

Manuel pour l'estimation de l'aptitude agricole

Version test v1.1

Méthode des classes d'aptitude (méthode CA)
Version actualisée 2023

CCSols, rapport n° 7

Février 2025 (version test v1), révisée en juin 2025 (version test v1.1)

Engagé en Suisse
pour une précieuse ressource

Impressum

Auteurs : Lucie Greiner, Gunnar Petter et Armin Keller

Année de parution : 2023, révisée en 2025

Éditeur : Centre de compétences sur les sols (CCSols).

Le CCSols travaille sur mandat de trois offices fédéraux de l'environnement (OFEV), de l'agriculture (OFAG) et du développement territorial (I'ARE) et est rattaché à la Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires (HAFL) de la Haute école spécialisée bernoise (HESB-BFH) de Zollikofen.

Direction du projet : Lucie Greiner (CCSols) et Gunnar Petter (CCSols)

Expert-e-s externes : Esther Bräm (Boden und Biotope), Franca Ciocco (Plantahof), Olivier Heller (Agroscope), Peter Schwab (anciennement NABO), Peter Weisskopf (anciennement Agroscope) et Martin Zürrer (myx GmbH)

Groupe d'accompagnement : Nicolas Ballesteros (ARE), Andreas Chervet (canton de BE), François Füllemann (canton de VD), Petra Hellemann (OFAG), Annelie Holzkämper (Agroscope), Aline Loher (canton de SG), Daniela Marugg (RevKLABS/KA), Anina Schmidhauser (RevKLABS/KA), Cécile Wanner (canton de ZH), Marina Wendling (FIBL) et le groupe de travail interdépartemental sur les surfaces d'assolement (PS SDA)

Photo de couverture : Une pédologue saisie des données sur une tablet, Centre de compétences sur les Sols

Mise en page : Fabrice Wullschleger (CCSols) avec un modèle créé par Magma Branding, Sandrainstrasse 3, 3007 Berne, <https://magma-branding.ch>

Citation recommandée : Greiner L., Petter G. et A. Keller (2023) : Manuel pour l'estimation de l'aptitude agricole. Méthode des classes d'aptitude (méthode CA). Version actualisée 2023. Centre de compétences sur les sols CCSols. BFH-HAFL. CH 3052 Zollikofen-Berne, disponible sous <https://ccsols.ch/fr/downloadcenter/> et www.boden-methoden.ch

Remarque : Les auteurs sont seul-e-s responsables du contenu.

Copyright : Conformément au symbole de licence ci-dessous, la reproduction non commerciale du rapport est souhaitée, mais avec indication de la source et envoi d'un exemplaire justificatif à l'éditeur. Le partage est soumis aux mêmes conditions de licence.



Table des matières

1	Introduction	5
	1.1 Estimation de l'aptitude agricole : principe	5
	1.2 Caractéristiques du présent document	5
2	Genèse de la méthode CA 2023	7
	2.1 Précédentes méthodes d'estimation de l'aptitude agricole	7
	2.2 Objectifs suivis lors du développement de la méthode CA 2023	7
	2.3 Procédure suivie pour le développement de la méthode CA 2023	8
	2.4 Caractéristiques générales de la méthode CA 2023	8
3	Les classes d'aptitude (CA)	10
4	Estimation	12
	4.1 Déroulement de l'estimation	12
	4.2 Paramètres d'entrée nécessaires	13
	4.3 Limitation liée au climat	14
	4.4 Limitation liée au régime hydrique du sol	15
	4.5 Limitation liée à la pierrosité du sol	17
	4.6 Limitation liée à la texture du sol	18
	4.7 Limitation liée à la teneur en matière organique du sol	20
	4.8 Limitation liée au pH du sol	21
	4.9 Limitation liée au terrain	22
	4.10 Limitations supplémentaires dans des cas spéciaux	23
	4.11 Résumé de la méthode CA 2023	26
5	Trois exemples de détermination de la classe d'aptitude	27
6	Conclusions et perspectives	31
7	Liste des illustrations	33
8	Liste des tableaux	34
9	Bibliographie	36

Avertissement

Afin d'harmoniser les différentes traductions francophones des textes suisses alémaniques avec les différents documents internationaux portant sur la pédologie, il a été décidé que dans ce document le terme « **Schluff** » serait traduit par « **limon** » et le terme « **Lehm** » par « **loam** ».

Historiquement, les termes « Schluff » et « Lehm » ont été traduits respectivement par « silt » et « limon » dans différents documents suisses. Par conséquent, une attention toute particulière doit être portée à l'égard de ces termes. Une comparaison directe de ces termes entre le présent document et des documents suisses plus anciens n'est pas possible.

1. Introduction

1.1 Estimation de l'aptitude agricole : principe

La méthode des classes d'aptitude (méthode CA) permet d'évaluer l'aptitude d'un site à l'exploitation agricole par rapport à la possibilité d'y faire pousser des cultures de manière durable. L'aptitude agricole dépend principalement du climat, de diverses propriétés pédologiques de la couche supérieure et sous-jacente du sol ainsi que de la configuration du terrain. Le climat détermine la durée de la période de végétation, la répartition des températures et des précipitations. Il influence ainsi le choix des cultures potentiellement adaptées à l'exploitation. Les propriétés physiques, chimiques et biologiques et la constitution des sols ont un effet sur la disponibilité en éléments nutritifs, sur l'aération, le régime hydrique, le travail du sol et bien d'autres facteurs. Des propriétés pédologiques non optimales (p. ex. faible profondeur, capacité de rétention en eau limitée, présence d'une nappe perchée) peuvent restreindre l'exploitation agricole. Certaines caractéristiques du terrain, comme l'inclinaison de pente, jouent un rôle déterminant sur la praticabilité d'un site pour les véhicules agricoles, sur les méthodes de travail (mécanisé) du sol adéquates et sur le risque d'érosion. L'effet conjugué des facteurs « climat, sol et terrain » permet de déterminer l'aptitude agricole d'un site.

1.2 Caractéristiques du présent document

Ce document est un manuel d'estimation de l'aptitude agricole. Il décrit la méthode CA 2023 qui résulte d'une refonte des méthodes CA appliquées jusqu'ici en Suisse (Brunner et al. 1997, Jäggli et al. 1998). Le chapitre 2 présente un bref résumé des étapes de cette refonte. Une documentation plus détaillée sur le regroupement et la révision des différentes méthodes CA a été publiée dans un document distinct (Greiner et Petter 2023).

La présente version de la méthode CA 2023 sera intégrée dans la quatrième et dernière partie de l'ouvrage général « Description, classification et cartographie des sols de Suisse » qui sera édité en principe en 2025-2026 par l'Office fédéral de l'environnement (OFEV) et dont certaines parties paraîtront de manière échelonnée ces prochaines années (cf. Tableau 1).

La présente version de la méthode CA 2023 servira de version test jusqu'à la publication par l'OFEV. Les auteures et auteurs seraient heureux de recevoir vos critiques, suggestions et propositions d'amélioration. Les retours des utilisatrices et utilisateurs seront pris en considération dans la méthode CA 2023.

Tableau 1. Vue d'ensemble de l'ouvrage général « Description, classification et cartographie des sols de Suisse ». Le présent manuel pour l'estimation de l'aptitude agricole (méthode CA 2023) est indiqué en bleu ; les dates approximatives de la première publication sont indiquées en gris. Des informations complémentaires et un aperçu des publications existantes sont disponibles sous www.boden-methoden.ch.

	Partie I	Guide pour la description des sols sur le terrain (dès 2023)	
Ouvrage général :	Partie II	Classification	Classification des sols (2025)
			Classification des formes d'humus (2024)
Description, classification et cartographie des sols de Suisse	Partie III	Manuel de cartographie (2023)	
	Partie IV	Interprétations	Interprétations préliminaires (PNG et RH) ¹ (2025)
Classes d'aptitude (CA) (2023)			

¹ « PNG » est l'abréviation de profondeur utile. « RH » est l'abréviation de régime hydrique. Remarque : la profondeur utile est abrégée la plupart du temps par « PU », mais étant donné que ce tableau prend en compte également le sous-type « recouvert » qui a pour abréviation « PU », la profondeur utile sera exceptionnellement abrégée, dans ce document, par « pnG ». « pnG » = pflanzennutzbare Gründigkeit = profondeur utile.

2. Genèse de la méthode CA 2023

2.1 Précédentes méthodes d'estimation de l'aptitude agricole

En 1997, l'ancienne Station fédérale de recherches en agroécologie et agriculture (FAL, aujourd'hui Agroscope) a proposé, dans son manuel de cartographie des sols agricoles (Brunner et al. 1997), une méthode d'estimation de l'aptitude agricole de sites pour différentes cultures. Cette méthode permet de déterminer des classes d'aptitude (CA) à partir du facteur le plus limitant de l'exploitation (climat, sol et terrain) (Brunner et al. 1997). La méthode d'estimation de la FAL a été révisée ultérieurement dans le cadre de la cartographie cantonale des sols du canton de Zurich (Jäggli et al. 1998).

Depuis la suppression du service national de cartographie de la FAL en 1997, il n'existait plus d'institution pour assurer la mise à jour et le suivi de la méthode CA au niveau national. Environ deux décennies plus tard, la création du Centre de compétences sur les sols (CCSols ; www.ccsols.ch) et le lancement du projet de « Révision de la classification des sols de Suisse et du manuel de cartographie des sols » (Rev. KLABS / KA) (www.boden-methoden.ch) a permis d'entreprendre la nécessaire révision de la méthode CA et de procéder à une élimination des incohérences.

2.2 Objectifs suivis lors du développement de la méthode CA 2023

Le développement de la méthode CA 2023 a mis l'accent sur trois objectifs principaux :

1. Suppression des incohérences et des imprécisions : Des incohérences ont été constatées dans les tableaux d'évaluation des méthodes utilisées jusqu'ici, de sorte que leurs utilisatrices et utilisateurs pouvaient aboutir à des résultats différents suivant la procédure adoptée (Schwab et Günther 2016). L'objectif de la CA 2023 a donc consisté à développer une méthode d'estimation claire et cohérente qui aboutisse toujours à des résultats sans équivoque.

2. Regroupement des méthodes CA : Les deux méthodes CA utilisées en Suisse se basent sur des principes similaires et recourent à dix classes d'aptitude dont les définitions sont très proches. En revanche, des différences parfois considérables apparaissent dans la procédure d'évaluation, la prise en considération des facteurs limitants et l'estimation des limitations. L'objectif de la CA 2023 était donc de regrouper les deux méthodes existantes en une seule méthode cohérente avec le concours de spécialistes des deux méthodes.

3. Simplification : L'utilisation des méthodes CA existantes s'est révélée parfois compliquée. Il s'agissait par conséquent de développer une méthode qui soit aussi facile que possible à comprendre et à appliquer. La simplification a porté aussi bien sur la procédure générale d'évaluation que sur le nombre des facteurs limitants à prendre en considération dans l'évaluation. Dans la mesure du possible, les facteurs et interactions n'ayant qu'une moindre importance pour l'évaluation de la CA devaient être écartés.

