



HAL
open science

Les haies, une alternative à l'openfield dans les zones loessiques d'Alsace? : perspectives historiques, systèmes agraires du futur, érosion, effets sur le colluvionnement et le stockage du carbone

Lucie Froehlicher

► To cite this version:

Lucie Froehlicher. Les haies, une alternative à l'openfield dans les zones loessiques d'Alsace? : perspectives historiques, systèmes agraires du futur, érosion, effets sur le colluvionnement et le stockage du carbone. Géographie. Université de Strasbourg, 2016. Français. NNT : 2016STRAH009 . tel-01541249

HAL Id: tel-01541249

<https://theses.hal.science/tel-01541249v1>

Submitted on 19 Jun 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ DE STRASBOURG

ÉCOLE DOCTORALE

des SCIENCES DE LA TERRE ET ENVIRONNEMENT (ED 413)

Laboratoire Image Ville Environnement (LIVE) UMR7362

THÈSE présentée par :
Lucie FROEHLICHER

soutenue le : 26 septembre 2016

pour obtenir le grade de : **Docteur de l'université de Strasbourg**

Discipline/ Spécialité : Géographie

Les haies, une alternative à l'openfield dans les zones loessiques d'Alsace ?

Perspectives historiques, systèmes agraires du futur, érosion, effets sur le colluvionnement et le stockage du carbone.

THÈSE dirigée par :

M. SCHWARTZ Dominique

Professeur à l'Université de Strasbourg, UMR 7362

RAPPORTEURS :

M. WALTER Christian

Professeur à Agrocampus, Rennes, UMR 1069

M. MARGUERIE Dominique

Directeur de recherche à Université de Rennes, UMR 6553

AUTRES MEMBRES DU JURY :

M. METAILIE Jean-Paul

Directeur de recherche à l'Université de Toulouse-2, UMR 5602

M. ARROUAYS Dominique

Ingénieur de recherche à l'INRA, Orléans, US 1106

M. ERTLEN Damien

Maître de conférences à l'Université de Strasbourg, UMR 7362

« Sois le changement que tu veux voir dans le monde. »

Gandhi

À la mémoire de mon papa.

Remerciements

Même si cette thèse est signée d'un nom, ces travaux résultent avant tout d'un travail d'équipe. C'est pourquoi, je souhaite remercier ici toutes les personnes qui se sont impliquées de près ou de loin dans cette étude.

Je tiens tout d'abord à remercier les membres du jury, Dominique Arrouays, Jean-Paul Métailié, Dominique Marguerie, Christian Walter et Damien Ertlen pour le temps passé à la lecture de ce manuscrit.

Merci à Dominique Schwartz dit « le koala », mon directeur de thèse. Merci d'avoir cru en ce projet et en ma capacité à le mener. Merci aussi pour ta patience, ton sang-froid et ta grande capacité à t'adapter à une doctorante alsacienne, ou « APP » (Alsacienne Protestante Psychorigide) comme tu le dis si bien ! Merci pour ton implication qui m'a permis de ne pas perdre pied dans mes travaux tout en me laissant une grande autonomie et une grande liberté dans ma façon de travailler.

Merci à Damien Ertlen, qui a su m'aider pendant ces trois ans. Merci d'avoir dompté le spectro ! Merci pour tous tes conseils, pour ton aide en laboratoire et sur le terrain.

Je tiens également à remercier l'ensemble des personnes et des organismes qui ont contribué et soutenu cette étude.

L'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie), co-financeur de mon allocation de recherche pour ces trois années de thèse.

Antonio Bispo, Ingénieur « Sol et Environnement » de l'ADEME qui a participé à l'encadrement de ma thèse.

La Région Alsace, co-financeur de mon allocation de recherche.

Anne Rozan et le programme GERIHCO 3 qui m'ont alloué les crédits de fonctionnement nécessaires au bon déroulement de ma thèse.

Le Laboratoire Image Ville Environnement (LIVE) qui m'a accueilli durant ces trois années et qui a participé au bon déroulement de ma thèse.

