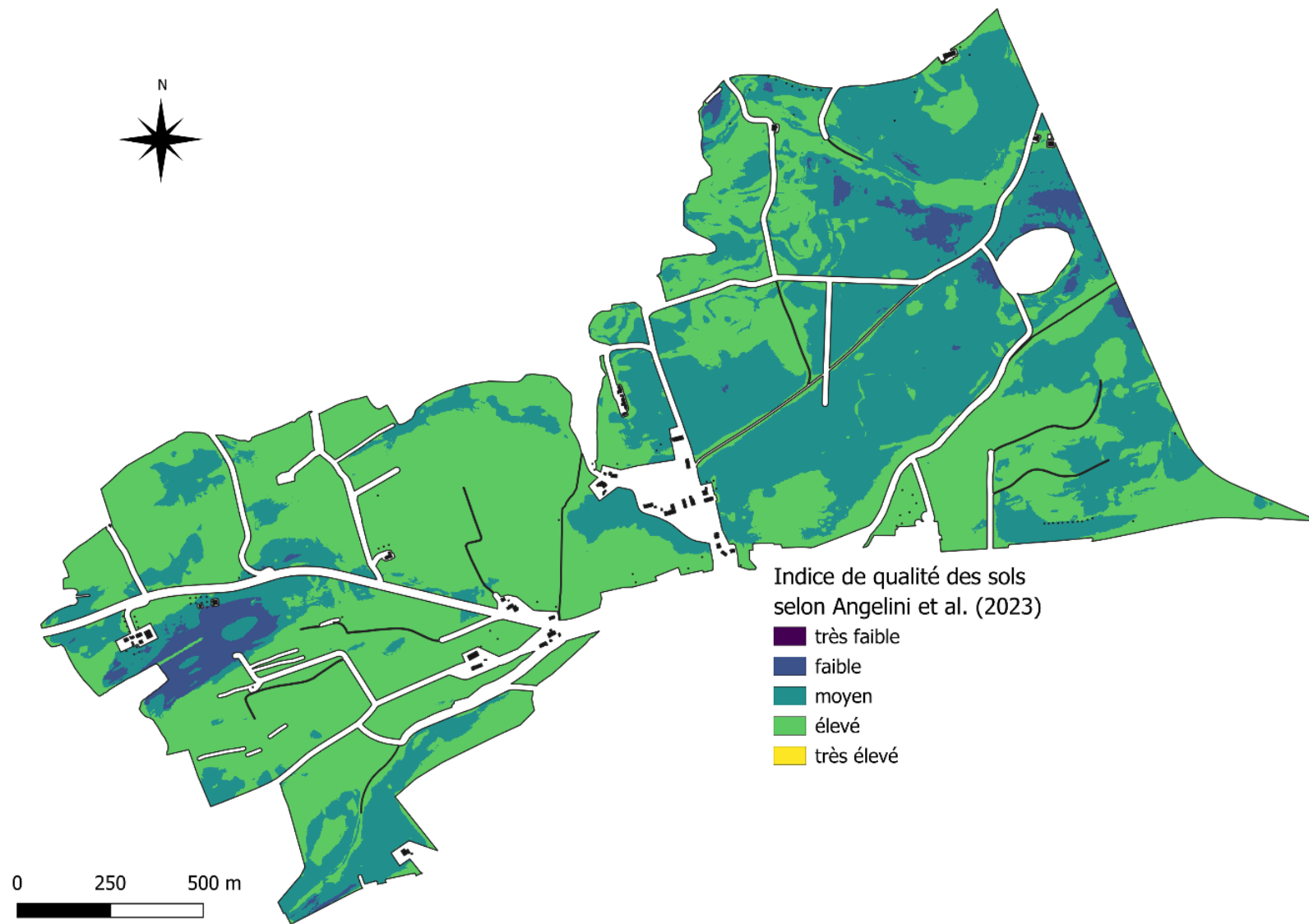


Figure 37 : Carte thématique « Indice de qualité des sols » d'après Angelini et al. (2023).

C 3.2.3 Indice de qualité des sols (Engel et Stadtmann 2020)

Un indice de qualité des sols regroupe plusieurs fonctions des sols et les évalue selon des critères définis ou en fonction des priorités des parties prenantes. Il sert d'indicateur de la qualité des sols et facilite la prise de décision ainsi que la communication dans le domaine de l'aménagement du territoire. L'objectif est d'éviter la dégradation des sols et de garantir une utilisation durable.

L'indice de qualité des sols selon Engel et Stadtmann (2020) prend en compte principalement les fonctions d'habitat et d'archivage des sols.

La carte thématique « Indice de qualité des sols » est basée sur la méthode d'Engel et Stadtmann (2020) (voir la documentation méthodologique pour plus de détails). Les paramètres pris en compte pour cette méthode d'évaluation sont les suivants :

- teneur en argile et en limon,
- teneur en éléments grossiers (minéraux > 2mm),
- teneur en matières organiques,
- pH,
- masse volumique apparente totale de l'échantillon et masse volumique apparente de la terre fine,
- sous-groupe de régime hydrique,
- limite supérieure du sous-sol et des horizons « gg » et « r »,
- type de sol.

L'indice de qualité des sols est divisé en cinq classes (voir Figure 38 ci-dessous). Cette méthode convient à tous les sols situés en dehors des zones urbaines.

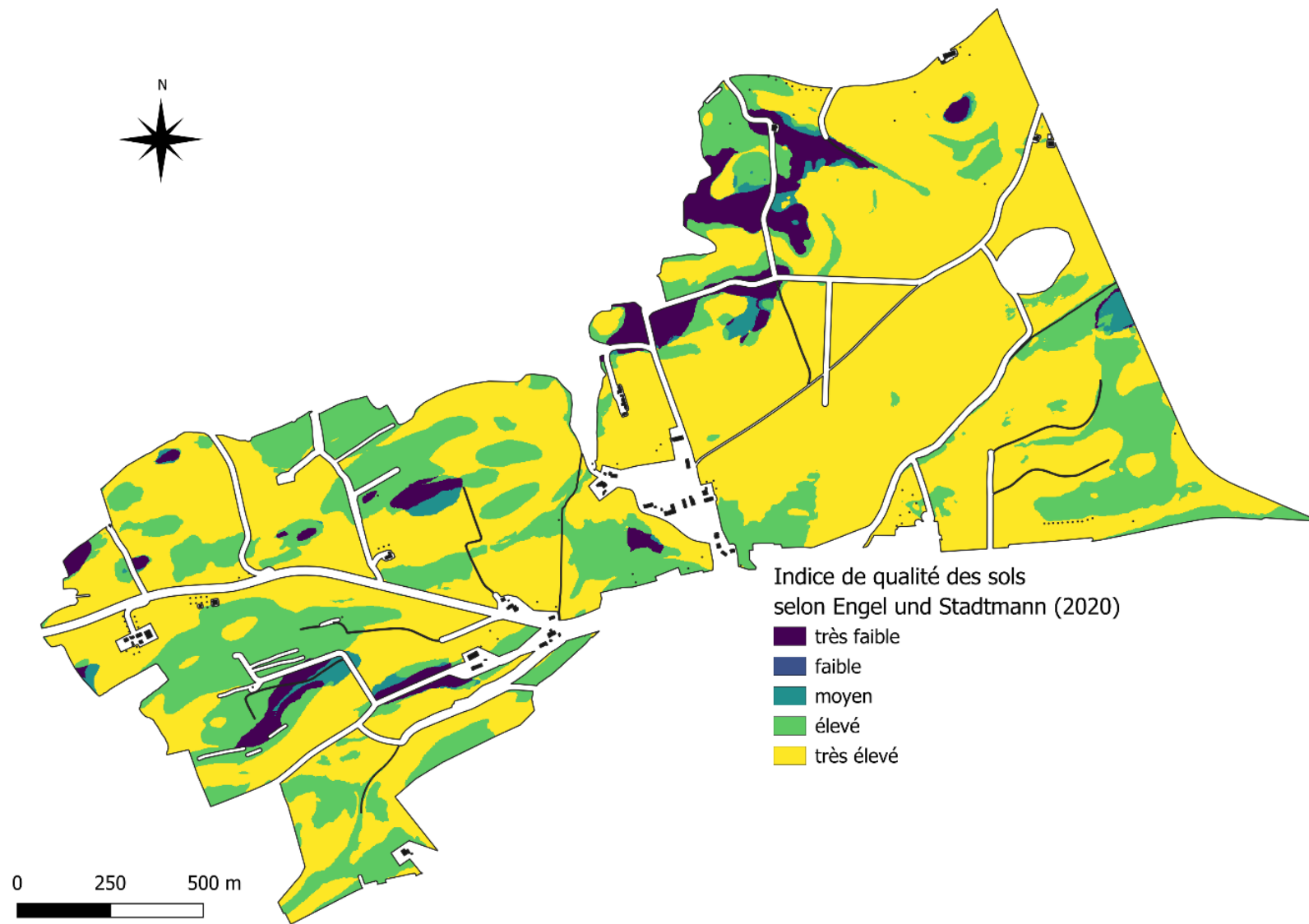


Figure 38 : Carte thématique « Indice de qualité des sols » d'après Engel et Stadtmann (2020).

C 3.2.4 Indice de qualité des sols (Hilbert et al. 2021)

Un indice de qualité des sols regroupe plusieurs fonctions des sols et les évalue selon des critères définis ou en fonction des priorités des parties prenantes. Il sert d'indicateur de la qualité des sols et facilite la prise de décision ainsi que la communication dans le domaine de l'aménagement du territoire. L'objectif est d'éviter la dégradation des sols et de garantir une utilisation durable.

Cet indice de qualité des sols selon Hilbert et al. (2021) prend en compte les fonctions d'archivage, de régulation de l'eau, de production agricole, la capacité à lier et à dégrader les polluants, ainsi que du potentiel de sites secs et humides.

La carte thématique « Indice de qualité des sols » est basée sur la méthode d'Hilbert et al. (2021) (voir la documentation méthodologique pour plus de détails). Les paramètres pris en compte pour cette méthode d'évaluation sont les suivants :

- teneur en argile et en limon,
- teneur en matières organiques,
- teneur en éléments grossiers (minéraux >2mm),
- pH,
- masse volumique apparente de l'échantillon total et masse volumique apparente de la terre fine,
- sous-groupe de régime hydrique,
- limite supérieure du sous-sol et des horizons « gg » et « r »,
- type de sol.

L'indice de qualité des sols est divisé en cinq classes (voir Figure 39 ci-dessous). La méthode convient à tous les types et à toutes les utilisations des sols.