2.3 Procédure suivie pour le développement de la méthode CA 2023

Le développement de la méthode CA 2023 a été réalisé en six étapes. Celles-ci sont brièvement présentées ci-après, afin de permettre à l'utilisatrice ou l'utilisateur de suivre l'évolution depuis les précédentes méthodes et de mieux situer la méthode CA 2023. Une documentation détaillée des étapes de la refonte incluant les analyses et les résultats a été publiée dans un document distinct (Greiner et Peter 2023).

Dans un premier temps, des spécialistes externes ont documenté l'utilisation actuelle sur le terrain des CA selon la FAL (CA-FAL, Brunner et al. 1997) et selon le canton de Zurich (CA-ZH, Jäggli et al. 1998). La deuxième étape a consisté à appliquer les méthodes documentées CA-FAL et CA-ZH au Fichier de données pédologiques (version 5.1) de NABODAT et à calculer une CA pour chaque site ayant des données suffisantes disponibles. Ces évaluations ont été non seulement comparées entre elles, mais aussi par rapport à l'intensité et à la réelle utilisation des sites, afin de contrôler leur plausibilité. Dans une troisième étape, les méthodes CA ont été simplifiées sur la base des analyses des deux premières étapes. Pour ce faire, l'importance des facteurs limitants utilisés dans ces méthodes a été analysée et ceux n'ayant que peu voire pas du tout d'influence sur les résultats ont été écartés. Dans une quatrième étape, réalisée en collaboration avec des spécialistes, les méthodes CA-FAL et CA-ZH ont été regroupées sur la base des connaissances acquises dans la présente méthode CA 2023. Dans la cinquième étape, la nouvelle méthode CA 2023 a été analysée à son tour en utilisant les données existantes afin de déterminer les différences par rapport aux méthodes CA-FAL et CA-ZH. Dans la sixième et dernière étape, la plausibilité de la méthode CA 2023 a aussi été contrôlée à l'aide des données existantes.

La conception de la révision de la méthode CA a été élaborée lors d'ateliers réalisés avec des représentant-e-s de bureaux d'ingénieurs, de services cantonaux, d'offices fédéraux et des milieux scientifiques. Par ailleurs, des spécialistes ont été chargés d'intégrer dans la révision les expériences pratiques acquises au fil des années.

2.4 Caractéristiques générales de la méthode CA 2023

La méthode CA 2023 se base sur les mêmes principes que les méthodes CA précédentes (CA-FAL : Brunner et al. 1997, CA-ZH : Jäggli et al. 1998) et tient compte des trois facteurs de site « climat, sol et configuration du terrain ». L'évaluation de la CA se fait à l'aide de huit tableaux dans lesquels les facteurs limitants individuels ou combinés sont évalués en tenant compte de la classe d'aptitude climatique du site considéré. Ces tableaux sont issus de processus de simplification et de regroupement des méthodes CA-FAL et CA-ZH. Les limitations sont reprises de la CA-FAL et de la CA-ZH ainsi que d'une combinaison des deux et réunies dans un seul tableau. Souvent, les limitations ont été simplifiées et les évaluations des CA correspondantes adaptées en concertation avec des spécialistes. Pour mieux situer la méthode CA 2023, les différences entre celle-ci et les méthodes CA utilisées jusqu'ici sont résumées dans le Tableau 2.

Tableau 2. Liste des limitations des méthodes CA-ZH, CA-FAL et CA 2023 (caractères en gras : limitations principales, caractères normaux = paramètres figurant dans les tableaux des limitations. DD = drainé, OB = couche supérieure du sol, pnG = profondeur utile, PT = avec intercalation(s) de tourbe, PU = recouvert, UB = couche sous-jacente du sol, VB = en blocs, WHG = groupe de régime hydrique, WHUG = sous-groupe de régime hydrique et ZL = labile). Indication de l'élaboration des limitations dans la méthode CA 2023.

Limitations CA-ZH	Limitations CA-FAL	Limitations CA 2023	Élaborations de la méthode CA 2023
Régime hydrique (WHG / pnG/ sous-types I, G, R / texture UB / sous-type DD / forme du terrain)	Régime hydrique (WHG / pnG / forme du terrain / matière organique OB)	Régime hydrique (WHG)	Regroupement et simplification CA-FAL et CA-ZH
Pierrosité (Pierrosité OB)	Pierrosité (Pierrosité OB / sous-type VB)	Pierrosité (Pierrosité OB)	Simplification CA-FAL
Texture (Texture OB / WHG)	Texture (Texture OB)	Texture (Texture OB)	Regroupement et simplification CA-FAL et CA-ZH
Matière organique (Matière organique OB, UB / épaisseur UB / type de sol "Tourbe" et "Sol semi-tourbeux" / sous-type PT et PU)	-	Matière organique (matière organique OB, UB)	Simplification CA-ZH
pH (pH OB, UB)	-	pH (pH UB)	Application de la CA-ZH
Terrain (Inclinaison de pente, type de pente)	-	Terrain (Inclinaison de pente, type de pente « irrégulier »)	Simplification CA-ZH
Cas spéciaux (Forme du terrain / inclinaison de pente / texture OB, UB/ WHG / sous-type ZL)	-	Cas spéciaux (WHUG, inclinaison de pente, type de pente « irrégulier », texture UB)	Regroupement et simplification CA-FAL et CA-ZH
-	Sols hydromorphes à nappe perchée (Sous-type I)	-	Pas explicitement pris en compte, car déjà couvert en grande partie par les limitations ci-dessus
-	Sols hydromorphes à nappe de bas-fond et d'inclinaison de pente permanente à battement (Sous-type G)	-	Pas explicitement pris en compte, car déjà couvert en grande partie par les limitations ci-dessus
-	Sols hydromorphes à nappe de fond ou d'inclinaison de pente permanente stable (sous-type R)	-	Pas explicitement pris en compte, car déjà couvert en grande partie par les limitations ci-dessus

3. Les classes d'aptitude (CA)

La méthode CA 2023 fournit une estimation de l'aptitude d'un site à l'exploitation de cultures agricoles en fonction du climat, des propriétés des sols et du terrain. Les aspects évalués comprennent l'exploitation durable, l'éventail de cultures, le rendement potentiel, la sécurité des rendements, les conditions d'exploitation et de travail du sol pour des conditions stationnelles données. Une CA caractérise des combinaisons spécifiques de facteurs limitants et décrit quelles formes d'utilisation sont recommandées ou plutôt limitées pour des conditions stationnelles données.

L'estimation débouche sur dix classes ; la CA 1 représentant la meilleure estimation possible (assolement sans restriction) et la CA 10 la plus mauvaise (surface à litière très humide). Les dix CA recouvrent un large éventail de formes d'exploitation (grandes cultures : céréales, plantes sarclées ; cultures fourragères : prairies, pâturages et surfaces à litière). L'aptitude potentielle à un large éventail de cultures, une capacité et une sécurité de rendement élevée et de bonnes conditions de culture et d'exploitation entraînent une bonne évaluation CA. Des restrictions dues au climat, au sol, au terrain ou à des combinaisons de ces facteurs conduisent à une moins bonne évaluation. Il faut tenir compte du fait que les dix classes CA ne constituent pas un système analytique strict dans lequel l'aptitude à l'exploitation et les facteurs qui en découlent (p. ex. le rendement) diminueraient de façon linéaire de la CA 1 à la CA 10.

Le Tableau 3 présente une vue d'ensemble des dix CA. Celle-ci est basée sur les descriptions des méthodes CA utilisées jusqu'ici qui présentent beaucoup de similitudes, mais avec quelques différences de détail (Brunner et al. 1997, Jäggli et al. 1998). Par souci de simplification, les descriptions et les évaluations des CA concernant l'exploitation durable, l'éventail de cultures, la capacité et la sécurité de rendement et les conditions d'exploitation ont été présentées sous une forme agrégée dans la méthode CA 2023.

L'horizon temporel à prendre en considération joue un rôle essentiel pour l'estimation de l'aptitude des sites à l'exploitation agricole. La présente méthode CA 2023 part, comme la CA-FAL, « *d'une utilisation diversifiée et durable comme objectif idéal* » devant permettre d'obtenir des rendements réguliers et élevés sans porter atteinte à l'environnement et en limitant au maximum les frais (Brunner et al. 1997). Par conséquent, l'évaluation des classes d'aptitude se fonde sur un horizon temporel à long terme avec un choix cultural garantissant une exploitation durable.

Tableau 3. Liste des classes d'aptitude de la méthode CA 2023 accompagnées de leurs critères d'évaluation. La description des classes d'aptitude CA 2023 a été basée sur la FAL et le canton de Zurich (Brunner et al. 1997 ; Jäggli et al. 1998), puis a été remaniée par P. Schwab et O. Heller (2022) et par la suite adaptée par les auteurs. Pour les CA 1 et 2, toutes les cultures sont possibles, raison pour laquelle il n'y a pas de distinction entre ces dernières lors de l'estimation. Pour les CA 3 à 6, les estimations sont différenciées en fonction des cultures. Comme les grandes cultures ne sont pas présentes pour les CA 7 à 9, l'estimation se limite aux cultures fourragères. Pour toutes les CA, l'estimation fait appel à cinq classes (++ = très bon, (+) = bon à très bon, + = bon, (+) = moyen à bon, 0 = moyen, - = mauvais, -- = très mauvais). L'évaluation globale, déduite à partir de l'exploitation durable, de l'éventail de cultures, de la capacité et de la sécurité de rendement et des conditions d'exploitation, ne suit pas une procédure stricte.

Classe d'aptitude (CA)	Désignation de la CA	Description de la CA	Exploitation durable et éventail de cultures	Évaluation globale	Capacité de rendement	Sécurité de rendement	Conditions d'exploitation
CA 1	Assolement sans restriction	Site possédant les meilleures caractéristiques, choix cultural sans restriction.	Toutes les cultures	++	++	++	++
CA 2	Assolement légèrement restreint	Site possédant de bonnes à très bonnes caractéristiques, choix cultural illimité avec une sécurité de rendement un peu plus faible et des conditions d'exploitation légèrement plus difficiles.	Toutes les cultures	(++)	++	+	+
CA 3	Assolement à prédominance de céréales	Site possédant de bonnes caractéristiques, sécurité de rendement parfois un peu réduite les années d'extrêmes climatiques, conditions culturales plus difficiles pour les cultures sarclées.	Grandes cultures en général	+	+	+	+
			Cultures fourragères en général	+	+	(+)	+
			Cultures céréalières	+	+	+	+
			Cultures sarclées	0	+	0	0
CA 4	Assolement à prédominance de céréales avec une sécurité de rendement réduite	Site dont certaines caractéristiques entraînent une limitation significative du rendement ou de l'exploitation. Cultures céréalières à privilégier.	Grandes cultures en général	0	0	0	0
			Cultures fourragères en général	0	0	0	+
			Cultures céréalières	0	0	0	0
			Cultures sarclées	-	-	-	-
CA 5	Assolement à prédominance de cultures fourragères	Site présentant de bonnes caractéristiques en termes de capacité de rendement, mais avec des limitations au niveau de l'exploitation. Cultures fourragères à privilégier.	Grandes cultures en général	-	+	+	-
			Cultures fourragères en général	+	+	+	0
			Cultures céréalières	0	+	+	-
			Cultures sarclées	--	+	+	--
CA 6	Assolement restreint, à prédominance de cultures fourragères	Site avec des caractéristiques très limitantes pour les cultures arables. Cultures fourragères à privilégier.	Grandes cultures en général	--	0	0	-
			Cultures fourragères en général	+	0	+	+
			Cultures céréalières	-	0	(+)	-
			Cultures sarclées	--	0	0	-
CA 7	Surface herbagère diversifiée	Sites se prêtant exclusivement à l'exploitation fourragère (prairies, pâturages) avec une sécurité de rendement suffisante.	Prairies	(+)	0	0	(+)
			Pâturages	(+)	0	0	+
CA 8	Prairies de fauche humides	Sites destinés uniquement à l'exploitation de prairies à faucher en raison de l'humidité du sol	Prairies	0	0	(+)	0
			Pâturages	-	0	(+)	-
CA 9	Surfaces herbagères extensives	Sites se prêtant à l'exploitation de prairies et de pâturages extensifs.	Prairies	-	-	0	(-)
			Pâturages	-	-	0	(-)
CA 10	Surface litière à très humide	Sites ne permettant que l'exploitation de prairies à litière.	Prairies	--	-	-	--
			Pâturages	--	-	-	--

4. Estimation

4.1 Déroutement de l'estimation

La première étape consiste à déterminer la limitation climatique de l'aptitude agricole pour un site donné (point 4.3). Pour cela, la carte des aptitudes climatiques (Jeanneret et Vautier, 1977) qui contient au total vingt zones pour la Suisse est utilisée. Ces 20 zones sont regroupées en quatre classes d'aptitudes climatiques se rapportant à la limitation climatique pour les cultures agricoles.