Une attention particulière pour Estelle Baehrel (LIVE) et Caroline Lienhard (ENGEES) pour leur gentillesse et l'ensemble des démarches administratives qu'elles ont faites pour moi.

Le Laboratoire d'Analyse des Sols et des formations superficielles (LAS/EOST/UMS 830), au sein duquel j'ai pu réaliser l'ensemble de mes analyses pédologiques.

Un grand merci à Martine Trautmann du LAS, qui a largement contribué à mes travaux. Merci pour ta patience, ta gentillesse, ta disponibilité et ton aide sur le terrain qui m'ont permis de travailler dans les meilleures conditions possibles. Pour moi, tu es comme une deuxième maman.

Le Conseil Général du Haut-Rhin et du Bas-Rhin, pour leur partenariat et le partage des données environnementales du Haut-Rhin. Une attention particulière à Anne Vonna (CG68), qui a su rester disponible pour l'acquisition de nombreuses données.

Merci à Anne Gebhardt pour son aide précieuse et son travail dans l'analyse micromorphologique des sols.

Merci à Hubert Ortlieb, Géomètre Expert, qui a réalisé des relevés topographiques indispensables à cette étude.

Merci à Mrs Wolf, Munch et Eckert qui ont eu la gentillesse de me laisser creuser dans leurs champs et prélever des échantillons. Merci de l'intérêt que vous avez porté à cette étude. Sans vous ce travail n'aurait pas pu être possible !

Je remercie également mon comité de pilotage, composé de Dominique Schwartz, Antonio Bispo, Damien Ertlen, Paul Van Dijk (Ingénieur ARAA), Dominique Badariotti (Directeur LIVE), Georges Bischoff (Pr. UniStra) et Christian Dronneau (Région Alsace). Merci à vous pour le temps passé à suivre ma thèse et pour vos conseils.

Merci à Véronique Auzet (Pr. UniStra), pour tous tes conseils et tes corrections apportées afin d'améliorer la qualité de ce manuscrit.

Merci à tous mes supers collègues, potes et ami(e)s qui m'ont aidé et soutenu. Oui, vous êtes forcément super si vous m'avez aidé ☺ ! Merci à David Eschbach, Franck Hess, Simon Rougier, Cécile Vittori, Sophie Buessler, Sébastien Michel, Emile Beretz, Sergii Zinko, Valentin Chardon, Barbora Vyslouzilova, Ludivine Chomik de m'avoir aidé sur le terrain et/ou d'avoir participé à la bonne ambiance dans le bureau ! Merci à Thiébaud Simon, Quentin Boesch et Loïc Lambry pour votre aide en laboratoire et sur le terrain !

Merci à Eugénie Schwoertzig, la « tige », spécialiste des jolies petites fleufleurs, d'avoir rendu ces années vraiment agréables. On partage la même philosophie et c'est vraiment sympa d'avoir une confidente doctorante avec qui partager ses « déboires de doctorants » !

Merci et bravo à Paul Herqué et Jean-Matthieu Laurent. Les mecs vous êtes au top ne changez rien ! Kinés, correcteurs, conseillers et amis après tout ce temps... chaque doctorant devrait avoir une équipe de choc comme vous deux !

Laura Glatt, Caroline Trautmann, Diane de Lassence, et Adèle Neubert vous êtes en or ☺ ! Merci les filles d'avoir été là pour moi, de m'avoir fait prendre l'air, de m'avoir fait rire, de m'avoir suivi dans mes délires et surtout de m'avoir fait oublier ma thèse aux moments où c'était nécessaire. Les filles on part quant à Tahiti ?

À mes ami(e)s lointains... À toi Héroïse Lienhardt, Théo Petitjean, Remi Rosamont, Maxime Istin, même de loin, vous avez su m'épauler et me conseiller.

Merci à toi Antoine, de m'avoir remotivé et de m'avoir fait découvrir de nouveaux horizons...

Enfin, merci à ma Maman Michèle, Philippe, Eva, Charles et Yoann, pour leur soutien et leur affection... Une attention particulière à Marie, toi qui as fait une thèse aussi, tu as su me conseiller et me reconforter surtout à la fin. Un petit clin d'œil à mes neveux, Pablo et Oscar

qui me demandent assez régulièrement : « Tatie, pourquoi tu vas encore à l'école ? Tu es grande... tu devrais travailler !! ». C'est bon les gars, j'ai fini ! Enfin je crois...