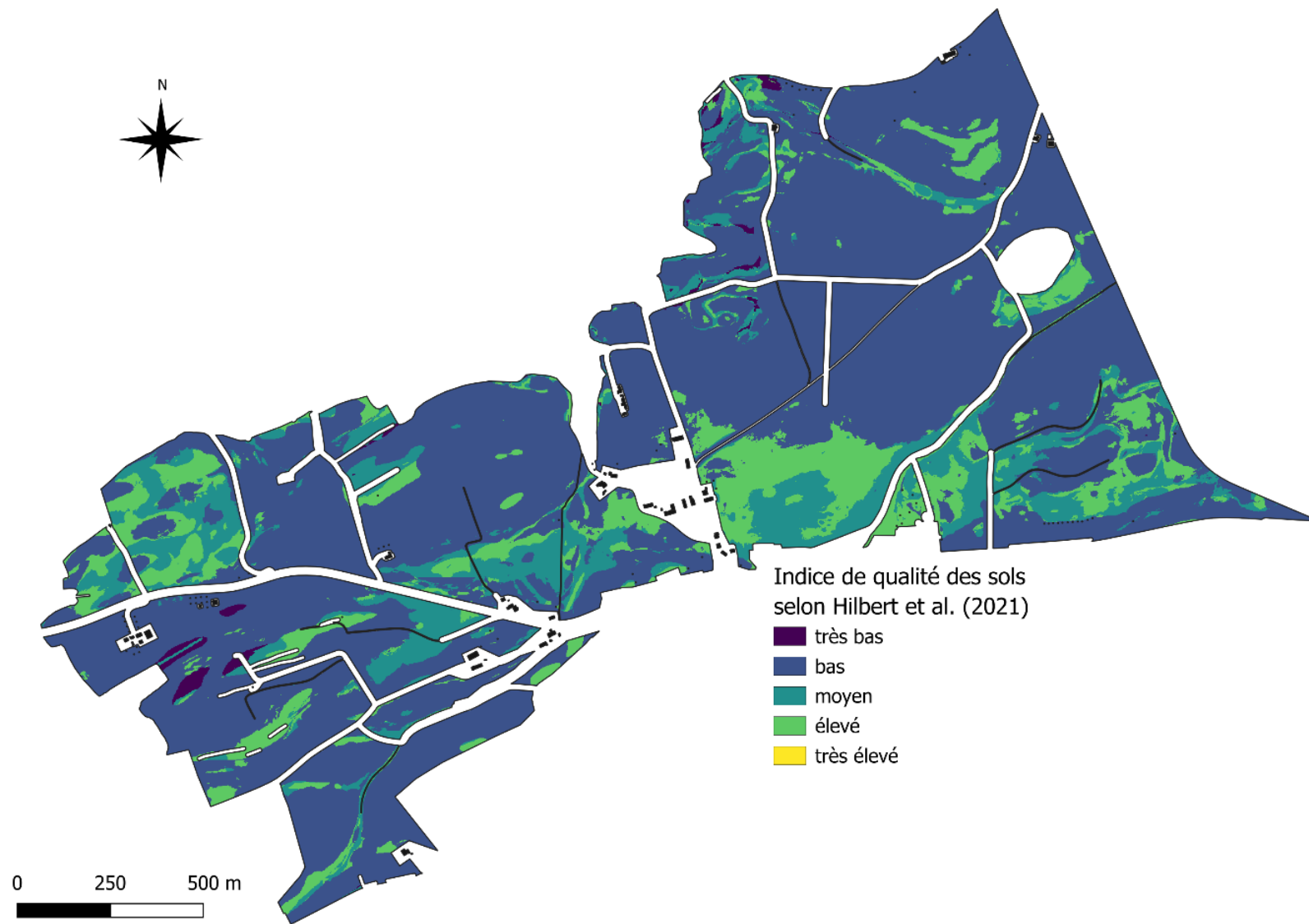


Figure 39 : Carte thématique « Indice de qualité des sols » d'après Hilbert et al. (2021).

C 3.2.5 Indice de qualité des sols (Knoll et al. 2010)

Un indice de qualité des sols regroupe plusieurs fonctions des sols et les évalue selon des critères définis ou en fonction des priorités des parties prenantes. Il sert d'indicateur de la qualité des sols et facilite la prise de décision ainsi que la communication dans le domaine de l'aménagement du territoire. L'objectif est d'éviter la dégradation des sols et de garantir une utilisation durable.

Cet indice de qualité des sols selon Knoll et al. (2010) prend en compte les fonctions d'archivage, de régulation de l'eau, de production agricole, la capacité à lier et à dégrader les polluants, du potentiel de sites secs et humides ainsi que de la fonction d'habitat pour les microorganismes.

La carte thématique « Indice de qualité des sols » est basée sur la méthode de Knoll et al. (2010, voir la documentation méthodologique pour plus de détails). Les paramètres utilisés pour cette méthode d'évaluation sont les suivants :

- teneur en argile, en limon et en sable,
- teneur en carbone et en matières organiques,
- teneur en éléments grossiers (minéraux >2mm),
- pH,
- masse volumique apparente de l'échantillon total et masse volumique apparente de la terre fine,
- limite supérieure du sous-sol et des horizons « gg » et « r »,
- sous-groupe de régime hydrique,
- type de sol.

L'indice de qualité des sols est divisé en cinq classes (voir Figure 40 ci-dessous). Cette méthode convient pour évaluer les sols utilisés à des fins agricoles.

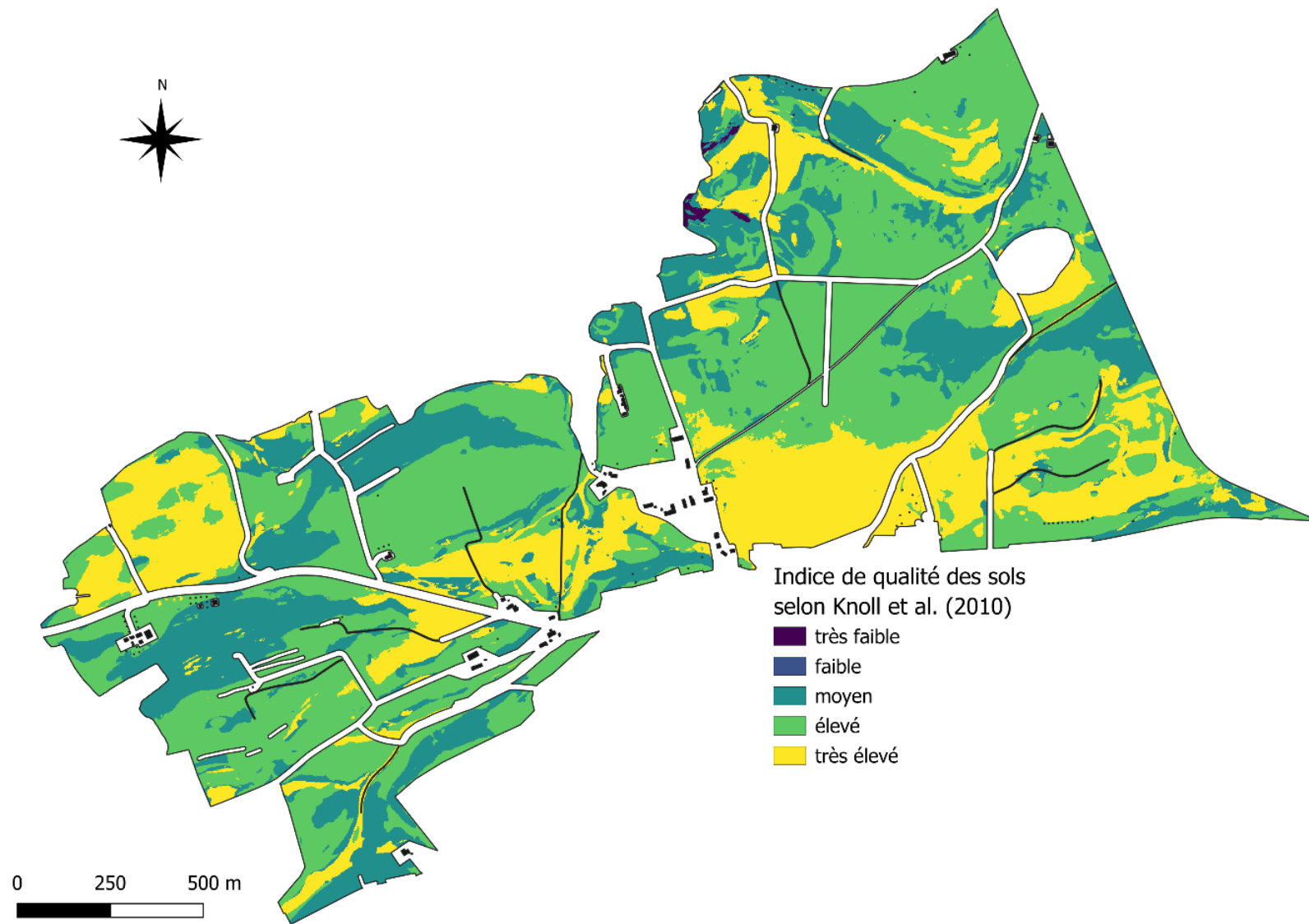


Figure 40 : Carte thématique « Indice de qualité des sols » d'après Knoll et al. (2010).

C 3.2.6 Indice de qualité des sols (Miller et al. 2022)

Un indice de qualité des sols regroupe plusieurs fonctions des sols et les évalue selon des critères définis ou en fonction des priorités des parties prenantes. Il sert d'indicateur de la qualité des sols et facilite la prise de décision ainsi que la communication dans le domaine de l'aménagement du territoire. L'objectif est d'éviter la dégradation des sols et de garantir une utilisation durable.

Cet indice de qualité des sols selon Miller et al. (2022) prend en compte les fonctions de rétention des nutriments, de régulation de l'eau, de production agricole et d'habitat pour les communautés végétales rares.

La carte thématique « Indice de qualité des sols » est basée sur la méthode de Miller et al. (2022, voir la documentation méthodologique pour plus de détails). Les paramètres pris en compte pour cette méthode d'évaluation sont les suivants :

- teneur en argile et en limon,
- teneur en matières organiques,
- teneur en éléments grossiers (minéraux >2mm),
- pH,
- masse volumique apparente de l'échantillon total et masse volumique apparente de la terre fine,
- sous-groupe de régime hydrique,
- profondeur utile,
- limite supérieure du sous-sol et des horizons « gg » et « r »,
- type de sol.

L'indice de qualité des sols est divisé en cinq classes (voir Figure 41 ci-dessous). La méthode convient à tous les types et à toutes les utilisations des sols.

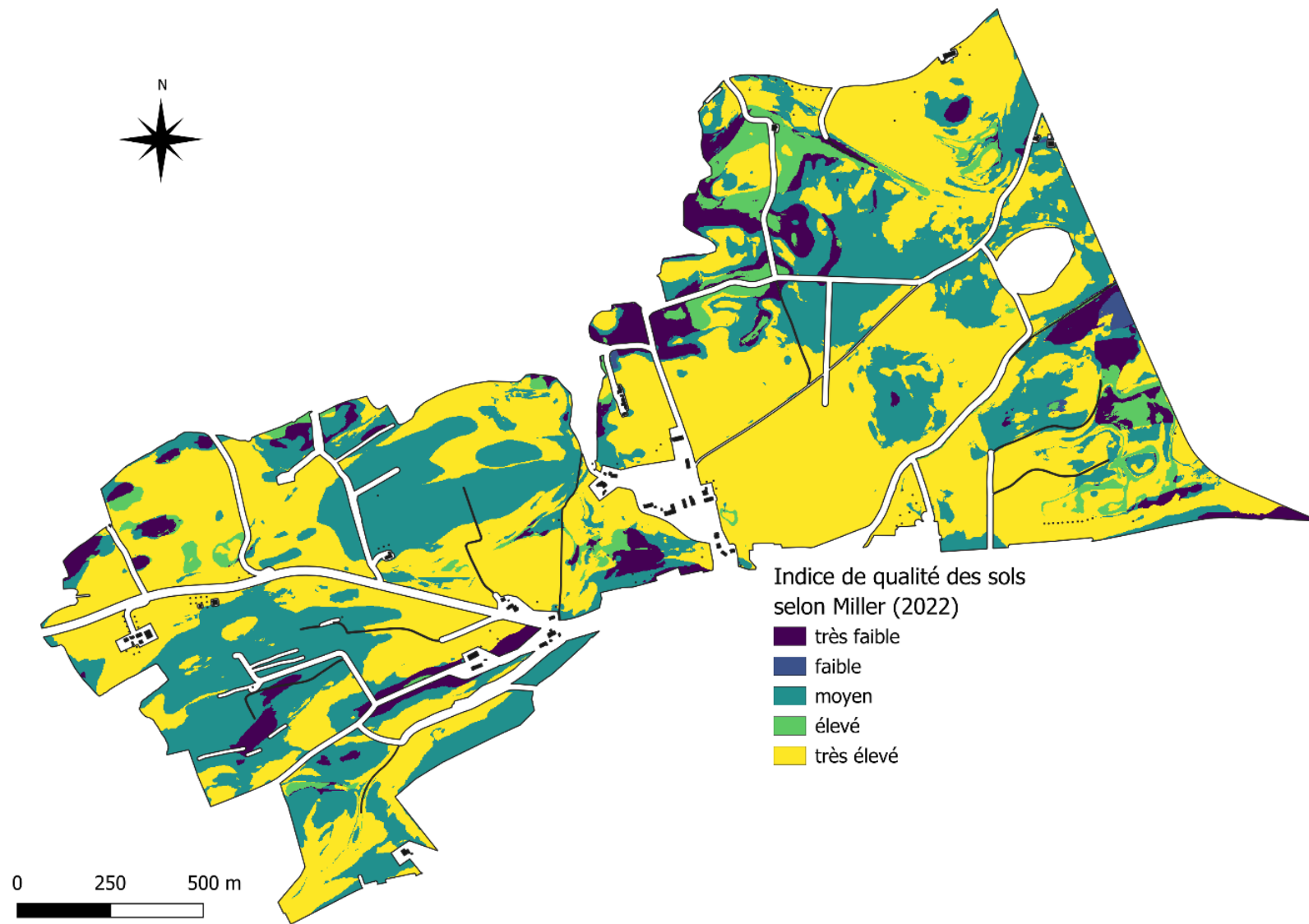


Figure 41 : Carte thématique « Indice de qualité des sols » d'après Miller et al. (2022).