La deuxième étape consiste à évaluer successivement les différentes propriétés des sols et du terrain. Cette évaluation est effectuée à l'aide de tableaux dans lesquels ces propriétés sont présentées sous forme de classes et qui indiquent pour chacune d'elle une évaluation de la CA pour les quatre classes d'aptitudes climatiques (points 4.4-4.9). Ensuite, des interactions intervenant dans certains cas spéciaux sont également prises en compte à l'aide de tableaux (point 4.10).

La troisième étape consiste à déterminer, sur la base de toutes les précédentes étapes individuelles de l'estimation, la CA qui présente la plus grande limitation (cf. fig. 1 ; exemples au chapitre 5). C'est cette CA qui est la plus limitante et qui constituera la CA finale du site.

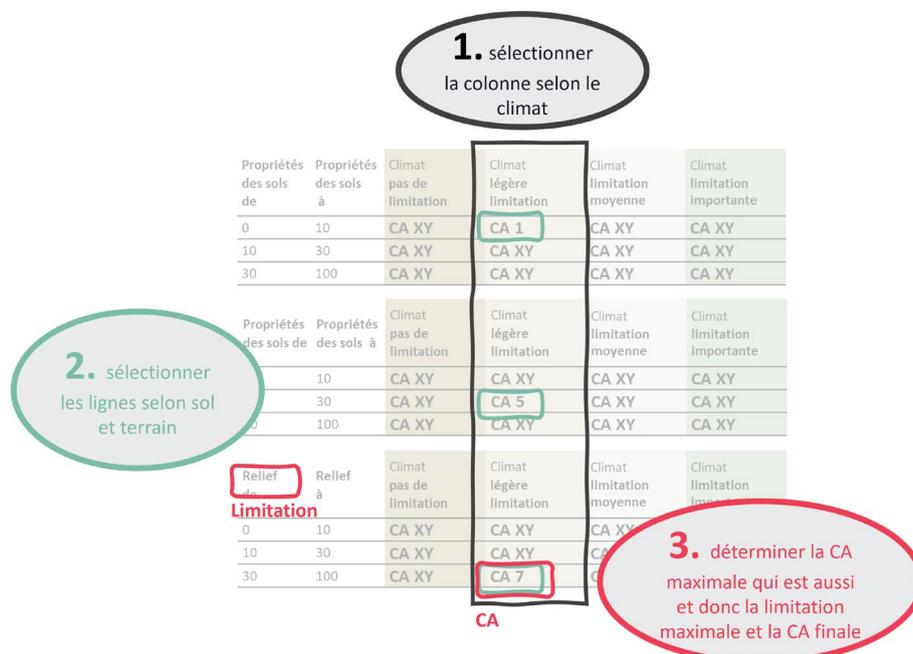


Figure 1 : Schéma d'estimation de la méthode CA 2023. Tous les tableaux illustrant les limitations contenues dans la méthode CA 2023 comprennent quatre colonnes reprenant les limitations climatiques liées aux sites. Pour chaque tableau, le croisement entre la limitation climatique (colonne) et la limitation liée aux propriétés pédologiques ou topographiques (ligne) caractéristiques au site considéré donne la CA spécifique correspondante. La CA la plus élevée est, parmi toutes les CA spécifiques obtenues dans les différents tableaux, la plus limitante et c'est elle qui doit être retenue en tant que CA finale. Le facteur limitant peut être également mentionné afin de faciliter la compréhension de l'évaluation CA.

4.2 Paramètres d'entrée nécessaires

Les paramètres d'entrée nécessaires pour déduire la CA comprennent des paramètres stationnels se rapportant au climat et au terrain, ainsi qu'aux différentes propriétés pédologiques de la couche supérieure et sous-jacente du sol (cf. Tableau 4). La présente méthode ne permet pas d'évaluer les sols qui ne possèdent pas de couche sous-jacente du sol (sols AC). La méthode CA 2023 peut être appliquée à des données surfaciques ou ponctuelles, ce qui signifie qu'un site peut être représenté par une surface (p. ex. un champ ou une unité de sol) ou par un point (p. ex. un profil ou un sondage).

La catégorisation du climat du site à évaluer doit être faite sur la base de la carte des aptitudes climatiques de l'OFAG de 1977 (Jeanneret et Vautier 1977).

Les propriétés pédologiques nécessaires à l'évaluation sont en général relevées lors de projets de cartographies des sols ou dans le cadre d'études pédologiques locales réalisées, p. ex., à l'occasion de remodelages de terrain, d'améliorations foncières ou de remises en culture. L'évaluation de la CA s'appuie sur diverses propriétés pédologiques de la couche supérieure et sous-jacente du sol (pierrosité, texture, teneur en matière organique et pH) ainsi que sur un paramètre se rapportant à l'ensemble du sol (sous-groupe de régime hydrique).

L'évaluation du terrain se base sur l'inclinaison et le type de pente. Ces paramètres peuvent être déterminés sur le terrain ou déduits à partir d'un modèle altimétrique, tel que le modèle numérique de terrain de swisstopo (Office fédéral de topographie swisstopo, 2021). Dans les méthodes CA utilisées jusqu'ici, le type de pente était évalué en cinq catégories (plat, régulièrement incliné, irrégulièrement incliné, convexe et concave). La refonte et le contrôle de la plausibilité de la méthode CA ont permis de simplifier la méthode d'évaluation en réduisant le nombre de formes du terrain à prendre en considération (Greiner et Petter 2023). Ainsi, la seule distinction retenue dans la méthode CA 2023 est celle entre une « pente irrégulière » et tous les autres types de pentes (plat, régulièrement incliné, convexe et concave).

Tableau 4. Paramètres d'entrée utilisés pour l'évaluation des classes d'aptitude (OB= couche supérieure du sol, UB= couche sous-jacente du sol).

	Paramètre	Unité	Source
Climat	Zone d'aptitude climatique	20 catégories	Carte des aptitudes climatiques (Jeanneret et Vautier, 1977)
Sol	Pierrosité (seulement OB)	% vol. (ensemble de l'échantillon)	Cartographie des sols
	Teneur en argile (OB/UB)	% (de la fraction minérale de la	
	Teneur en limon (OB/UB)	terre fine)	
	Teneur en matière organique (OB/UB)	% (de la fraction minérale de la	
	pH (seulement UB)	terre fine)	
	Groupe de régime hydrique (profil)	- 25 catégories	
Terrain	Inclinaison de pente	%	Cartographie des sols ou déduction (automatisée) à partir d'un modèle numérique de terrain
	Type « pente irrégulière »	Oui/non	

4.3 Limitation liée au climat

Le « climat » est défini comme « *la description statistique de l'ensemble des conditions météorologiques pour un lieu déterminé sur une période de plusieurs décennies.* » (National Center for Climate Services 2022). La croissance des végétaux dépend dans une large mesure du climat et notamment de facteurs tels que la répartition des quantités de précipitations, l'évolution de la température, l'ensoleillement et l'évaporation. Une durée de végétation réduite, la sécheresse, le gel ou un excès d'eau dans les sols peuvent limiter considérablement l'aptitude à l'exploitation agricole (Holzkämper et al. 2015).

Dans la méthode CA 2023, le climat est évalué au moyen de la carte des aptitudes climatiques (Jeanne- ret et Vautier 1977). Cette carte a été établie à l'aide de données sur le climat et sur les rendements relevés entre 1901 et 1974 et analyse en particulier l'aptitude climatique de différents sites pour les her- bages permanents, le blé et la pomme de terre de consommation (OFAG, 2012). La carte des aptitudes climatiques comprend une appréciation des conditions climatiques pour l'agriculture basée sur vingt catégories (« zones d'aptitude climatique »). Les vingt zones d'aptitudes climatiques sont regroupées en quatre classes d'aptitudes climatiques correspondant à différents niveaux de limitation (pas de limitation climatique, limitation climatique légère, limitation climatique moyenne, limitation climatique importante ; cf. fig. 2). Ces quatre classes déterminent si un site, du point de vue climatique, se prête en principe aux grandes cultures ou aux cultures fourragères ou s'il se trouve dans des zones de transition entre grandes cultures et cultures fourragères. Le classement d'un site dans l'une des quatre classes sert de base pour l'estimation des autres facteurs à évaluer (points 4.3-4.9). La meilleure classe d'aptitude CA 1 (assolement sans restriction) n'est possible qu'en l'absence de limitation climatique. En cas de limitation climatique légère, la meilleure évaluation possible est une CA 2 (assolement légèrement restreint), et ce, quelle que soit l'expression des autres facteurs pris en considération (Tableau 3). Avec une limitation moyenne à importante, les classes d'aptitudes maximales possibles sont CA 5 (assolement restreint, à prédominance de cultures fourragères) ou CA 6 (assolement fortement restreint, à prédominance de cultures fourragères).

Comme les précédentes versions, la méthode CA 2023 permet d'effectuer une évaluation pour la plu- part des zones d'aptitudes climatiques (cf. fig. 2) à l'exception de cinq zones pour lesquelles les bases d'évaluation disponibles et contrôlées par des spécialistes ne sont pas encore suffisantes. Il s'agit des zones A1 et B1 (période de végétation très longue et très sèche), A6 et B6 (régime pluviométrique très déséquilibré et période de végétation très longue) et G (sites avec une période de végétation de moins de 100 jours). Les sites situés dans ces zones d'aptitudes climatiques ne peuvent donc pas être évalués.