C 3.3 Protection contre les inondations

C 3.3.1 Fonction de régulation du régime hydrique (Danner et al. 2003)

La fonction de régulation du régime hydrique est une fonction écologique majeure des sols. Elle décrit la capacité des sols à absorber, à stocker et à restituer l'eau. Cette fonction est déterminante pour la protection contre les crues et la gestion durable de l'eau dans l'agriculture. Dans la méthode utilisée, la fonction de régulation est évaluée sur la base de la capacité de rétention en eau, de la conductivité à saturation et de la pente.

La carte thématique « Fonction de régulation du régime hydrique » repose sur la méthode de Danner et al. (2003) (voir la documentation méthodologique pour plus de détails). Les paramètres pris en compte sont les suivants :

- teneur en argile et en limon,
- teneur en matières organiques,
- teneur en éléments grossiers (minéraux > 2mm),
- masse volumique apparente de l'échantillon total,
- limite supérieure des horizons « gg » et « r »,
- profondeur jusqu'au sous-sol.

La fonction de régulation du régime hydrique est évaluée selon cinq classes (voir Figure 42 ci-dessous). La méthode ne convient qu'aux sols minéraux. Les sols organiques ont, par conséquent, été exclus de la carte.

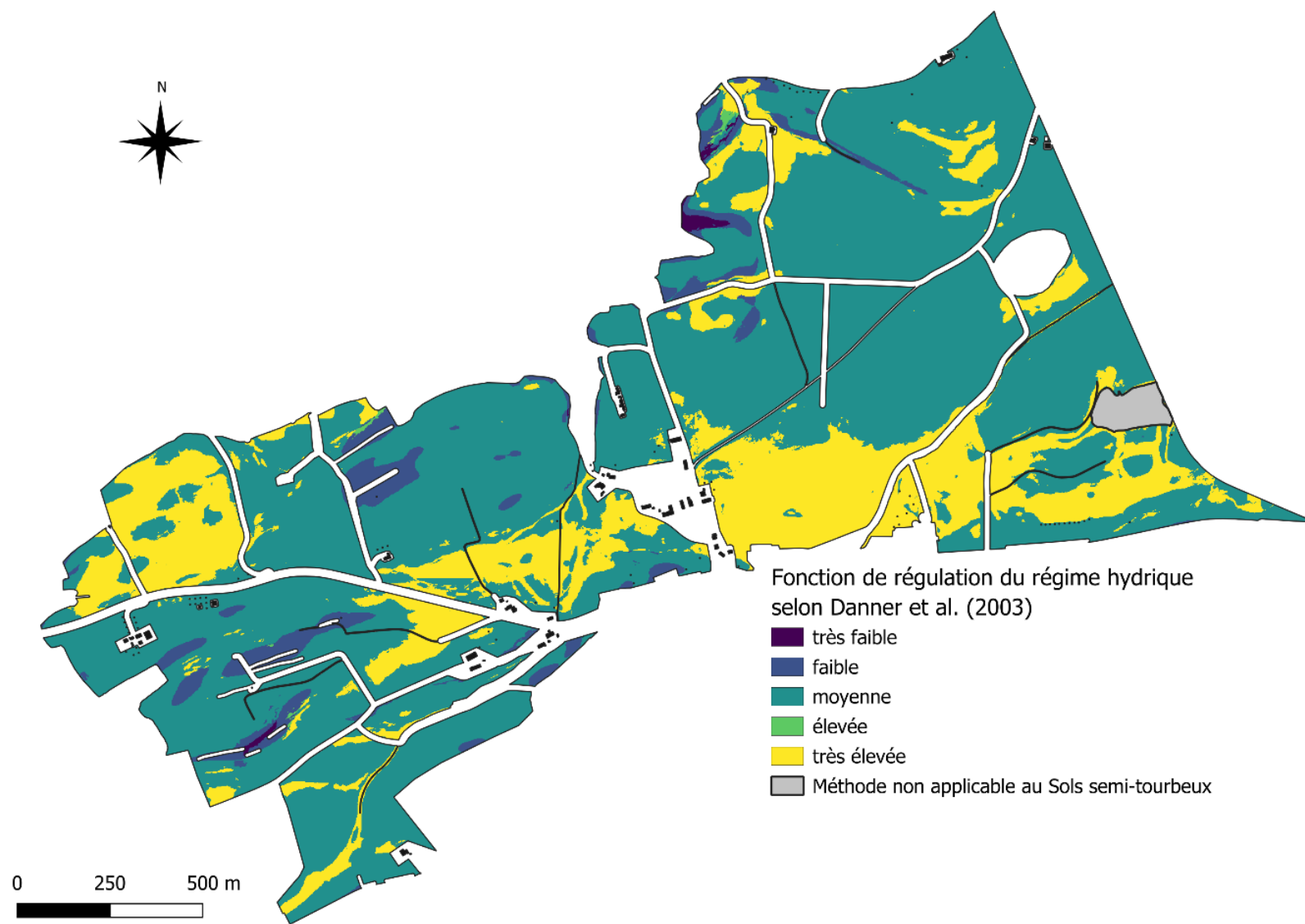


Figure 42 : Carte thématique « Fonction de régulation du régime hydrique » d'après Danner et al. (2003).

C 3.4 Protection de la nature

C 3.4.1 Fonction d'habitat pour les microorganismes (Oberholzer et Scheid 2007)

Les microorganismes jouent un rôle central dans le cycle des matières en décomposant les substances organiques et en fournissant des nutriments aux plantes. Ils contribuent à la fertilité des sols et à la stabilité des écosystèmes, leur abondance et leur activité dépendant fortement des propriétés des sols.

La biomasse microbienne, qui a été utilisée pour évaluer la fonction d'habitat, constitue un indicateur de la fonction d'habitat des sols. Elle correspond à la fraction des matières organiques constituée de microorganismes vivants. Les sols riches en biomasse microbienne présentent généralement une activité biologique et une biodiversité élevée.

La carte thématique « Fonction d'habitat pour les microorganismes » repose sur la méthode d'Oberholzer et Scheid (2007, voir la documentation méthodologique pour plus de détails). Les paramètres pris en compte sont les suivants :

- teneur en argile et en sable,
- teneur en carbone,
- pH.

La fonction d'habitat pour les microorganismes est évaluée en cinq classes (voir Figure 43 ci-dessous). La méthode s'applique uniquement aux sols agricoles et aux prairies dont la teneur en carbone est comprise entre 1 et 4 %, l'argile entre 10 et 40 % et le pH entre 4,3 et 7,5, en raison des fonctions de pédotransfert utilisées.

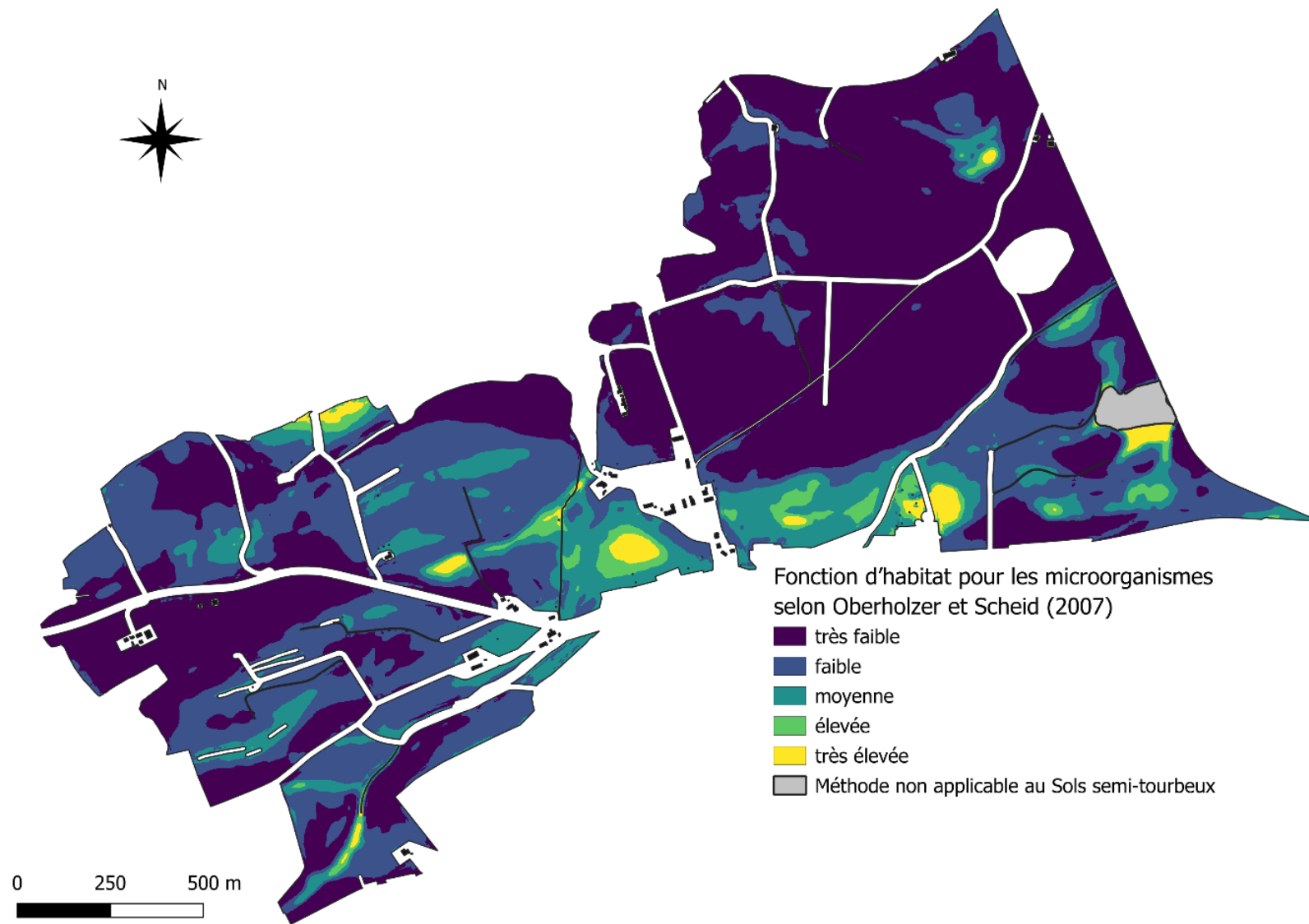


Figure 43 : Carte thématique « Fonction d'habitat pour les microorganismes » d'après Oberholzer et Scheid (2007).

C 3.4.2 Potentiel de sites humides (Vögeli et al. 2022)

Les sites humides jouent un rôle important pour la protection de la nature et du climat. Ils offrent des habitats à de nombreuses espèces adaptées aux milieux humides, stockent l'eau et contribuent à la fixation du carbone.

Le potentiel de sites humides indique dans quelle mesure une zone est favorable au développement ou à la restauration de tels milieux. Il dépend de plusieurs facteurs, notamment le sol, les précipitations et la topographie. Les zones présentant des sols humides, des précipitations élevées, une topographie en cuvette et une faible pente présentent un potentiel particulièrement élevé. La méthode appliquée permet d'évaluer ces facteurs afin d'identifier les zones propices aux habitats humides.

La carte est basée sur la méthode de Vögeli et al. (2022, voir la documentation méthodologique pour plus de détails). Les paramètres utilisés pour l'évaluation sont :

- teneur en argile et en limon,
- teneur en éléments grossiers (minéraux >2mm),
- sous-groupe de régime hydrique,
- type de sol.

Le potentiel de sites humides est évalué de manière simplifiée sur une échelle de 0 à 100 points (voir Figure 44 ci-dessous). La méthode convient à tous les types et à toutes les utilisations des sols, à l'exception des zones urbanisées.

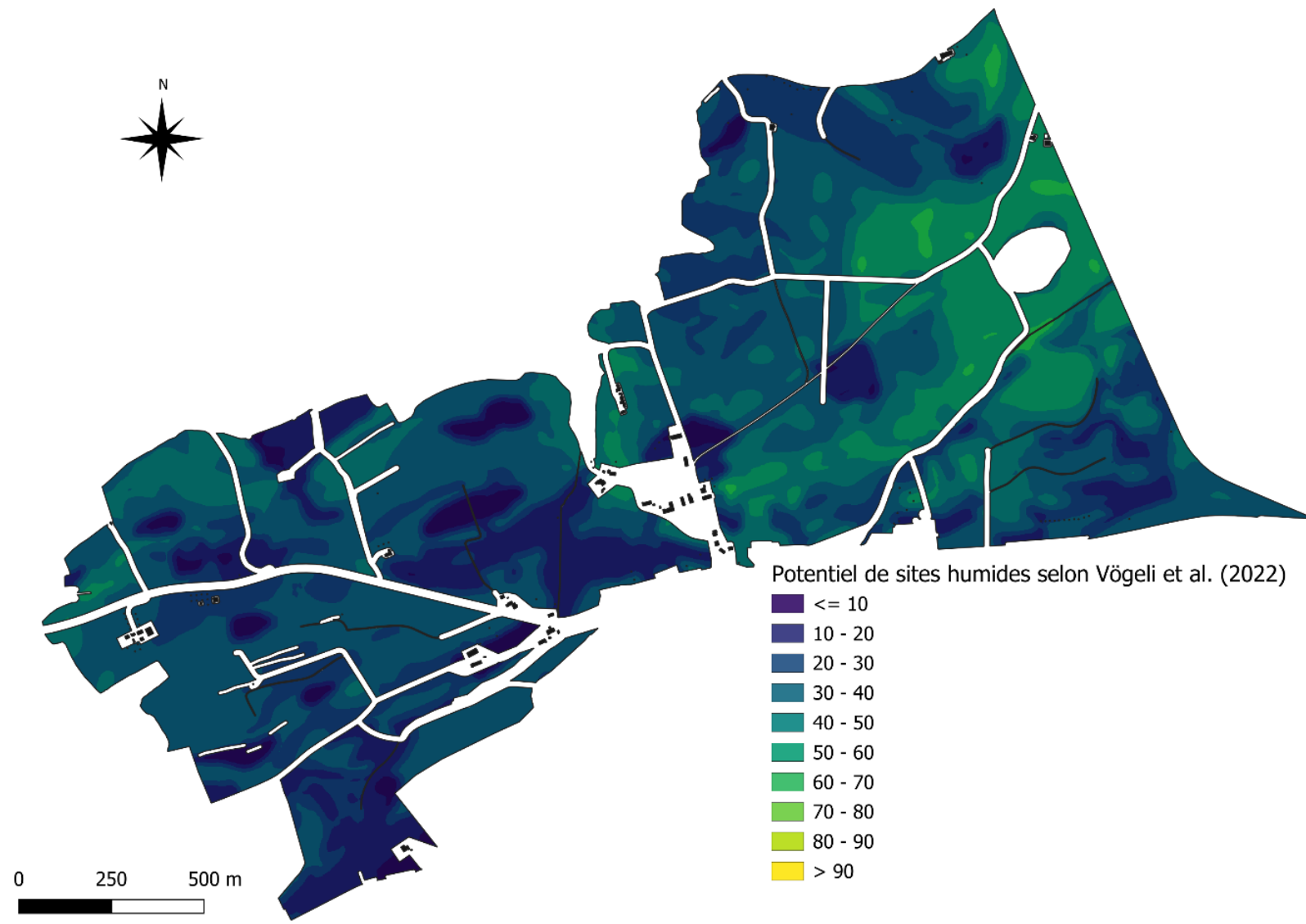


Figure 44 : Carte thématique « Potentiel de sites humides » d'après Vögeli et al. (2022).

C 3.4.3 Potentiel de sites secs (Lienhard et Merkel 2002)

Les sites secs ont une grande valeur écologique, car ils offrent un habitat à des espèces végétales et animales adaptées à la sécheresse. Lorsqu'ils sont utilisés de manière appropriée, ces sites favorisent la biodiversité. La méthode utilisée évalue dans quelle mesure les facteurs liés au site, tels que les propriétés des sols, le climat et le terrain, favorisent les conditions sèches. La proximité d'inventaires existants de communautés végétales sèches est également prise en compte.

La carte « Potentiel de sites secs » est basée sur la méthode de Lienhard et Merkel (2002, voir la documentation méthodologique pour plus de détails). Les paramètres utilisés pour l'évaluation sont :

- teneur en argile et en limon,
- sous-groupe de régime hydrique,
- type de sol.

Le potentiel de sites secs est évalué sur une échelle de 0 à 100 points (voir Figure 45 ci-dessous). Cette méthode convient aux surfaces agricoles et aux surfaces non productives.

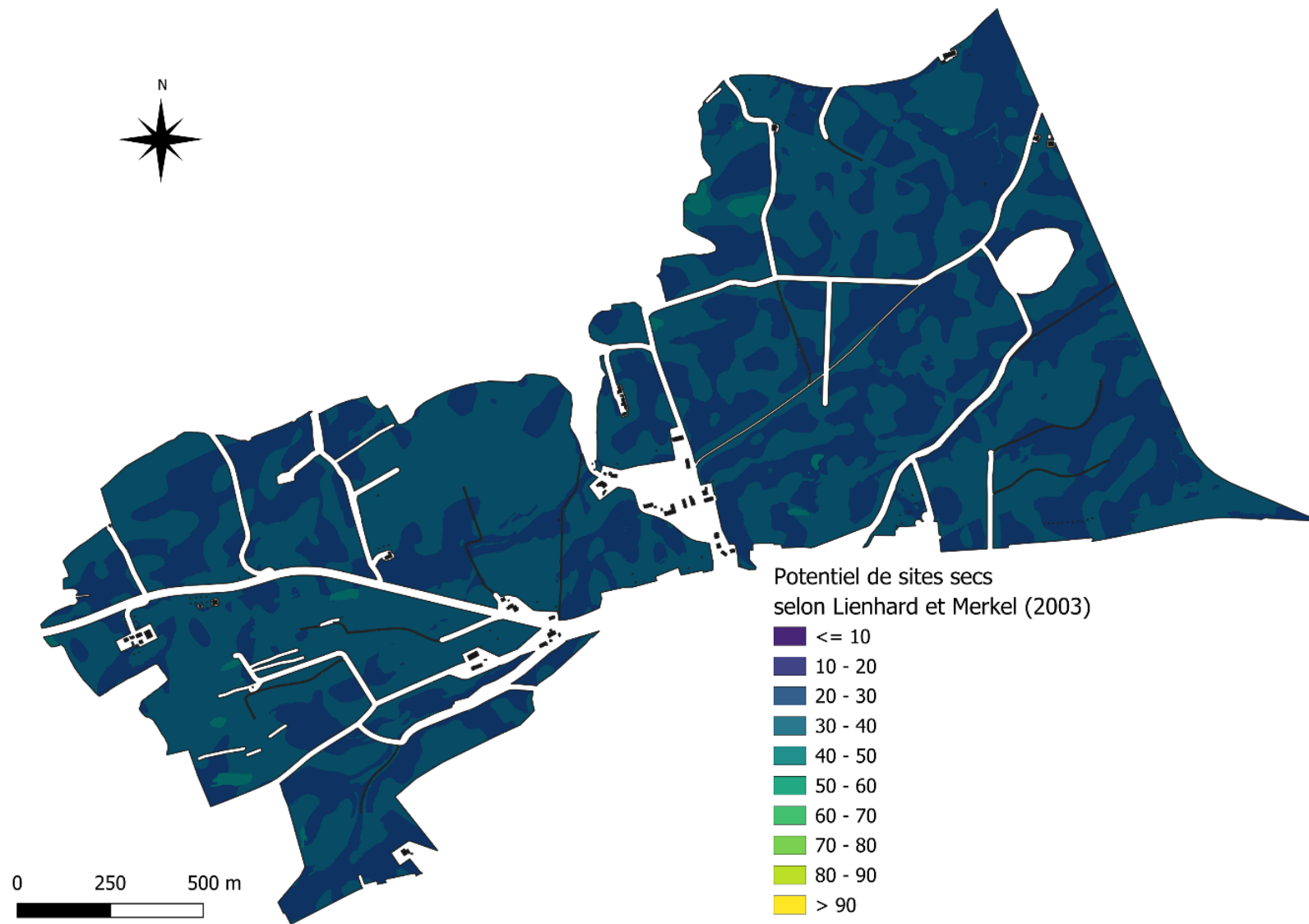


Figure 45 : Carte thématique « Potentiel écologique des milieux secs » d'après Lienhard et Merkel (2002).

C 3.5 Protection des eaux et eaux souterraines

C 3.5.1 Capacité à lier et à dégrader les polluants (Bechler et Thot 2010)

Les sols jouent un rôle de protection essentiel en liant, dégradant ou transformant les polluants. Ils contribuent ainsi à la protection des eaux souterraines, des plantes et des organismes vivant dans les sols contre les contaminations. Les sols riches en argile et en matières organiques présentent une capacité élevée à lier et à dégrader les polluants. Le pH joue également un rôle déterminant, car il influence cette capacité ainsi que la mobilité de nombreuses substances.

La carte thématique repose sur la méthode de Bechler et Thot (2010) (voir la documentation méthodologique pour plus de détails). Les paramètres pris en compte pour cette évaluation sont les suivants :

- teneur en argile,
- teneur en matières organiques,
- teneur en éléments grossiers (minéraux >2mm),
- pH,
- masse volumique apparente de la terre fine,
- limite supérieure des horizons « gg » et « r »,
- profondeur jusqu'au sous-sol.

La capacité à lier et à dégrader les polluants est évaluée en cinq classes (voir Figure 46 ci-dessous). La méthode ne convient pas aux sols organiques (tourbes, sols semi-tourbeux), qui ont par conséquent été exclus de la carte.