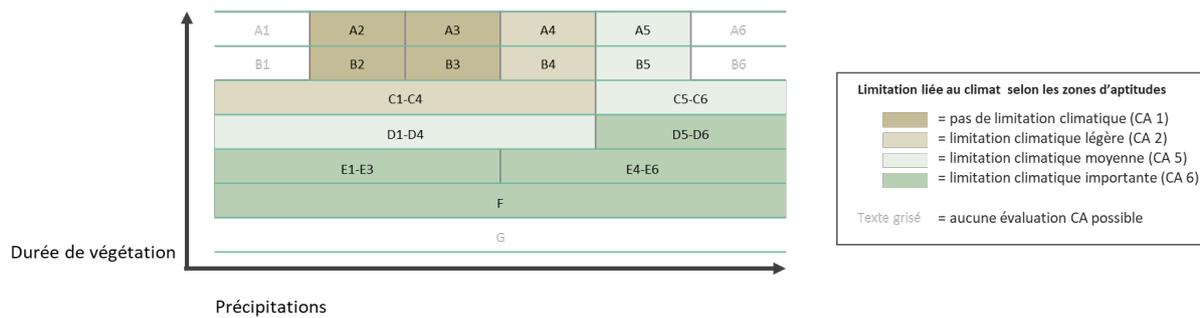


Figure 2 : Limitations liées au climat selon les 20 zones de la carte des aptitudes climatiques (Jeanneret et Vautier, 1977). Les zones d'aptitudes climatiques reflètent essentiellement le régime pluviométrique et la période de végétation. Ces deux paramètres sont décrits par des abréviations alphanumériques dont certaines forment des groupes réunis en zones d'aptitudes climatiques (p. ex. « C1-4 » ou « C5-6 » forment chacun une zone distincte). Les vingt zones d'aptitudes climatiques existantes sont les suivantes : A1, A2, A3, A4, A5, A6, B1, B2, B3, B4, B5, B6, C1-4, C5-6, D1-4, D5-6, E1-3, E4-6, F, G.

4.4 Limitation liée au régime hydrique du sol

Le régime hydrique du sol est d'une importance capitale pour l'aptitude à l'exploitation agricole. Des processus tels que le stockage d'eau utilisable par les plantes, l'évaporation à la surface du sol, l'infiltration et le transport de l'eau dans les couches profondes sont déterminés dans une large mesure par la profondeur et la perméabilité du sol (Bohne 2005). Un sol suffisamment profond et normalement perméable offre en principe de bonnes conditions pour un approvisionnement en eau suffisant des cultures. Dans ce genre de sol, une grande partie des précipitations sont stockées sous une forme utilisable par les plantes, alors que dans un sol très superficiel, l'approvisionnement en eau ne suffira pas pour toutes les cultures. Non seulement le manque, mais aussi un excès d'eau peut restreindre l'aptitude à l'exploitation agricole. C'est le cas, par exemple, lorsque que le sol est saturé en eau près de sa surface régulièrement. Dans ce cas, les racines des plantes sont trop souvent saturées d'eau et donc exposées à des conditions d'hydromorphie qui ont des effets très préjudiciables aussi bien sur la croissance des racines que sur les cultures et l'activité biologique du sol. De telles conditions peuvent se rencontrer en particulier par temps humide dans des sols à nappes perchées. En revanche, les années sèches, l'eau contenue dans les sols influencés par une nappe peut avoir un effet positif sur l'approvisionnement en eau des plantes. Le régime hydrique exerce également une influence sur les possibilités de travail du sol qui sont fortement restreintes par temps humide (Wendling 2022). Ces aspects ont été pris en considération dans les limitations de l'aptitude à l'exploitation liées au régime hydrique des sols.

Pour l'estimation du régime hydrique, la méthode CA 2023 fait appel au paramètre taxonomique du « sous-groupe de régime hydrique » selon le manuel de cartographie de la FAL (Brunner et al. 1997). Le sous-groupe de régime hydrique associe la profondeur utile (pnG, divisée en sept classes allant d'extrêmement profond à très superficiel) aux trois sous-types se rapportant au genre et au degré d'hydromorphie d'un sol : sols hydromorphes à nappe perchée (I) ; sols hydromorphes à nappe de bas-fond ou de pente avec nappe permanente à battement (G) ou avec nappe permanente stable (R). Au total, il existe 25 sous-groupes de régime hydrique abrégés par les lettres de l'alphabet (sans le « j ») (cf. Tableau 5).

Tableau 5. Description des sous-groupes de régime hydrique des sols selon Brunner et al. (1997). Au total, il existe 25 sous-groupes de régime hydrique abrégés par les lettres de l'alphabet (sans le « j »). Pour les sous-types, les expressions caractéristiques sont marquées en gras, les autres expressions possibles étant indiquées en caractères normaux.

Sous-groupes de régime hydrique

Classes de régime hydrique	Groupes de régime hydrique	Sous-types (genre et degré d'hydromorphie)	extrêmement et très profond (>100 cm)	profond (>70 cm)	modérément profond (>50 cm)	assez superficiel (>30 cm)	superficiel (>10 cm)	très superficiel (< 10 cm)
Sols percolés	normalement perméables	I1, G1, G2, -	a	b	c	d	e	e
	influence de la nappe perchée temporaire	I2	f	f	g	h	i	i
	influence de la nappe de bas-fond ou d'inclinaison de pente	G3, R1	k	k	l	m	n	n
Sols hydromorphes à nappe perchée	rarement engorgés jusqu'en surface	I3, I4	-	o	o	p	p	-
	souvent engorgés jusqu'en surface	I4	-	-	-	q	r	r
Sols hydromorphes à nappe permanente de bas-fond ou d'inclinaison de pente	rarement engorgés jusqu'en surface	R2, R1, G4, G5	-	s	t	u	u	-
	souvent engorgés jusqu'en surface	R3, R2, G5, G6, G4	-	-	v	w	w	-
	la plupart du temps engorgés jusqu'en surface	G5, G6, R4, R2, R3	-	-	-	x	y	y
	sols en permanence engorgés jusqu'en surface	R5, R4	-	-	-	-	-	z

Dans les sols profonds à très profonds perméables ou influencés par une nappe de bas-fond ou d'inclinaison de pente (sous-groupes de régime hydrique a, b et k), l'aptitude à l'exploitation agricole ne connaît aucune restriction culturale (Tableau 6). D'une manière générale, celle-ci est d'autant plus limitée que le sol est superficiel et que sa couche supérieure est souvent engorgée d'eau. Il existe toutefois quelques exceptions. Ainsi, les sols superficiels influencés par une nappe de bas-fond ou d'inclinaison de pente (sous-groupe de régime hydrique n) obtiennent une meilleure CA que les sols superficiels normalement perméables (sous-groupe de régime hydrique e). Dans ce cas, le classement tient compte d'un effet positif de l'eau supplémentaire disponible en période de sécheresse.

La CA la plus mauvaise (CA 10 : surface à litière très humide) est attribuée aux sols qui sont la plupart du temps ou en permanence engorgés jusqu'à la surface. L'évaluation en CA 10 n'est possible que par la limitation due au régime hydrique.

Tableau 6. Limitations liées aux sous-groupes de régime hydrique

Sous-groupes de régime hydrique	Climat pas de limitation (A2, A3, B2, B3)	Climat légère limitation (A4, B4, C1-4)	Climat limitation moyenne (A5, B5, C5-6, D1-4)	Climat limitation impor- tante (D5-6, E1-3, E4-6, F)
a, b, k	CA 1	CA 2	CA 5	CA 6
c	CA 3	CA 3	CA 5	CA 6
d	CA 4	CA 7	CA 7	CA 7
e	CA 9	CA 9	CA 9	CA 9
f	CA 3	CA 3	CA 5	CA 6
g	CA 4	CA 3	CA 5	CA 6
h	CA 4	CA 7	CA 7	CA 7
i	CA 9	CA 9	CA 9	CA 9
l	CA 2	CA 2	CA 5	CA 6
m	CA 4	CA 6	CA 6	CA 7
n	CA 7	CA 7	CA 7	CA 7
o	CA 4	CA 6	CA 6	CA 7
p, q	CA 7	CA 7	CA 7	CA 7
r	CA 9	CA 9	CA 9	CA 9
s, t	CA 5	CA 5	CA 5	CA 7
u	CA 7	CA 7	CA 7	CA 7
v, w	CA 8	CA 8	CA 8	CA 8
x, y, z	CA 10	CA 10	CA 10	CA 10

4.5 Limitation liée à la pierrosité du sol

La pierrosité désigne les parties minérales du sol d'une taille supérieure à 2 mm. Elle comprend les graviers (2–20 mm), les pierres (20–50 mm) et les blocs (>50 mm). La pierrosité a une influence sur des paramètres importants comme le régime hydrique, l'équilibre nutritif et le bilan thermique du sol ainsi que sur la conductivité hydraulique et le risque de compaction. Une forte pierrosité limite l'exploitation agricole principalement de deux manières. D'une part, un taux de pierre élevé dans la couche supérieure du sol accélère l'usure des machines et restreint ainsi le travail mécanique du sol. D'autre part,

lorsqu'elle atteint un certain taux, la pierrosité perturbe la croissance des racines et limite ainsi l'assimilation des éléments nutritifs et de l'eau du sol.

Dans la méthode CA 2023, la pierrosité est considérée comme non limitante jusqu'à un taux de 10 % en volume dans la couche supérieure du sol. Avec une pierrosité de 10 à 20 % vol., le meilleur classement possible est une CA 3 (assolement à prédominance de céréales), les cultures sarclées sont ici déjà plus difficiles. Au-delà de 20 % vol., les cultures sarclées sont très difficiles et les cultures céréalières difficiles. Le classement sera au mieux une CA 4 (assolement à prédominance de céréales avec une sécurité de rendement réduite).

Dans les terrains très pierreux, les exploitants s'efforcent souvent d'adapter leur méthode de travail du sol de manière à éviter de faire remonter les cailloux du sous-sol. Certains ont aussi recours au broyage mécanique des pierres, mais cette pratique est très coûteuse et reste peu répandue, elle est même interdite pour certaines utilisations du sol (Wendling et al. 2022).

Tableau 7. Limitations liées à la pierrosité de la couche supérieure du sol (CA = classe d'aptitude ; OB = couche supérieure du sol)

Pierrosité (% vol.) OB ≥	Pierrosité (% vol.) OB <	Climat pas de limitation (A2, A3, B2, B3)	Climat légère limitation (A4, B4, C1-4)	Climat limitation moyenne (A5, B5, C5-6, D1-4)	Climat limitation importante (D5-6, E1-3, E4-6, F)
0	10	CA 1	CA 2	CA 5	CA 6
10	20	CA 3	CA 3	CA 5	CA 6
20	30	CA 4	CA 6	CA 6	CA 6
30	50	CA 6	CA 6	CA 6	CA 6
50	100 ¹	CA 7	CA 7	CA 7	CA 7

¹ La dernière plage de valeurs inclut 100 % (« ≤ 100 % »).

4.6 Limitation liée à la texture du sol

La texture du sol décrit la distribution granulométrique des particules minérales de la terre fine d'une taille inférieure à 2 mm. Par mesure de simplification, celles-ci sont réparties en trois classes de grandeur : l'argile (< 2 µm), les limons (2–50 µm) et les sables (50–2000 µm). La texture a une influence sur le régime hydrique, l'aération et l'équilibre nutritif ainsi que sur le travail du sol et sa sensibilité à l'érosion et à la compaction. Elle joue donc un rôle important dans l'aptitude d'un site à l'exploitation agricole.