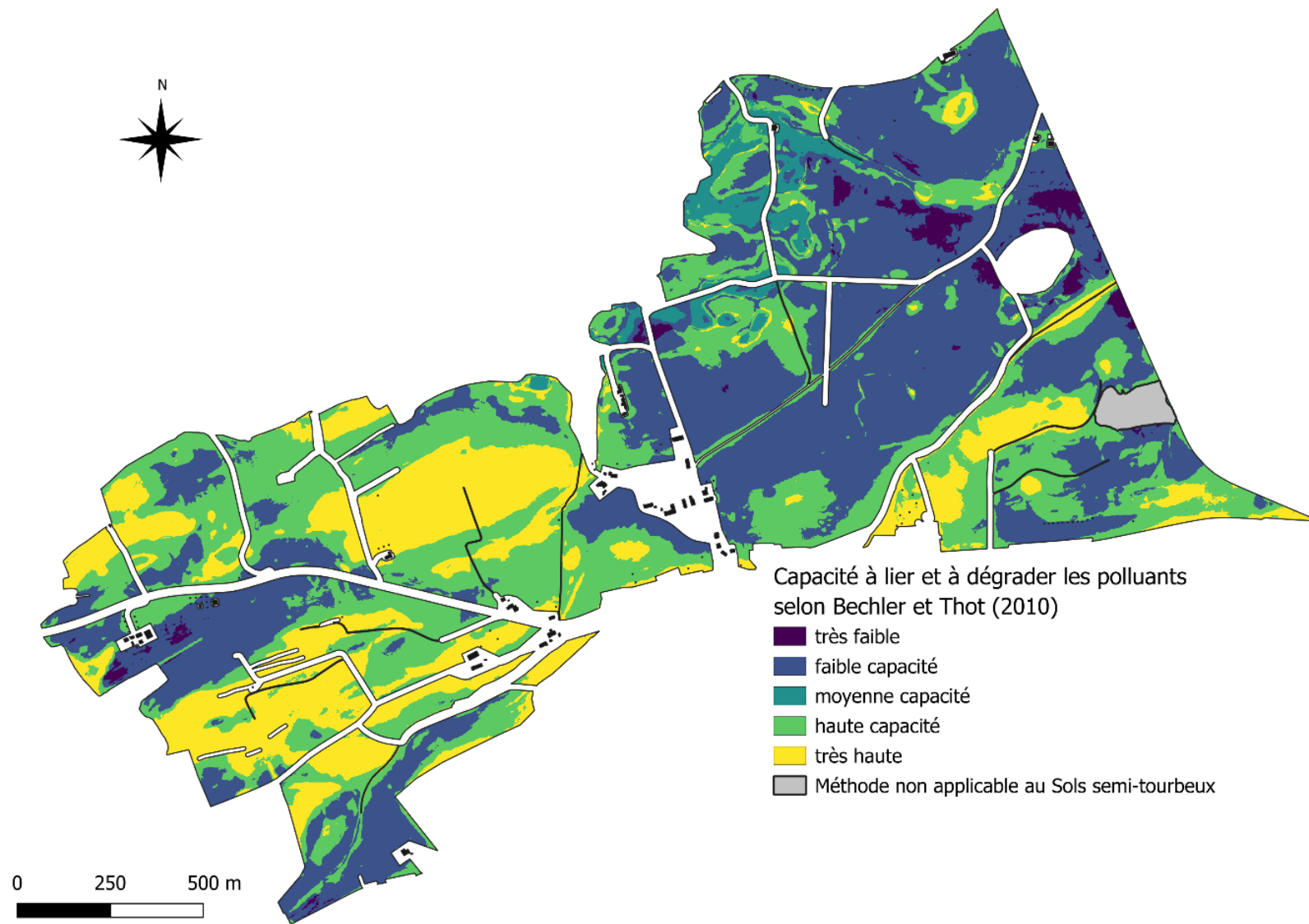


Figure 46 : Carte thématique « Capacité à lier et à dégrader les polluants » d'après Bechler et Thot (2010).

C 3.5.2 Capacité à lier les métaux lourds (DVWK 1988)

Les sols jouent un rôle de protection essentiel en liant les métaux lourds et en limitant ainsi leur propagation dans l'environnement. Ils contribuent à la protection des plantes, des eaux souterraines et de surface ainsi que des organismes vivant dans les sols contre les contaminations. Les sols riches en argile et en matières organiques présentent une capacité élevée à lier les métaux lourds, en raison de la présence de nombreux sites de liaison et d'échange. Le pH joue également un rôle déterminant, car il influence la capacité des sols à lier les métaux lourds ainsi que la mobilité de nombreuses substances.

La carte thématique repose sur la méthode de la DVWK (1988, voir la documentation méthodologique pour plus de détails). Les paramètres pris en compte pour cette méthode d'évaluation sont les suivants :

- teneur en argile,
- teneur en matières organiques,
- le pH.

La capacité à lier les métaux lourds est évaluée en cinq classes (voir Figure 47 ci-dessous). La méthode ne convient pas aux sols organiques (tourbes, sols semi-tourbeux), qui ont par conséquent été exclus de la carte.

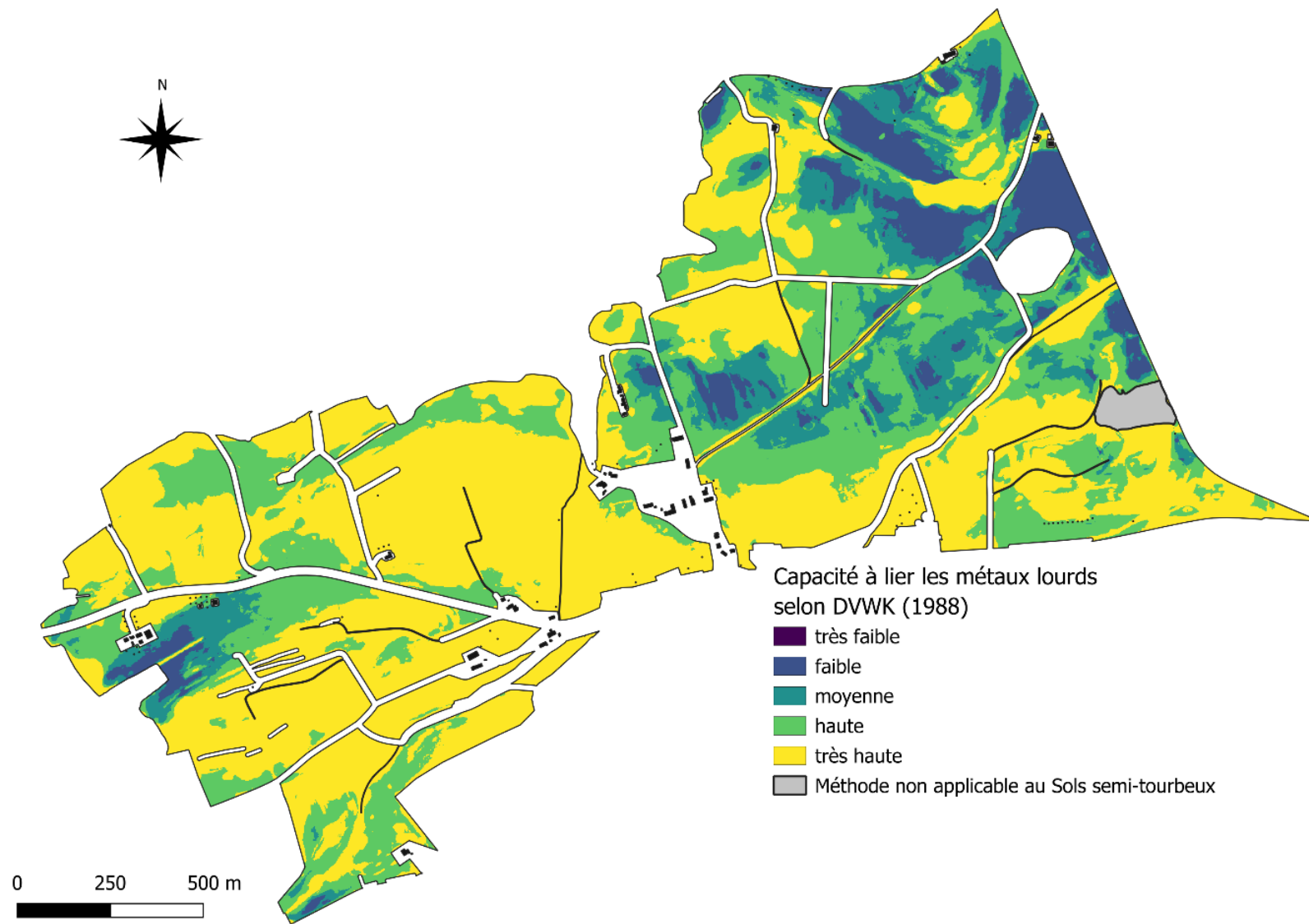


Figure 47 : Carte thématique « Capacité à lier les métaux lourds » d'après DVWK (1988).

C 3.5.3 Rétention des nutriments face aux pertes par infiltration et par ruissellement (Jäggli et al. 1998)

La rétention des nutriments dans les sols est un facteur important pour la protection des eaux souterraines et l'apport en nutriments des plantes. Elle correspond à la capacité des sols à empêcher les nutriments d'être lessivés dans les eaux souterraines et à réduire leur perte par ruissellement lors de précipitations. Les sols à forte capacité de rétention peuvent stocker efficacement les nutriments et ainsi augmenter l'efficacité de la fertilisation tout en réduisant les risques écologiques. Dans la méthode utilisée, la rétention des nutriments est évaluée en fonction des propriétés des sols, du terrain, du sous-sol géologique et des conditions climatiques.

La carte thématique « Rétention des nutriments face aux pertes par infiltration et par ruissellement » repose sur la méthode de Jäggli et al. (1998, voir la documentation méthodologique pour plus de détails). Les paramètres pris en compte sont les suivants :

- teneur en argile et en limon,
- masse volumique apparente de la terre fine,
- profondeur utile pour les plantes,
- sous-types I, G et R,
- type de sol.

La Rétention des nutriments face aux pertes par infiltration et par ruissellement est évaluée selon cinq classes (voir Figure 48 ci-dessous). La méthode s'applique aux zones agricoles. Elle ne convient toutefois pas aux zones caractérisées par une courte période de végétation ou par des conditions de précipitations faibles et variables.

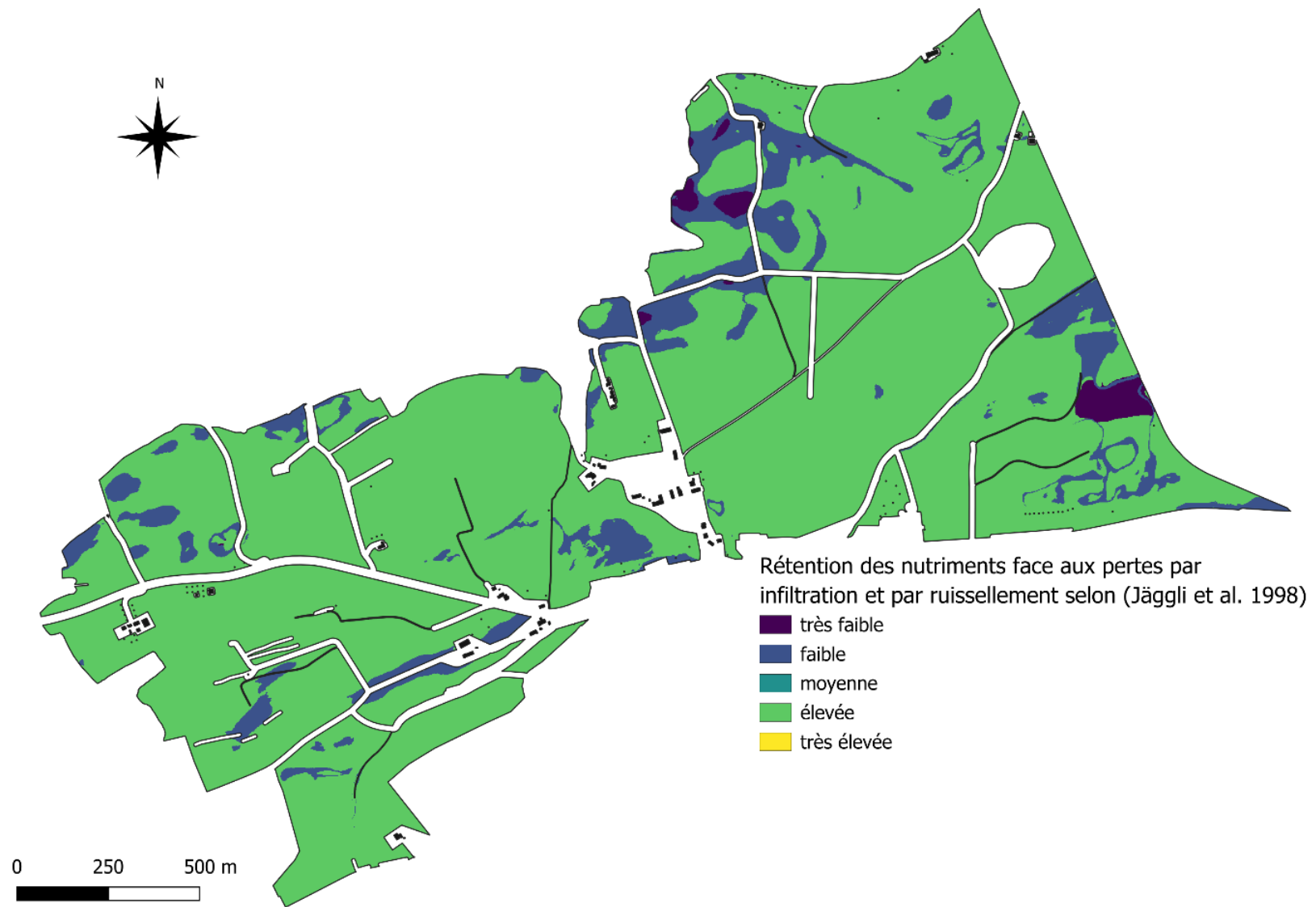


Figure 48 : Carte thématique « Rétention des nutriments face aux pertes par infiltration et par ruissellement » d'après Jäggli et al. (1998).

C 3.6 Protection du climat

C 3.6.1 Potentiel d'enrichissement en carbone (Johannes et al. 2017)

Les matières organiques des sols sont constituées de résidus végétaux et d'organismes morts, ainsi que des produits issus de leur décomposition et de leur transformation. Elles possèdent une grande capacité de stockage de l'eau et des nutriments et influencent positivement de nombreuses fonctions des sols. Composées pour plus de la moitié de carbone, elles jouent un rôle important dans le contexte du changement climatique.

Le potentiel des sols à stocker du carbone à long terme dépend de leur teneur en matières organiques et en argile ainsi que d'autres facteurs liés au site. Les argiles favorisent la formation de composés carbonés stables, appelés complexes argilo-humiques, dans lesquels le carbone est protégé de la dégradation microbienne. La méthode d'évaluation utilisée repose, de manière volontairement simplifiée, sur le rapport entre la teneur en matières organiques et la teneur en argile. La carte thématique présente ainsi le potentiel des sols à stocker du carbone à long terme, en complément du carbone déjà présent dans les sols.

La carte thématique « Potentiel d'enrichissement en carbone » est basée sur la méthode de Johannes et al. (2017, voir la documentation méthodologique pour plus de détails). Les paramètres pris en compte sont les suivants :

- teneur en argile,
- teneur en éléments grossiers (minéraux > 2mm),
- teneur en carbone,
- masse volumique apparente de la terre fine.

Le potentiel d'enrichissement est exprimé en tonnes par hectare (t/ha) et évalué selon quatre classes (voir Figure 49 ci-dessous). L'évaluation du potentiel d'enrichissement des sols fait l'objet de controverses dans la littérature scientifique et différentes approches internationales existent pour l'estimer. L'approche proposée par Johannes et al. (2017) ne constitue qu'une méthode parmi d'autres. La méthode la plus adaptée aux sols suisses doit encore faire l'objet d'analyses approfondies et d'une validation spécifique.

La méthode utilisée s'applique uniquement aux sols minéraux. Les sols organiques ont, par conséquent, été exclus de la carte.

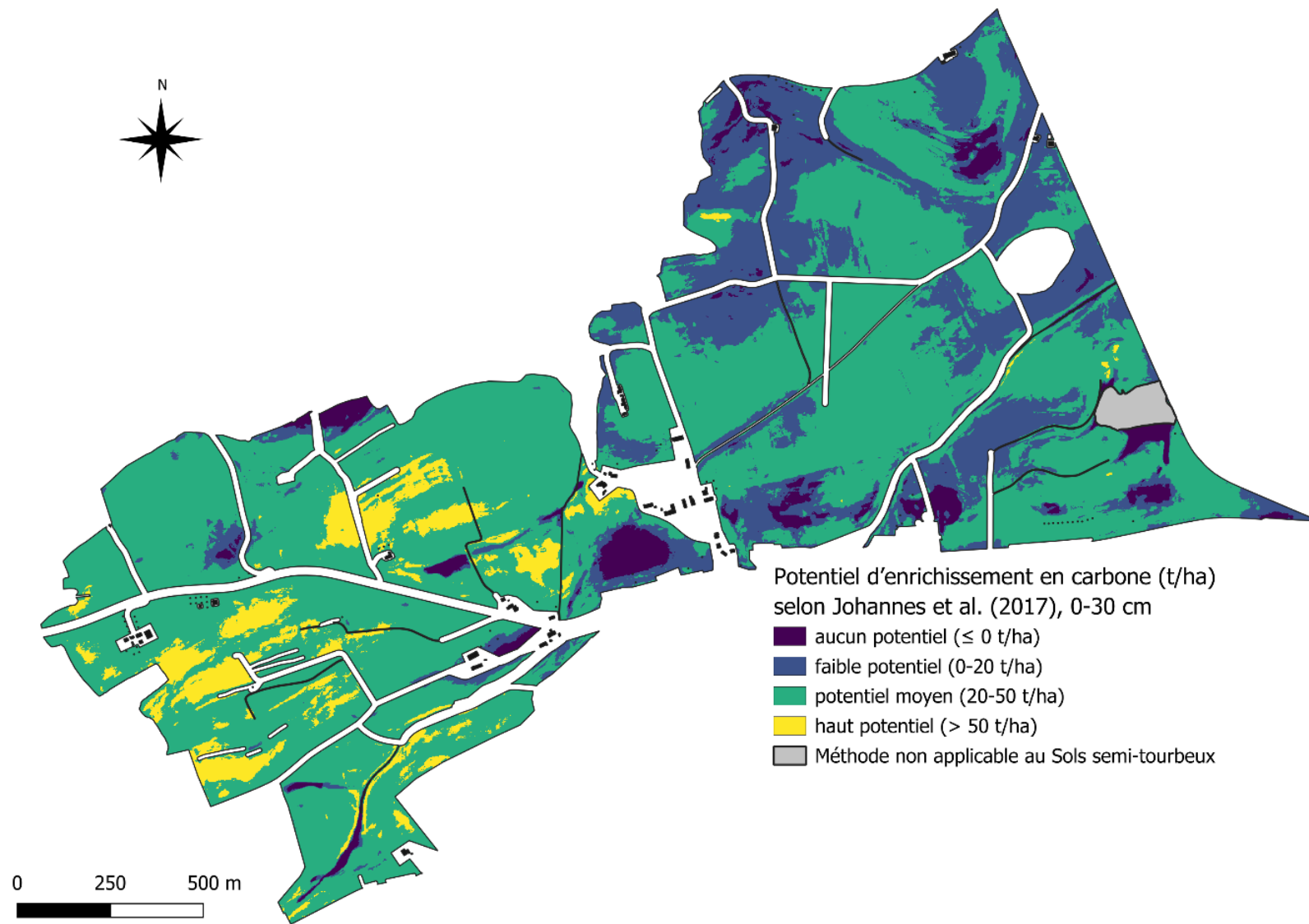


Figure 49 : Carte thématique « Potentiel d'enrichissement en carbone » d'après Johannes et al. (2017)

C 3.6.2 Stockage de carbone

Les matières organiques des sols sont constituées de résidus végétaux et d'organismes morts, ainsi que des produits issus de leur décomposition et de leur transformation. Elles possèdent une grande capacité de stockage de l'eau et des nutriments et influencent positivement de nombreuses fonctions des sols. Composées pour plus de la moitié de carbone, elles jouent un rôle important dans le contexte du changement climatique.

Le stockage de carbone correspond à la quantité totale de carbone par surface et par profondeur. Il a été calculé séparément pour la couche supérieure du sol (0-30 cm) et pour l'ensemble du sol jusqu'à une profondeur de 100 cm.

Les paramètres pris en compte pour la carte thématique « Stockage de carbone » (voir la documentation méthodologique pour plus de détails) sont les suivants :

- teneur en carbone,
- teneur en éléments grossiers (minéraux > 2mm),
- masse volumique apparente de la terre fine.

Le stockage de carbone est déterminé en t/ha (voir la Figure 50 et la Figure 51 ci-dessous).

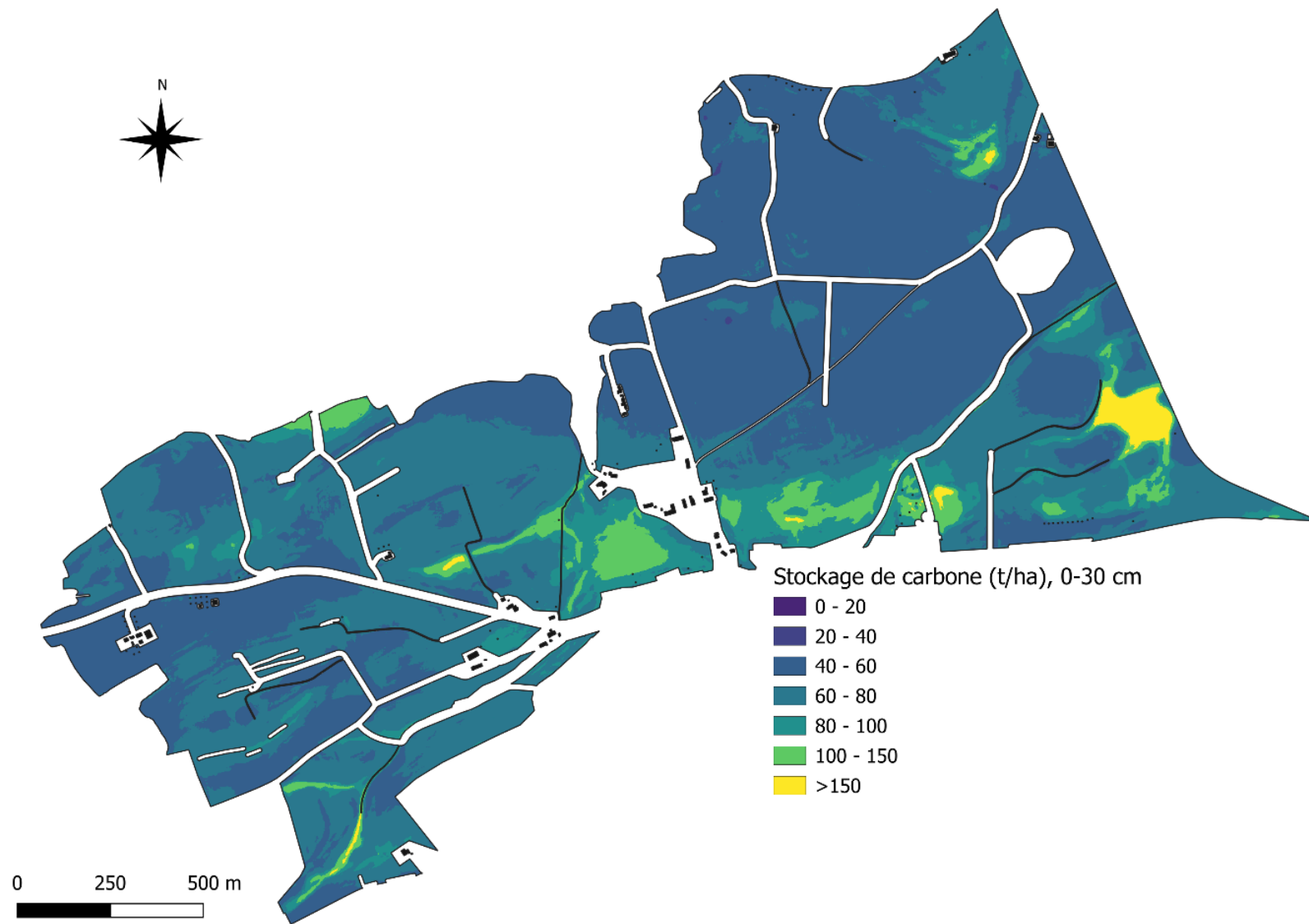


Figure 50 : Carte thématique « Stockage de carbone » de 0 à 30 cm de profondeur.