En principe, plus la granulométrie du sol est homogène, moins elle est favorable au régime hydrique, à l'aération et à l'équilibre nutritif, ce qui limite son aptitude agricole. Un sol à forte teneur en argile ou en sable présente en général une proportion réduite de pores moyens et par conséquent une moins bonne capacité de stockage d'eau utilisable par les plantes qu'un sol à forte teneur en limon. Son régime hydrique est ainsi moins favorable à la croissance des végétaux. Si les teneurs en argile sont très élevées, l'aération peut constituer une restriction supplémentaire à la croissance des plantes. Les sols très argileux sont en outre difficiles à travailler, ce qui limite également leur aptitude agricole (Schwab 2022a, Wendling et al. 2022). Des teneurs en sable élevées réduisent la disponibilité en eau et la capacité de rétention des éléments nutritifs. Quant aux sols très limoneux, ils se distinguent par une bonne

disponibilité en eau, mais sont plus sujets à l'érosion et à la battance en surface. Les sols très sableux peuvent aussi présenter un risque accru d'érosion, car leur structure est peu développée.

La méthode CA 2023 tient compte de ces corrélations. Les loam sableux (teneur en argile 15-20 %, teneur en limon 0-50 %) et les loams (teneur en argile 20-30 %, teneur en limon 0-50 %) ne sont plus considérés comme des facteurs limitants de la croissance des plantes (Tableau 8). En revanche, les classes de texture avec des pourcentages assez hauts d'argile, de limon ou de sable sont jugées limitatives pour l'aptitude agricole, l'effet le plus limitant étant imputé au sable, suivi de l'argile et du limon.

Tableau 8. Limitations liées à la texture de la couche supérieure du sol (CA = classes d'aptitude, OB = couche supérieure du sol)

Classes de texture	Argile (%)	Argile (%)	Limon (%)	Limon (%)	Sable (%)	Sable (%)	Climat pas de limitation	Climat de légère limitation	Climat limitation moyenne	Climat limitation importante
	OB ≥	OB <	OB ≥	OB <	OB ≥	OB <	(A2, A3, B2, B3)	(A4, B4, C1-4)	(A5, B5, C5-6, D1-4)	(D5-6, E1-3, E4-6, F)
Loam sableux	15	20	0	50	30	85	CA 1	CA 2	CA 5	CA 6
Loam	20	30	0	50	20	80	CA 1	CA 2	CA 5	CA 6
Limon loameux	10	30	50	100 ¹	0	40	CA 2	CA 3	CA 6	CA 6
Sable très loameux	10	15	0	50	35	90	CA 2	CA 4	CA 5	CA 6
Loam argileux	30	40	0	50	10	70	CA 3	CA 3	CA 6	CA 6
Sable loameux	5	10	0	50	40	95	CA 4	CA 4	CA 5	CA 6
Limon sableux	0	10	50	70	20	50	CA 4	CA 5	CA 6	CA 6
Limon	0	10	70	100 ¹	0	30	CA 4	CA 5	CA 6	CA 6
Sable limoneux	0	5	15	50	35	85	CA 4	CA 6	CA 6	CA 7
Limon argileux	30	50	50	100 ¹	0	20	CA 4	CA 6	CA 7	CA 7
Argile loameux	40	50	0	50	0	60	CA 4	CA 6	CA 7	CA 7
Argile	50	100 ¹	0	50	0	50	CA 4	CA 7	CA 7	CA 7
Sable	0	5	0	15	20	100 ¹	CA 9	CA 6	CA 6	CA 7

¹ La dernière plage de valeurs inclut 100 % (« ≤ 100 % »).

4.7 Limitation liée à la teneur en matière organique du sol

La matière organique désigne l'ensemble des matières organiques mortes présentes dans le sol. La teneur en matière organique (%) joue un rôle essentiel dans pratiquement tous les processus et toutes les fonctions du sol. Dans l'agriculture, il s'agit surtout du stockage des éléments nutritifs et de l'eau, de la filtration des polluants et de la mise à disposition de nourriture pour les organismes du sol. La matière organique améliore, en outre, la structure du sol et réduit le risque d'érosion et de compaction. Elle a également une influence sur la couleur du sol : plus la teneur en matière organique est élevée, plus celui-ci est foncé. Un sol à la surface foncée se réchauffe plus rapidement au printemps et favorise ainsi la germination des plantes (Wendling et al. 2022).

Dans les sols minéraux, dont les teneurs en matière organique se situent en général entre 2 et 10 % selon le type d'utilisation, une teneur plus élevée favorise la croissance des végétaux. Des teneurs en matière organique très élevées (>30 %) limitent toutefois l'aptitude agricole. Celles-ci ne sont atteintes que dans les conditions d'engorgement des marais dans lesquels le milieu anoxique freine la décomposition et la minéralisation de la matière organique. Les conditions du sol changent toutefois considérablement lorsqu'un marais est drainé. La matière organique, auparavant protégée de la décomposition, y est rapidement dégradée et rejetée dans l'atmosphère sous forme de CO₂ (Leifeld et al. 2019). Un sol organique ainsi drainé constitue un site très productif pendant une période limitée. Mais en raison de la dégradation en CO₂ et du tassement de l'ordre de quelques millimètres à un centimètre par an qu'elle entraîne, le critère d'une exploitation à long terme avec une sécurité durable de rendement n'est pas rempli.

Dans la méthode CA 2023, la matière organique n'entraîne aucune limitation de l'aptitude agricole à long terme jusqu'à une teneur de 10 % dans la couche supérieure du sol, respectivement de 30% dans la couche sous-jacente du sol (Tableau 9). En revanche, les sols très riches en matière organique (plus de 30 %) sont considérés comme limités dans leur aptitude agricole, principalement en raison du fait qu'une exploitation intensive de sols organiques par l'agriculture n'est pas durable à long terme. Dans la méthode CA 2023, les teneurs très basses en matière organique ne sont pas considérées comme une limitation.

Tableau 9. Limitations liées à la teneur en matière organique (%) des sols. (CA = classes d'aptitude, OB = couche supérieure du sol, UB = couche sous-jacente du sol)

Teneur en matière organique (%) OB ≥	Teneur en matière organique (%) OB <	Teneur en matière organique (%) UB ≥	Teneur en matière organique (%) UB <	Climat pas de limitation (A2, A3, B2, B3)	Climat légère limitation (A4, B4, C1-4)	Climat limitation moyenne (A5, B5, C5-6, D1-4)	Climat limitation importante (D5-6, E1-3, E4-6, F)
0	10	0	30	CA 1	CA 2	CA 5	CA 6
0	10	30	100 ¹	CA 6	CA 6	CA 6	CA 6
10	30	0	30	CA 6	CA 6	CA 6	CA 6
10	30	30	100 ¹	CA 6	CA 6	CA 7	CA 7
30	100 ¹	0	30	CA 6	CA 6	CA 7	CA 7
30	100 ¹	30	100 ¹	CA 7	CA 7	CA 7	CA 7

¹ La dernière plage de valeurs inclut 100 % (« ≤ 100 % »).

4.8 Limitation liée au pH du sol

Le pH du sol est une mesure de l'activité chimique des ions H⁺ dans la solution du sol. Le pH a une influence sur la disponibilité pour les plantes de certains éléments nutritifs, dont en particulier le phosphore, le magnésium et la plupart des oligoéléments (Flisch et al. 2017). Il a aussi un effet sur le comportement des polluants dans le sol et sur la capacité de ce dernier à servir d'habitat aux organismes du sol. Un pH bas (= sol acide) limite l'aptitude agricole pour plusieurs raisons. Suivant le pouvoir tampon du sol, l'acidification entraîne une augmentation de la part d'ions H⁺ et Al³ impliqués dans la capacité d'échange cationique effective. Ainsi, la part d'éléments nutritifs essentiels aux plantes risquent de dimi-

nuer, alors que la croissance des racines des plantes plus sensibles risque d'être perturbée par la toxicité de l'aluminium (Scheffer et al. 2010). L'acidification s'accompagne en outre d'une diminution de l'activité biologique.

Dans la méthode CA 2023, le pH est considéré comme un facteur limitant de l'aptitude agricole lorsque sa valeur est inférieure à 5,1 dans la couche sous-jacente du sol (Tableau 10). Cette limitation ne s'applique toutefois qu'en l'absence de limitation climatique. Si l'aptitude agricole du site en question est restreinte en raison du climat, le pH n'entraîne pas de limitation supplémentaire.

Tableau 10. Limitations liées au pH (CaCl₂) des sols (CA = classe d'aptitude, OB = couche supérieure du sol, UB couche sous-jacente du sol)

pH OB ≥	pH UB <	Climat pas de limitation (A2, A3, B2, B3)	Climat légère limitation (A4, B4, C1-4)	Climat limitation moyenne (A5, B5, C5-6, D1-4)	Climat limitation importante (D5-6, E1-3, E4-6, F)
5.1	14	CA 1	CA 2	CA 5	CA 6
0	5.1	CA 2	CA 2	CA 5	CA 6

Les valeurs de pH basses dans la couche supérieure et les valeurs de pH basiques sont exclues de l'évaluation du pH. On part du principe que les valeurs de pH basses dans la couche supérieure du sol peuvent être influencées plus facilement par l'exploitation que les valeurs de pH basses dans la couche sous-jacente du sol. L'évaluation de la limitation de l'aptitude à l'exploitation agricole des sols (fortement) basiques n'est pas prise en compte dans la méthode CA 2023.

4.9 Limitation liée au terrain

La configuration du terrain en un point donné ou pour une surface peut être décrite approximativement par l'inclinaison et le type de pente. La pente est la première donnée déduite du modèle numérique de terrain. Le type de pente caractérise, quant à lui, la forme de la surface et indique, par exemple, si un versant est plat, convexe, concave, régulièrement ou irrégulièrement incliné. Une augmentation de la pente limite les possibilités de mécanisation des cultures (Estler et Pfahler 1985). Elle accroît, en outre, le risque d'érosion restreignant ainsi les possibilités d'exploitation intensive de grandes cultures et de certaines cultures spécifiques (Prasuhn et al. 2022; Wendling et al. 2022). Tout comme l'inclinaison la pente, le type de pente peut aussi limiter l'exploitation agricole. Par exemple, le travail risque d'être beaucoup plus difficile dans des terrains irrégulièrement inclinés que dans des pentes régulières.

Les estimations de la limitation de la mécanisation causée par la pente documentées dans le manuel de cartographie de la FAL (Brunner et al. 1997), qui sont basées sur les travaux d'Estler et Pfahler (1985), ont été reprises dans la méthode CA 2023 (Tableau 10) après que leurs utilités actuelles aient été vérifiées par Wendling et al. (2022). Dans la CA 2023, une pente inférieure à 10 % est considérée comme non limitative. Pour les cultures sarclées et les céréales, l'utilisation de machines est jugée plus difficile avec une pente de 10 à 15 % ; pour les cultures fourragères, elle est considérée comme plus difficile avec une pente de 15 à 25 % et beaucoup plus difficile au-delà de 25 %. Il est généralement admis que l'utilisation de tracteurs n'est plus possible avec des pentes supérieures à 35 %.