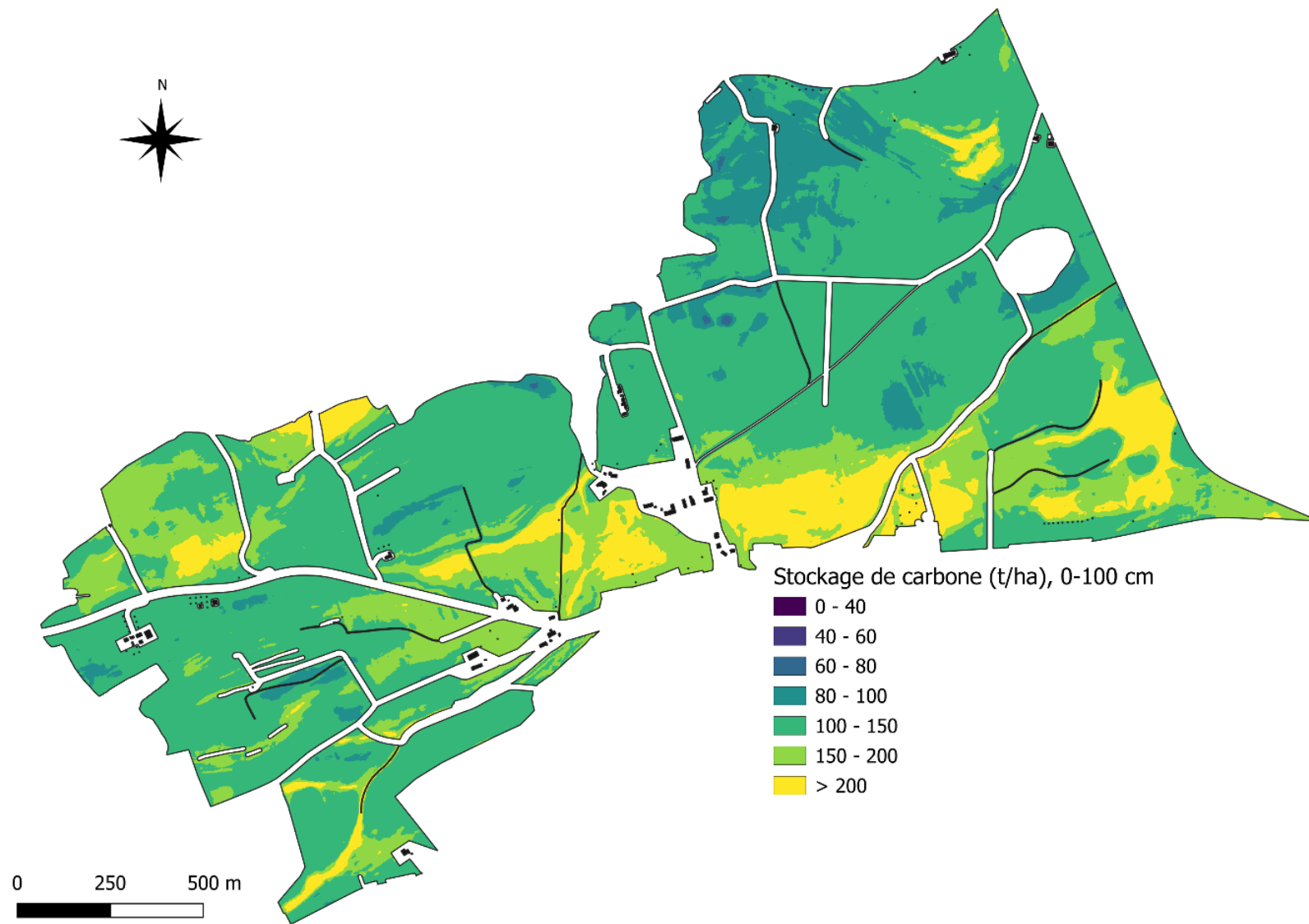


Figure 51 : Carte thématique « Stockage de carbone » de 0 à 100 cm de profondeur.

C 3.7 Sécheresse

C 3.7.1 Besoin en irrigation (Müller et al. 2012)

À l'avenir en Suisse, le besoin en irrigation des cultures, telles que pommes de terre, légumes ou baies va augmenter. Ce besoin dépend à la fois des caractéristiques des cultures et des sols, ainsi que des conditions météorologiques. Les cultures ont des besoins en eau différents et n'ont pas des racines de la même longueur. De plus, les propriétés des sols influencent la profondeur d'enracinement des plantes et la capacité des sols à stocker l'eau. Enfin, les conditions météorologiques déterminent la quantité d'eau apportée par les précipitations et celle perdue par évaporation.

Cette carte thématique présente, à titre d'exemple, le besoin moyen en irrigation des pommes de terre pour la norme climatologique (1991-2020). La méthode utilisée peut également être appliquée à d'autres cultures.

La carte thématique « Besoin en irrigation des pommes de terre » est basée sur la méthode de Müller et al. (2012, voir la documentation méthodologique pour plus de détails). Les paramètres pris en compte sont les suivants :

- teneur en argile et en limon,
- teneur en matières organiques,
- masse volumique apparente totale de l'échantillon,
- niveau de saturation en eau des sols.

Les besoins en irrigation sont déterminés en mm par an (période de végétation) (voir Figure 52 ci-dessous). La méthode ne convient qu'aux zones agricoles.

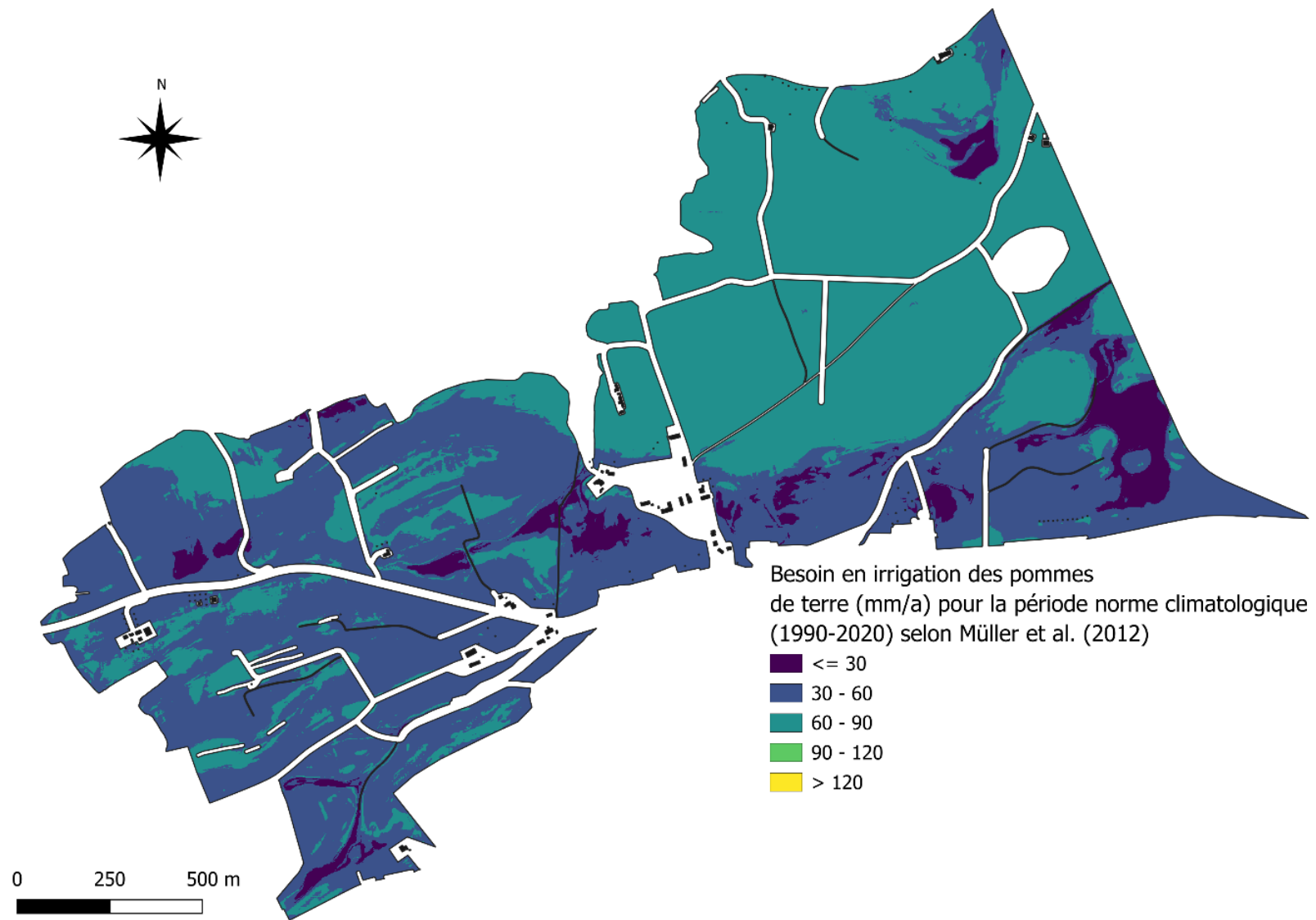


Figure 52 : Carte thématique « Besoin en irrigation » d'après Müller et al. (2012).

C 3.7.2 Aptitude à l'irrigation (Presler et Bagnoud 2013)

L'irrigation des sols agricoles va devenir plus importante dans le futur. Celle-ci est principalement déterminée par la capacité de rétention en eau des sols. Les sols présentant une forte capacité de rétention en eau sont particulièrement bien adaptés à l'irrigation, car ils peuvent absorber efficacement l'eau, la stocker sur une longue durée et la restituer progressivement aux plantes.

Cette propriété est essentielle pour assurer une irrigation efficace de cultures telles que les pommes de terre ou les cultures maraîchères. La méthode appliquée détermine principalement l'aptitude à l'irrigation à partir de la capacité de rétention en eau des sols.

La carte thématique « Aptitude à l'irrigation » repose sur la méthode de Presler et Bagnoud (2013, voir la documentation méthodologique pour plus de détails). Les paramètres pris en compte sont les suivants :

- teneur en argile et en limon,
- teneur en matières organiques,
- masse volumique apparente de l'échantillon total,
- profondeur utile pour les plantes,
- groupe de régime hydrique.

L'aptitude à l'irrigation est classée en six catégories distinctes (voir Figure 53 ci-dessous). Cette méthode d'évaluation est applicable uniquement aux zones agricoles.

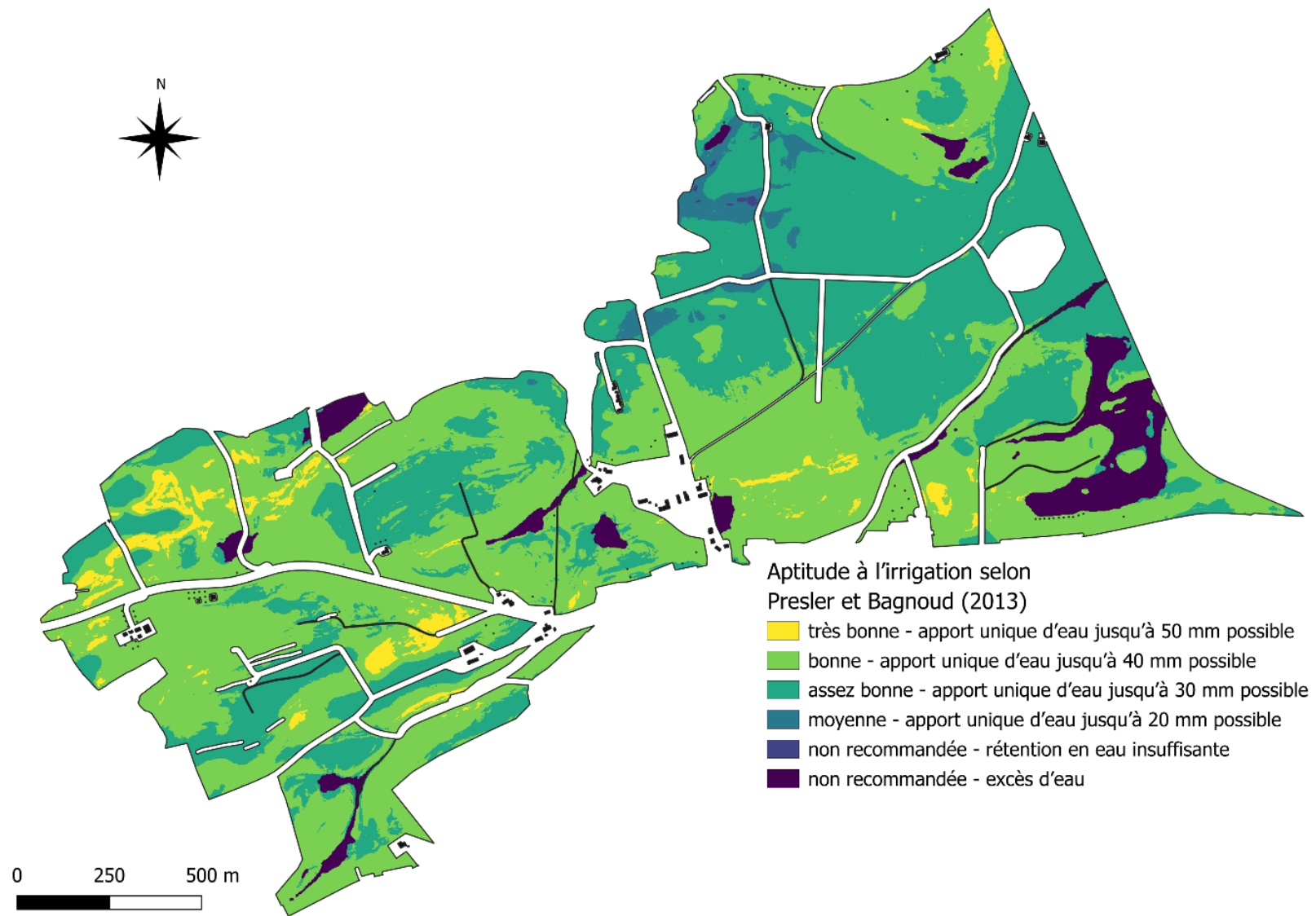


Figure 53 : Carte thématique « Aptitude à l'irrigation » d'après Presler et Bagnoud (2013).

C 4. Table des illustrations

Figure 1 :	Carte de propriétés des sols « Teneur en argile » (profondeur : 0-20 cm).	3
Figure 2 :	Carte de propriétés des sols « Teneur en argile » (profondeur : 20-40 cm).	4
Figure 3 :	Carte de propriétés des sols « Teneur en argile » (profondeur : 40-70 cm).	5
Figure 4 :	Carte de propriétés des sols « Teneur en limon » (profondeur : 0-20 cm).	7
Figure 5 :	Carte de propriétés des sols « Teneur en limon » (profondeur : 20-40 cm).	8
Figure 6 :	Carte de propriétés des sols « Teneur en limon » (profondeur : 40-70 cm).	9
Figure 7 :	Carte de propriétés des sols « Teneur en sable » (profondeur : 0-20 cm).	11
Figure 8 :	Carte de propriétés des sols « Teneur en sable » (profondeur : 20-40 cm).	12
Figure 9 :	Carte de propriétés des sols « Teneur en sable » (profondeur : 40-70 cm).	13
Figure 10 :	Carte de propriétés des sols « Teneur en matières organiques » (profondeur : 0-20 cm).	15
Figure 11 :	Carte de propriétés des sols « Teneur en matières organiques » (profondeur : 20-40 cm).	16
Figure 12 :	Carte de propriétés des sols « Teneur en matières organiques » (profondeur : 40-70 cm).	17
Figure 13 :	Carte de propriétés des sols « Teneur en carbonates » (profondeur : 0-20 cm).	19
Figure 14 :	Carte de propriétés des sols « Teneur en carbonates » (profondeur : 20-40 cm).	20
Figure 15 :	Carte de propriétés des sols « Teneur en carbonates » (profondeur : 40-70 cm).	21
Figure 16 :	Carte de propriétés des sols « pH » (profondeur : 0-20 cm).	23
Figure 17 :	Carte de propriétés des sols « pH » (profondeur : 20-40 cm).	24
Figure 18 :	Carte de propriétés des sols « pH » (profondeur : 40-70 cm).	25
Figure 19 :	Carte des caractéristiques des sols « Capacité d'échange cationique effective » d'après Lehmann et al. (2013).	27
Figure 20:	Carte des caractéristiques des sols « Groupe de régime hydrique ».	29
Figure 21:	Carte des caractéristiques des sols « Sous-groupes de régime hydrique ».	30
Figure 22 :	Carte des caractéristiques des sols « Limite des carbonates ».	32
Figure 23 :	Carte des caractéristiques des sols « Profondeur de l'horizon « gg » ».	34
Figure 24 :	Carte des caractéristiques des sols « Profondeur de l'horizon « r » ».	36
Figure 25 :	Carte des caractéristiques des sols « Profondeur utile ».	38
Figure 26 :	Carte des caractéristiques des sols « Réserve utile » d'après Danner et al. (2003).	40
Figure 27 :	Carte des caractéristiques des sols « Types de sol ».	42
Figure 28 :	Carte des caractéristiques des sols « Sous-type I ».	44
Figure 29 :	Carte des caractéristiques des sols « Sous-type G ».	45
Figure 30 :	Carte des caractéristiques des sols « Sous-type R ».	46
Figure 31 :	Carte thématique « Potentiel de fourniture de l'azote » d'après PRIF (2017).	49
Figure 32 :	Carte thématique « Facteur de correction pédologique pour la fertilisation azotée normalisée » d'après PRIF (2017)	51
Figure 33 :	Carte thématique « Capacité de stockage des nutriments » d'après Lehmann et al. (2013).	53
Figure 34 :	Carte thématique « Besoins en chaulage » d'après VDLUFA (2000).	55
Figure 35 :	Carte thématique « Aptitude agricole CA 2023 (version d'essai) » d'après Greiner et al. (2025).	57
Figure 36 :	Carte thématique « Limitations des classes d'aptitude CA 2023 (version d'essai) » d'après Greiner et al. (2025).	58
Figure 37 :	Carte thématique « Indice de qualité des sols » d'après Angelini et al. (2023).	60
Figure 38 :	Carte thématique « Indice de qualité des sols » d'après Engel et Stadtmann (2020).	62
Figure 39 :	Carte thématique « Indice de qualité des sols » d'après Hilbert et al. (2021).	64
Figure 40 :	Carte thématique « Indice de qualité des sols » d'après Knoll et al. (2010).	66
Figure 41 :	Carte thématique « Indice de qualité des sols » d'après Miller et al. (2022).	68
Figure 42 :	Carte thématique « Fonction de régulation du régime hydrique » d'après Danner et al. (2003).	70

Figure 43 : Carte thématique « Fonction d'habitat pour les microorganismes » d'après Oberholzer et Scheid (2007).	72
Figure 44 : Carte thématique « Potentiel de sites humides » d'après Vögeli et al. (2022).	74
Figure 45 : Carte thématique « Potentiel écologique des milieux secs » d'après Lienhard et Merkel (2002).	76
Figure 46 : Carte thématique « Capacité à lier et à dégrader les polluants » d'après Bechler et Thot (2010).	78
Figure 47 : Carte thématique « Capacité à lier les métaux lourds » d'après DVWK (1988).	80
Figure 48 : Carte thématique « Rétention des nutriments face aux pertes par infiltration et par ruissellement » d'après Jäggli et al. (1998).	82
Figure 49 : Carte thématique « Potentiel d'enrichissement en carbone » d'après Johannes et al. (2017)	84
Figure 50 : Carte thématique « Stockage de carbone » de 0 à 30 cm de profondeur.	86
Figure 51 : Carte thématique « Stockage de carbone » de 0 à 100 cm de profondeur.	87
Figure 52 : Carte thématique « Besoin en irrigation » d'après Müller et al. (2012).	89
Figure 53 : Carte thématique « Aptitude à l'irrigation » d'après Presler et Bagnoud (2013).	91

C 5. Bibliographie

- Angelini ME, Heuvelink GBM, Lagacherie P, 2023. A multivariate approach for mapping a soil quality index and its uncertainty in southern France. *European Journal of Soil Science*, 74 (2), e13345. <https://doi.org/10.1111/ejss.13345>
- Bechler K, Thot O, 2010. Bewertung von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit. Leitfaden für Planungen und Gestattungsverfahren.
- Danner C, Henshold C, Weidenhammer S, Aussendorf M, Kraft M, Weidenbacher A, Kölling C, 2003. Das Schutzgut Boden in der Planung. Bewertung natürlicher Bodenfunktionen und Umsetzung in Planungs- und Genehmigungsverfahren. Landesamt BG, für Umweltschutz BL (Hrsg.).
- DVWK, 1988. Filtereigenschaften des Bodens gegenüber Schadstoffen. Teil I: Beurteilung der Fähigkeit von Böden, zugeführte Schwermetalle zu immobilisieren. DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft.
- Engel N, Stadtmann R, 2020. Bodenfunktionsbewertung auf regionaler und kommunaler Ebene: Ein niedersächsischer Leitfaden für die Berücksichtigung der Belange des vorsorgenden Bodenschutzes in der räumlichen Planung. 5,51 MB. https://doi.org/10.48476/GEOBER_26_2020
- Greiner L, Petter G, Keller A, 2025. Manuel pour l'estimation de l'aptitude agricole. Méthode des classes d'aptitude (méthode CA) Version actualisée 2023. Version test 1.1. sous <https://ccsols.ch/fr/downloadcenter/>
- Hilbert S, Thelemann M, Brandt M, Siewert W, Gerstenberg JH, 2021. Planungshinweise zum Bodenschutz. Leitbild und Massnahmenkatalog für den vorsorgenden Bodenschutz in Berlin.
- Jäggli F, Peyer K, Pazeller A, Schwab P, 1998. Grundlagenbericht zur Bodenkartierung des Kantons Zürich.
- Johannes A, Matter A, Schulin R, Weisskopf P, Baveye PC, Boivin P, 2017. Optimal organic carbon values for soil structure quality of arable soils. Does clay content matter? *Geoderma*, 302, 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.04.021>
- Knoll A, Sutor G, Huber G, Kübler B, 2010. „Pilotprojekt Boden“. Bewertung von Bodenfunktionen in Planungsverfahren.
- Lehmann A, David S, Stahr K, 2013. TUSEC -- Bilingual-Edition: Eine Methode zur Bewertung natürlicher und anthropogener Böden (Deutsche Fassung). Stuttgart. https://soil.uni-hohenheim.de/uploads/media/TUSEC_2.Aufl_03.pdf
- Lienhard A, Merkel K, 2002. Ein neues Planungsinstrument und Zielwerte für LEK und ÖQV im Kanton Zürich.
- Miller R, Busch J, Friedrich K, Fritsch D, Goldschmitt M, Handke K, Pflanz D, Sauer S, Vorderbrügge T, Landesamt für Geologie und Bergbau Rheinland-Pfalz, 2022. Themenhefte Vorsorgender Bodenschutz, Heft 5: Kompensation des Schutzguts Boden in Planungs- und Genehmigungsverfahren.
- Müller U, Engel N, Heidt L, Schäfer W, Kunkel R, Wendland F, Roehm H, Elbracht J, 2012. Klimawandel und Bodenwasserhaushalt. Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG). *GeoBerichte* (20). https://doi.org/10.48476/GEOBER_20_2012
- Oberholzer H-R, Scheid S, 2007. Bodenmikrobiologische Kennwerte. Erfassung des Zustands landwirtschaftlicher Böden im NABO-Referenzmessnetz anhand biologischer Parameter (NABObio). *Umwelt-Wissen*, 0723, 76.

- Presler J, Bagnoud N, 2013. Generelles Projekt der 3. Rhonekorrektion. Grundlagenstudie Bodenkunde. Technischer Bericht.
- PRIF, 2017. Principes de la fertilisation des cultures agricoles en Suisse (PRIF). Guillaume, T., Liebisch F., Carlen C. (Dir.). www.prif.ch
- VDLUFA, 2000. Standpunkt des VDLUFA. Bestimmung des Kalkbedarfs von Acker- und Grünlandböden.
- Vögeli B, Bossard M, Gimmi U, Gsponer R, Raster J, Schiebli R, Pezzatti M, Beltrami R, Wanner C, Wiedmer U, et al., 2022. Bezeichnung und Sicherung der prioritären Potenzialflächen für Feuchtgebiete gemäss Naturschutz-Gesamtkonzept: Technischer Bericht, Fassung vom 9. Dezember 2022.

Centre de compétences sur les sols

BFH-HAFL

Länggasse 85 _ 3052 Zollikofen

info@ccsols.ch _ ccsols.ch