Des limitations liées aux types de pentes ont aussi été intégrées dans la méthode CA 2023. Cette dernière a toutefois été simplifiée par rapport aux précédentes méthodes et ne fait désormais plus qu'une seule distinction entre pente irrégulière et tous les autres types de pente (plat, convexe, concave et régulièrement incliné). Sont qualifiés d'irrégulièrement inclinés les sites qui, dans le périmètre ou la surface considérée, présentent plusieurs types de pente. Le paramètre du type de pente a une influence sur l'évaluation dans la plage de déclivité de 15-25 % (Tableau 11). Dans cette plage, une pente irrégulière est considérée comme un frein supplémentaire à l'utilisation des machines et l'aptitude à l'exploitation y est limitée en conséquence. Pour les pentes non irrégulières comprises entre 15-20 % et 20-25 %, les limitations sont jugées de moindre importance.

Tableau 11. Limitations liées au terrain (CA = classe d'aptitude). L'indice « irrégulier » n'est pertinent que pour les pentes de 15 à 25 %.

Pente (%) ≥	Pente (%) <	Type de pente « irrégulier »	Climat pas de limitation (A2, A3, B2, B3)	Climat légère limitation (A4, B4, C1-4)	Climat limitation moyenne (A5, B5, C5-6, D1-4)	Climat limitation importante (D5-6, E1-3, E4-6, F)
0	10	oui/non	CA 1	CA 2	CA 5	CA 6
10	15	oui/non	CA 2	CA 2	CA 5	CA 6
15	25	non	CA 4	CA 5	CA 5	CA 6
15	25	oui	CA 6	CA 6	CA 6	CA 6
25	35	oui/non	CA 7	CA 7	CA 7	CA 7
35	100 ¹	oui/non	CA 9	CA 9	CA 9	CA 9

¹ La dernière plage de valeurs inclut 100 % (« ≤ 100 % »).

4.10 Limitations supplémentaires dans des cas spéciaux

Dans quelques cas, les interactions entre le climat et certaines propriétés des sols et du site peuvent entraîner une limitation plus importante lorsqu'elles s'additionnent que lorsque les facteurs limitants sont considérés individuellement. Ces interactions sont prises en compte comme des cas spéciaux dans la méthode CA 2023 (Tableaux 11-12). Ceux-ci sont documentés ci-après.

– Cas spécial 1 : Limitation liée à des interactions entre le climat, le régime hydrique et le terrain

Une pente importante et irrégulière associée à des conditions de sol humide rend l'utilisation des machines beaucoup plus difficile. Le cas particulier 1 tient compte de cette limitation (Tableau12). Ces restrictions se rencontrent dans des sites ayant une forte pente (déclivité de 15 à 25%) avec des sols potentiellement engorgés sous l'influence d'une nappe de bas-fond ou de pente ou d'une nappe perchée. La limitation de l'engagement des machines est encore plus forte si la pente est irrégulière. La limitation du cas spécial 1 entraîne un déplacement de l'évaluation de l'aptitude agricole de ces sites vers l'exploitation fourragère.

Tableau 12. Cas spécial de limitation 1 : Climat, sous-groupe de régime hydrique (WHUG) et pente. Une cellule vide dans le tableau signifie que l'interaction liée à cette combinaison de propriétés entre climat, sol et terrain n'entraîne pas de limitation supplémentaire par rapport aux évaluations individuelles.

Groupe de régime hydrique	Pente (%) ≥	Pente (%) <	Type de pente « irrégulier »	Climat pas de limitation	Climat légère limitation	Climat limitation moyenne	Climat limitation importante
				(A2, A3, B2, B3)	(A4, B4, C1-4)	(A5, B5, C5-6, D1-4)	(D5-6, E1-3, E4-6, F)
f, g, k, l	15	20	non	-	-	CA 7	CA 7
o	15	20	non	-	CA 6	CA 7	CA 7
s, t	15	20	non	CA 5	-	CA 7	CA 7
m	15	25	non	-	CA 6	CA 7	CA 7
f	20	25	non	CA 5	-	CA 7	CA 7
g	20	25	non	-	CA 6	CA 7	CA 7
k, l	20	25	non	CA 5	CA 6	CA 7	CA 7
d, h	20	25	oui/non	CA 7	CA 7	CA 7	CA 7
o, s, t	20	25	oui/non	CA 6	CA 6	CA 7	CA 7
f, g, k, l, m	15	25	oui	-	-	CA 7	-

– Cas spécial 2 : Limitation liée à des interactions entre le climat, le régime hydrique, le terrain et la texture de la couche sous-jacente du sol

Les sols sableux ont souvent une faible teneur en matière organique. Leur structure est généralement peu développée et ils sont plus sujets à la sécheresse estivale, à la battance et à l'érosion. Les restrictions des sols sableux sont déjà prises en considération par la limitation « texture » dans la couche supérieure du sol (point 4.6). Le cas spécial 2, quant à lui, tient compte d'interactions supplémentaires qui se produisent dans des sols normalement perméables (sous-groupe de régime hydrique c/d ; cf. Tableau 5) d'une profondeur utile de 30 à 70 cm dont la couche sous-jacente est très sableuse (teneur en sable de 40 à 100 %). Il peut s'agir par exemple de sols sur gravier ou sur moraines graveleuses. Dans de tels sols, la capacité de rétention en eau de la couche sous-jacente et, par conséquent, la persistance de l'eau dans le sol, est encore plus réduite. Lorsque ces conditions sont combinées avec d'autres facteurs comme la déclivité et le type de pente, les risques d'une limitation causée par la sécheresse estivale, l'érosion ou la battance peuvent s'accroître. Certaines combinaisons de ces facteurs entraînent ainsi une limitation encore plus importante de l'aptitude agricole du site que si un seul de ces facteurs était présent (Schwab 2021, 2022a, 2022b).

Pour les sols normalement perméables d'une profondeur utile de 50 à 70 cm (sous-groupe de régime hydrique c) dans des sites en faible pente (<=20%), la présence d'une couche sous-jacente sableuse n'entraîne une limitation supplémentaire de l'aptitude agricole qu'en l'absence de limitation climatique (Tableau 13). Dans ce cas, c'est le facteur reposant sur une capacité réduite de rétention en eau associée à une sécheresse estivale qui est déterminant pour la limitation. Dans les trois autres cas (pente >20%), c'est surtout le risque de battance et d'érosion qui, en présence d'une couche sous-jacente sableuse, augmente plus fortement par rapport à une évaluation réalisée avec les facteurs pris individuellement (Schwab 2022a).

Tableau 13. Cas spécial de limitation 2 : Sous-groupe de régime hydrique, pente et texture de la couche sous-jacente du sol (UB). Une cellule vide dans le tableau signifie que l'interaction liée à cette combinaison de propriétés du climat, du sol et du terrain n'entraîne pas de limitation supplémentaire.

Groupe de régime hydrique	Pente (%) \geq	Pente (%) $<$	Type de pente « irrégulier »	Argile (%) UB \geq	Argile (%) UB $<$	Limon (%) UB \geq	Limon (%) UB $<$	Sable (%) UB \geq	Sable (%) UB \leq	Climat	Climat	Climat	Climat
										pas de limitation (A2, A3, B2, B3)	légère limitation (A4, B4, C1-4)	limitation moyenne (A5, B5, C5-6, D1-4)	limitation importante (D5-6, E1-3, E4-6, F)
c	0	20	oui/non	0	10	0	50	40	100	CA 4	-	-	-
c	20	25	non	0	10	0	50	40	100	-	CA 7	CA 7	CA 7
c	20	25	oui	0	10	0	50	40	100	CA 7	CA 7	CA 7	-
d	20	35	oui/non	0	10	0	50	40	100	CA 9	-	-	-

4.11 Résumé de la méthode CA 2023

Étape 1 : sélectionner la colonne selon le climat

	Climat pas de limitation	Climat légère limitation	Climat limitation moyenne	Climat limitation importante
Zone de répartition climatique	01-03, 05, 09	04, 06, 07, 08	02, 04, 06, 08, 10, 11	05, 07, 09, 10, 11
Classe d'aptitude	CA 1	CA 2	CA 5	CA 6

Sous-groupe de régime hydrique

a, b, k	CA 1	CA 2	CA 5	CA 6
c	CA 3	CA 3	CA 5	CA 6
d	CA 4	CA 7	CA 7	CA 7
e	CA 9	CA 9	CA 9	CA 9
f	CA 3	CA 3	CA 5	CA 6
g	CA 4	CA 3	CA 5	CA 6
h	CA 4	CA 7	CA 7	CA 7
i	CA 9	CA 9	CA 9	CA 9
l	CA 2	CA 2	CA 5	CA 6
m	CA 4	CA 6	CA 6	CA 7
n	CA 7	CA 7	CA 7	CA 7
o	CA 4	CA 6	CA 6	CA 7
p, q	CA 7	CA 7	CA 7	CA 7
r	CA 9	CA 9	CA 9	CA 9
s, t	CA 5	CA 5	CA 5	CA 7
u	CA 7	CA 7	CA 7	CA 7
v, w	CA 5	CA 6	CA 6	CA 6
x, y, z	CA 10	CA 10	CA 10	CA 10

Figure 3 : Vue d'ensemble de la méthode CA 2023. Dans la CA 2023, tous les tableaux de limitations comprennent quatre colonnes reprenant les limitations climatiques liées au site considéré.

Étape 2 : sélectionner les lignes selon les caractéristiques du sol, du terrain et évent. les cas spéciaux 1 et 2

Pierrosité OB

	0	10	20	30	50	100
0	CA 1	CA 2	CA 5	CA 6		
10	CA 3	CA 3	CA 5	CA 6		
20	CA 4	CA 6	CA 6	CA 6		
30	CA 6	CA 6	CA 6	CA 6		
50	CA 7	CA 7	CA 7	CA 7		
100	CA 7	CA 7	CA 7	CA 7		

Texture OB

	Argile de 15 à 20	Argile à 20	Limon de 0 à 50	Limon à 50				
Loam sableux	15	20	0	50	CA 1	CA 2	CA 5	CA 6
Loam	20	30	0	50	CA 1	CA 2	CA 5	CA 6
Limon loameux	10	30	50	100	CA 2	CA 2	CA 6	CA 6
Sable très loameux	10	15	0	50	CA 2	CA 4	CA 5	CA 6
Loam argileux	30	40	0	50	CA 3	CA 3	CA 6	CA 6
Sable loameux	5	10	0	50	CA 4	CA 4	CA 5	CA 6
Limon sableux	0	10	50	70	CA 4	CA 5	CA 6	CA 6
Limon	0	10	70	100	CA 4	CA 5	CA 6	CA 6
Sable limoneux	0	5	15	50	CA 4	CA 6	CA 6	CA 7
Limon argileux	30	50	50	100	CA 4	CA 6	CA 7	CA 7
Argile limoneux	40	50	0	50	CA 4	CA 6	CA 7	CA 7
Argile	50	100	0	50	CA 4	CA 7	CA 7	CA 7
Sable	0	5	0	15	CA 9	CA 6	CA 6	CA 7

Matière org.

	OB de 0 à 10	OB de 10 à 30	UB de 30 à 100	UB de 100
0	CA 1	CA 2	CA 5	CA 6
10	CA 6	CA 6	CA 6	CA 6
30	CA 6	CA 6	CA 6	CA 6
100	CA 7	CA 7	CA 7	CA 7

pH

	OB de 5,1 à 1	OB de 1 à 5,1	UB de 5,1 à 14	UB de 14
5,1	CA 1	CA 2	CA 5	CA 6
1	CA 2	CA 2	CA 5	CA 6

Terrain

	Pente de 0 à 10	Pente à 10	Irégulière égale	Irégulière non
0	CA 1	CA 2	CA 5	CA 6
10	CA 2	CA 2	CA 5	CA 6
15	CA 3	CA 3	CA 5	CA 6
20	CA 5	CA 5	CA 5	CA 6
15	CA 6	CA 6	CA 6	CA 7
25	CA 7	CA 7	CA 7	CA 7
35	CA 9	CA 9	CA 9	CA 9

Cas spécial 1

	WHS f, g, k, l	Pente de 15 à 20	Pente à 20	Irégulière non
o	-	-	CA 7	CA 7
s, t	CA 5	-	CA 7	CA 7
m	-	CA 6	CA 7	CA 7
f	CA 5	-	CA 7	CA 7
g	-	CA 6	CA 7	CA 7
k, l	CA 5	CA 6	CA 7	CA 7
d, h	CA 7	CA 7	CA 7	CA 7
o, s, t	CA 6	CA 6	CA 7	CA 7
f, g, k, l, m	CA 6	-	CA 7	-

Cas spécial 2

	WHS c	Pente de 20 à 25	Pente à 25	Irégulière oui/non	Argile UB de 0 à 10	Argile UB à 10	Limon UB de 0 à 50	Limon UB à 50
c	-	-	-	-	CA 4	-	-	-
c	-	CA 7	CA 7	CA 7	CA 7	CA 7	CA 7	-
d	-	CA 9	-	-	CA 9	-	-	-

Étape 3 : déterminer la CA maximale qui est aussi et donc la limitation maximale et la CA finale

CA = max. (CA régime hydrique, CA pierrosité, CA texture, CA mat. organique, CA pH, CA terrain, CA cas spécial 1, CA cas spécial 2)

5. Trois exemples de détermination de la classe d'aptitude

L'application de la méthode CA 2023 est présentée ci-après à l'aide de trois exemples tirés de sites du réseau de mesure de l'Observatoire national des sols (NABO) (cf. tableaux 13 à 15). Dans les trois cas, chaque facteur limitant (climat, régime hydrique, pierrosité, texture, teneur en matière organique, pH, terrain et cas spéciaux) fait l'objet d'une évaluation spécifique, la limitation la plus élevée étant ensuite retenue comme l'estimation finale de la CA du site.

Le premier sol est un sol brun lessivé situé dans le canton d'Argovie. D'une manière générale, il se prête très bien à tous les types de cultures, mais sa teneur élevée en limon dans la couche supérieure accroît le risque d'érosion et de battance. C'est la raison pour laquelle il a été évalué « CA 2 » (limitation « texture », Tableau 14).

Le deuxième exemple est un sol brun – pseudogley situé dans le canton de Fribourg. L'aptitude agricole sur ce site est limitée par l'hydromorphie. Les conditions d'humidité et d'anoxie dans le sol associé à une profondeur modérée perturbent à un tel point la croissance des plantes qu'un assolement à prédominance de cultures fourragères est recommandé (limitation « régime hydrique », Tableau 15). C'est pourquoi ce site est évalué « CA 5 ».

Le troisième exemple est un sol brun situé dans le canton de Bâle-Campagne. Si les cas spéciaux n'étaient pas pris en compte, ce site serait estimé « CA 4 », mais la combinaison entre un sol influencé par une nappe de bas-fond ou de pente et une très forte pente (23 %) rend encore plus difficile l'utilisation des machines. C'est pourquoi ce troisième site a été évalué « CA 5 » (limitation « cas spécial 1 », Tableau 16).

Tableau 14. Exemple d'une aptitude agricole légèrement limitée (site de l'Observatoire national des sols NABO, exploité en grandes cultures).

Limitation	Caractéristiques du site	CA
Climat	Classe d'aptitude climatique A3	CA 1 Assolement sans restriction
Régime hydrique	Sous-groupes de régime hydrique a	CA 1 Assolement sans restriction
Pierrosité	Pierrosité(couche supérieure du sol) 0 %	CA 1 Assolement sans restriction
Texture	Teneur en argile (couche supérieure du sol) 16 % Teneur en limon (couche supérieure du sol) 53 %	CA 2 Assolement légèrement restreint
Matière organique	Teneur en matière organique (couche supérieure du sol) 2.8 % Teneur en matière organique (couche sous-jacente du sol) 0.1 %	CA 1 Assolement sans restriction
pH	pH (couche supérieure du sol) 6.7 pH (couche sous-jacente du sol) 5.5	CA 1 Assolement sans restriction
Terrain	Inclinaison de la pente 2 % Type de pente régulier	CA 1 Assolement sans restriction
Cas spéciaux	Critères cas spéciaux	Ne sont pas pertinents pour ce site



Tableau 15. Exemple d'une aptitude agricole limitée (site de l'Observatoire national des sols NABO, exploité en grandes cultures).

Limitation	Caractéristiques du site	CA
Climat	Classe d'aptitude climatique A2	CA 1 Assolement sans restriction
Régime hydrique	Sous-groupe de Régime hydrique †	CA 5 Assolement restreint, à prédominance de cultures fourragères
		
Pierrosité	Pierrosité (couche supérieure du sol) 0%	CA 1 Assolement sans restriction
Texture	Teneur en argile (couche supérieure du sol) 44% Teneur en limon (couche supérieure du sol) 44 %	CA 4 Assolement à prédominance de céréales avec une sécurité de rendement réduite
Matière organique	Teneur en matière organique (couche supérieure du sol) 6 % Teneur en matière organique (couche sous-jacente du sol) 3 %	CA 1 Assolement sans restriction
pH	pH (couche supérieure du sol) 7.5 pH (couche sous-jacente du sol) 7.5	CA 1 Assolement sans restriction
Terrain	Inclinaison de la pente 2 % Type de pente non irrégulier	CA 1 Assolement sans restriction
Cas spéciaux	Critères cas spéciaux	Ne sont pas pertinents pour ce site

Tableau 16. Exemple d'une aptitude agricole très limitée (site de l'Observatoire national des sols NABO, exploité en cultures fruitières).

Limitation	Caractéristiques du site	CA
Climat	Classe d'aptitude climatique A3	CA 1 Assolement sans restriction
Régime hydrique	Sous-groupes de régime hydrique I	CA 2 Assolement légèrement restreint
Pierrosité	Pierrosité (couche supérieure du sol) 2 %	CA 1 Assolement sans restriction
Texture	Teneur en argile (couche supérieure du sol) 33% Teneur en limon (couche supérieure du sol) 42 %	CA 3 Assolement à prédominance de céréales
Matière organique	Teneur en matière organique (couche supérieure du sol) 8 % Teneur en matière organique (couche sous-jacente du sol) 1 %	CA 1 Assolement sans restriction
pH	pH (couche supérieure du sol) 7 pH (couche sous-jacente du sol) 7.5	CA 1 Assolement sans restriction
Terrain	Inclinaison de la pente 23% Type de pente non irrégulier	CA 4 Assolement à prédominance de céréales avec une sécurité de rendement réduite
Cas spéciaux	Sous-groupe de régime hydrique I Inclinaison de pente 23 % Type de pente Non irrégulier	CA 5 Assolement restreint, à prédominance de cultures fourragères



6. Conclusions et perspectives

La méthode CA 2023 clarifie des incertitudes et des incohérences de méthodes antérieures, regroupe les deux méthodes CA utilisées jusqu'ici (Brunner et al. 1997, NEK-FAL ; Jäggli et al. 1998, NEK-ZH) et en simplifie l'application. Les objectifs visés lors de son développement ont été atteints. Chaque site peut être clairement classé dans une CA, à l'exception de ceux possédant des sols AC. Les limitations dues aux facteurs individuels ou combinés sont évaluées à l'aide de huit tableaux en fonction de la classe d'aptitude climatique du site considéré. De plus, un bon compromis a été trouvé lors du regroupement de la CA-FAL et la CA-ZH. Les principales limitations des deux méthodes ont été prises en compte. Si la CA-FAL et la CA-ZH présentent une concordance de 50 % pour des ensembles de données volumineux, la CA 2023 correspond dans 60 % des cas à la CA-FAL et dans 60 % des cas à la CA-ZH. La simplification de la méthode CA est, par conséquent, réussie. Elle a notamment été condensée et tient désormais sur une seule page A4. Elle est plus facile à comprendre et à appliquer. En outre, elle reflète l'état actuel de l'expertise pédologique et des connaissances sur les sols cartographiés jusqu'ici en Suisse.

La nouvelle méthode CA 2023 pourra encore être améliorée et complétée. Cependant, elle permet déjà de couvrir la plupart des sols « typiques ». Pour son développement futur, il conviendra, par exemple, de combler des lacunes aujourd'hui connues, notamment dans la prise en compte des risques de sécheresse, des teneurs en matière organique très basses et des pH élevés. Il faudra, en outre, contrôler les classes d'aptitude pour de nouvelles cultures et variétés et leurs exigences stationnelles. Étant donné que la méthode CA 2023 couvre toutes les combinaisons possibles des propriétés pédologiques et stationnelles considérées, à part pour les sols AC, elle comporte aussi des cas irréalistes, p. ex. le classement des sols ayant une pierrosité de 100 % dans la CA 7. Dans la méthode CA 2023, ces sols seraient limités par l'estimation du régime hydrique. D'autres adaptations devront probablement être effectuées en fonction des futures cartographies des sols et des retours d'expériences provenant de l'utilisation de la CA 2023. La méthode CA 2023 est actuellement en phase de test et est intégrée dans Soildat (<https://www.soildat.ch/>). Si les données pédologiques appropriées sont disponibles, la CA peut y être déterminée automatiquement et évaluée par les spécialistes. Nous vous invitons à nous faire part de vos contributions directement dans Soildat. Vos commentaires, suggestions et propositions d'amélioration concernant le manuel sont également les bienvenus. Veuillez les envoyer aux auteurs de ce rapport. Les différents retours d'expérience seront pris en compte lors du développement de la prochaine version de la méthode CA.

Le facteur climat est pris en compte au moyen de la carte des aptitudes climatiques. Celle-ci montre les régions qui, au vu des conditions climatiques prévalant durant la première moitié du XX^e siècle, étaient particulièrement favorables aux cultures et aux possibilités d'exploitation les plus courantes en Suisse. Elle est donc dépassée et il est probable que la période de végétation s'est entre temps significativement décalée dans de nombreuses régions (Calanca et al. 2023). Pour pouvoir obtenir une vision actuelle de l'aptitude agricole, le facteur climat devra être impérativement évalué d'après des données climatiques récentes. L'actualisation et la révision de ce paramètre pour les CA, que ce soit sous la forme d'une carte d'aptitudes climatiques révisée ou sous une autre forme, sont considérées comme des tâches urgentes à réaliser en prévision d'une prochaine révision de la méthode CA. Elles devront être réalisées de préférence par des spécialistes du climat et de l'agriculture.

Il manque actuellement une méthode de détermination standardisée des facteurs de terrain utilisés pour l'estimation de la CA. Le CCSols a réalisé des travaux préliminaires en ce sens qui devraient permettre de déterminer automatiquement ces facteurs. Il est prévu de mettre à disposition un manuel à ce sujet sous la forme d'une fiche d'information.

7. Liste des illustrations

Figure 1 : Schéma d'estimation de la méthode CA 2023. Tous les tableaux illustrant les limitations contenues dans la méthode CA 2023 comprennent quatre colonnes reprenant les limitations climatiques liées aux sites. Pour chaque tableau, le croisement entre la limitation climatique (colonne) et la limitation liée aux propriétés pédologiques ou topographiques (ligne) caractéristiques au site considéré donne la CA spécifique correspondante. La CA la plus élevée est, parmi toutes les CA spécifiques obtenues dans les différents tableaux, la plus limitante et c'est elle qui doit être retenue en tant que CA finale. 12

Figure 2 : Limitations liées au climat selon les 20 zones de la carte des aptitudes climatiques (Jeanneret et Vautier, 1977). Les zones d'aptitudes climatiques reflètent essentiellement le régime pluviométrique et la période de végétation. Ces deux paramètres sont décrits par des abréviations alphanumériques dont certaines forment des groupes réunis en zones d'aptitudes climatiques (p. ex. « C1-4 » ou « C5-6 » forment chacun une zone distincte). Les vingt zones d'aptitudes climatiques existantes sont les suivantes : A1, A2, A3, A4, A5, A6, B1, B2, B3, B4, B5, B6, C1-4, C5-6, D1-4, D5-6, E1-3, E4-6, F, G. 15

Figure 3 : Vue d'ensemble de la méthode CA 2023. Dans la CA 2023, tous les tableaux de limitations comprennent quatre colonnes reprenant les limitations climatiques liées au site considéré. Pour chaque tableau, le croisement entre la limitation climatique (colonne) et la limitation liée aux propriétés pédologiques ou topographiques (ligne) caractéristiques au site considéré donne la CA spécifique correspondante. La CA la plus élevée est, parmi toutes les CA spécifiques obtenues dans les différents tableaux, la plus limitante et c'est elle qui doit être retenue comme la CA finale. 26

8. Liste des tableaux

Tableau 1. Vue d'ensemble de l'ouvrage général « Description, classification et cartographie des sols de Suisse ». Le présent manuel pour l'estimation de l'aptitude agricole (méthode CA 2023) est indiqué en bleu ; les dates approximatives de la première publication sont indiquées en gris. Des informations complémentaires et un aperçu des publications existantes sont disponibles sous www.bodenmethoden.ch.

6

Tableau 2. Liste des limitations des méthodes CA-ZH, CA-FAL et CA 2023 (caractères en gras : limitations principales, caractères normaux = paramètres figurant dans les tableaux des limitations. DD = drainé, OB = couche supérieure du sol, pnG = profondeur utile, PT = avec intercalation(s) de tourbe, PU = recouvert, UB = couche sous-jacente du sol, VB = en blocs, WHG = groupe de régime hydrique, WHUG = sous-groupe de régime hydrique et ZL = labile). Indication de l'élaboration des limitations dans la méthode CA 2023.

9

Tableau 3. Liste des classes d'aptitude de la méthode CA 2023 accompagnées de leurs critères d'évaluation. La description des classes d'aptitude CA 2023 a été basée sur la FAL et le canton de Zurich (Brunner et al. 1997 ; Jäggli et al. 1998), puis a été remaniée par P. Schwab et O. Heller (2022) et par la suite adaptée par les auteurs. Pour les CA 1 et 2, toutes les cultures sont possibles, raison pour laquelle il n'y a pas de distinction entre ces dernières lors de l'estimation. Pour les CA 3 à 6, les estimations sont différenciées en fonction des cultures. Comme les grandes cultures ne sont pas présentes pour les CA 7 à 9, l'estimation se limite aux cultures fourragères. Pour toutes les CA, l'estimation fait appel à cinq classes (++ = très bon, (+) = bon à très bon, + = bon, (+) = moyen à bon, 0 = moyen, - = mauvais, -- = très mauvais). L'évaluation globale, déduite à partir de l'exploitation durable, de l'éventail de cultures, de la capacité et de la sécurité de rendement et des conditions d'exploitation, ne suit pas une procédure stricte.

11

Tableau 4. Paramètres d'entrée utilisés pour l'évaluation des classes d'aptitude (OB= couche supérieure du sol, UB= couche sous-jacente du sol).

13

Tableau 5. Description des sous-groupes de régime hydrique des sols selon Brunner et al. (1997). Au total, il existe 25 sous-groupes de régime hydrique abrégés par les lettres de l'alphabet (sans le « j »). Pour les sous-types, les expressions caractéristiques sont marquées en gras, les autres expressions possibles étant indiquées en caractères normaux.

16

Tableau 6. Limitations liées aux sous-groupes de régime hydrique

17

Tableau 7. Limitations liées à la pierrosité de la couche supérieure du sol (CA = classe d'aptitude ; OB = couche supérieure du sol)

18

Tableau 8. Limitations liées à la texture de la couche supérieure du sol (CA = classes d'aptitude, OB = couche supérieure du sol)	20
---	----

Tableau 9. Limitations liées à la teneur en matière organique (%) des sols. (CA = classes d'aptitude, OB = couche supérieure du sol, UB = couche sous-jacente du sol)	21
---	----

Tableau 10. Limitations liées au pH (CaCl ₂) des sols (CA = classe d'aptitude, OB = couche supérieure du sol, UB couche sous-jacente du sol)	22
--	----

Tableau 11. Limitations liées au terrain (CA = classe d'aptitude). L'indice « irrégulier » n'est pertinent que pour les pentes de 15 à 25 %.	23
--	----

Tableau 12. Cas spécial de limitation 1 : Climat, sous-groupe de régime hydrique (WHUG) et pente. Une cellule vide dans le tableau signifie que l'interaction liée à cette combinaison de propriétés entre climat, sol et terrain n'entraîne pas de limitation supplémentaire par rapport aux évaluations individuelles.	24
--	----

Tableau 13. Cas spécial de limitation 2 : Sous-groupe de régime hydrique, pente et texture de la couche sous-jacente du sol (UB). Une cellule vide dans le tableau signifie que l'interaction liée à cette combinaison de propriétés du climat, du sol et du terrain n'entraîne pas de limitation supplémentaire.	25
---	----

Tableau 14. Exemple d'une aptitude agricole légèrement limitée (site de l'Observatoire national des sols NABO, exploité en grandes cultures).	28
---	----

Tableau 15. Exemple d'une aptitude agricole limitée (site de l'Observatoire national des sols NABO, exploité en grandes cultures).	29
--	----

Tableau 16. Exemple d'une aptitude agricole très limitée (site de l'Observatoire national des sols NABO, exploité en cultures fruitières).	30
--	----

9. Bibliographie

- OFAG (2012). Carte des aptitudes climatiques pour l'agriculture. Modèle de géodonnées minimal. Office fédéral de l'agriculture.
- Bohne, Klaus (2005). An introduction into applied soil hydrology. Reiskirchen: Catena Verlag (Lecture notes in GeoEcology).
- Brunner, Johann; Jäggli, Friedrich; Nievergelt, Jakob; Peyer, Karl (1997). Manuel de cartographie: Cartographie et estimation des sols agricoles. Zürich Reckenholz: Station fédérale de recherches en agroécologie et agriculture, Zurich-Reckenholz (FAL).
- Office fédéral de topographie swosstopo (2021). swissALTI3D. Disponible sous <https://swisstopo.admin.ch/de/geodata/height/alti3d.html>
- Calanca, P., A. Holzkämper, A.F. Isotta. 2023. Die thermische Vegetationszeit im Wandel des Klimas. Agrarforschung Schweiz 14: 150-158.
- Estler, Manfred, Pfahler, Karl (1985). Einfluss der Hangneigung auf den Wert landwirtschaftlicher Grundstücke, TU München, Weihenstephan.
- Flisch, René; Neuweiler, Reto; Kuster, Thomas; Oberholzer, Hansrudolf; Huguenin-Elie, Olivier; Richner, Walter (2017). Bodeneigenschaften und Bodenanalysen. In Grundlagen der Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017) (Hrsg. W. Richner & S. Sinaj). Agrarforschung Schweiz 8 (6), p. 34.
- Greiner, Lucie; Petter, Gunnar (2023). Dokumentation der Überarbeitung der NEK-Methode 2023. Kompetenzzentrum Boden KOBO. BFH-HAFL.
- Holzkämper, Annelie; Fossati, Dario; Hiltbrunner, Jürg; Fuhrer, Jürg (2015). Spatial and temporal trends in agro-climatic limitations to production potentials for grain maize and winter wheat in Switzerland. In Reg Environ Change 15 (1), pp. 109–122. DOI: 10.1007/s10113-014-0627-7
- Jäggli, Friedrich; Peyer, Karl; Pazeller, Albert; Schwab, Peter (1998). Grundlagenbericht zur Bodenkartierung des Kantons Zürich. Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Zürich und Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich Reckenholz FAL
- Jeanneret, François; Vautier, Philippe (1977). Carte des aptitudes climatiques pour l'agriculture en Suisse. Avec annexes. Département fédéral de l'économie publique. Berne. Disponible en ligne sous https://map.geo.admin.ch/?lang=de&topic=e&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-farbe&layers=ch.blw.klimaeignung-typ&layers_opacity=0.75
- Leifeld, J; Vogel, D; Bretscher, D (2019). Treibhausgasemissionen entwässerter Böden. In Agroscope Science (74).
- National Centre for Climate Services (2022): Was ist das Klima? National Centre for Climate Services (NCCS). Disponible sous <https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/klimawandel-und-auswirkungen/grundlagen-zum-klima/was-ist-das-klima-.html>
- Prasuhn, Volker; Hofer, Peter; Liniger, Hanspeter (2022). 24 Jahre Erosionsmonitoring in der Region Frienisberg. DOI: 10.34776/AFS13-86
- Scheffer, Fritz; Schachtschabel, Paul; Blume, Hans-Peter; Thiele-Bruhn, Sören (2010). Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage. Heidelberg: Spektrum (Spektrum Lehrbuch).
- Schwab, Peter (2021). NEK-Einstufung nach Boka ZH. Überarbeitung im Auftrag des Kompetenzzentrums Boden (KOBO). Disponible sur demande auprès de info@ccsols.ch
- Schwab, Peter (2022a). Vorschlag zur Berücksichtigung der Erosionsgefährdung durch unterschiedliche Feinerdekörnung (Textur) im Oberboden / Erodierbarkeit des Bodens (Erodibilität). Disponible sur demande auprès de info@ccsols.ch

- Schwab, Peter (2022b). Schriftliche Mitteilung ans Kompetenzzentrums Boden (KOBO). Disponible sur demande auprès de info@ccsols.ch
- Schwab, Peter ; Günter, Markus (2016). Vergleich der Methoden BoKa ZH und FAL 24 zur Beurteilung der Nutzungseignungsklassen. Mit Ergänzungen der FABO vom 16.1.2017. Amt für Landschaft und Natur, Fachstelle Bodenschutz, Kanton Zürich.
- Wendling, Marina (2022). Utilisation de la méthode d'estimation de la classe d'aptitude agricole. Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL. Disponible sur <https://ccsols.ch>
- Wendling, Marina; Schmid, Nathaniel; Charles, Raphaël (2022). Etude de l'importance des paramètres sol permettant d'évaluer l'aptitude agricole d'un site. Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL. Disponible sur <https://ccsols.ch>

Centre de compétences sur les sols

BFH-HAFL

Länggasse 85 _ 3052 Zollikofen

info@ccsols.ch _ ccsols.ch