Une ligne rien que pour toi Quentin, tu mérites au moins ça... Merci pour tout ce que tu m'as apporté.

Table des matières

Remerciements	V
Table des matières	IX
Liste des tableaux.....	XV
Liste des figures	XIX
Liste des annexes.....	XXIX
Liste des abréviations et sigles	XXXI
Introduction	1
Chapitre 1: Les systèmes de haies et leurs rôles	7
1.1 Une évolution sémantique conséquente du terme « haie »	7
1.1.1 Une analyse des définitions du mot « haie ».....	7
1.1.2 Les « mots clefs » de l'analyse sémantique de la haie	8
1.1.3 Conclusion	10
1.2 De la mission assignée à la fonction induite : des rôles variés	11
1.2.1 Le rôle barrière des haies	12
1.2.2 Les haies « vertes » : productives & écologiques	20
1.2.3 Les rôles sociaux des haies	26
1.2.4 Les modifications du paysage induites par les haies	27
1.2.5 Conclusion partielle	28
1.3 Typologie des haies.....	29
1.3.1 Genèse et morphologie	29
1.3.2 Composition floristique et morphologie	41
1.3.3 La datation des systèmes de haies	45
1.4 Conclusion	48
Chapitre 2 : Du colluvionnement à la formation des rideaux de culture.....	49
2.1 Les transferts de matières à l'échelle du versant.....	49
2.1.1 Les colluvions	49
2.1.2 Les origines du colluvionnement	51
2.1.3 Les processus de colluvionnement	51
2.1.4 Les coulées d'eaux boueuses	53
2.1.5. La datation des colluvions	54
2.2 Définitions et formations des rideaux de culture	55
2.2.1. Définitions	55
2.2.2 Formation des rideaux de cultures	56
2.2.3 Différenciation rideaux de culture / terrasses.	58
2.3 Organisation des sols de rideaux de culture.....	60
2.3.1 Typologie des sols de haies : études de cas.....	60
2.3.2 Bilan de l'organisation des sols de haies.....	64

2.4 Conséquences agronomiques de la présence des rideaux de culture	64
2.5 Evolution des structures de type rideaux de culture	65
2.5.1 Evolution des pratiques agricoles	66
2.5.2 Enregistrement d'anciens rideaux de culture	67
2.6 Conclusion.....	69
Chapitre 3 : Lœss, sols de lœss et comportement du carbone stocké dans les sols de haies.	71
3.1 Le lœss : caractéristiques	71
3.1.1 Définition, mise en place et composition	71
3.1.2 Les grandes zones lœssiques en Europe	74
3.1.3 Les grandes zones lœssiques en Alsace	75
3.1.4 Age et datation des lœss	77
3.2 Les sols développés sur matériaux lœssiques	77
3.2.1 Les sols bruns lessivés (luvisols).....	79
3.2.2 Les chernozems	82
3.2.3. Un mot sur la fertilité des luvisols et chernozems	83
3.3 Le Carbone organique (C _{org})	83
3.3.1 Composition et évolution du carbone organique des sols	83
3.3.2 La stabilité/récalcitrance/protection de la MOS dans les sols	86
3.3.3 Le stockage du carbone organique dans les sols agricoles.....	90
3.3.4 Haies et stockage du carbone organique dans les colluvions agricoles	95
3.3.5 Le cas particulier du stockage du carbone organique dans les colluvions lœssiques	98
3.4 Conclusion.....	99
Chapitre 4 : Matériels et méthodes	103
4.1 Les Systèmes d'Information Géographique.....	103
4.2 Les outils des approches cartographique et diachronique	104
4.2.1 Le LIDAR	105
4.2.2 Les cartes anciennes et archives géohistoriques.....	111
4.2.3 Les bases de données iconographiques en ligne	113
4.2.4 Les musées rhénans : des données plus locales.....	115
4.2.5 Conclusion sur l'approche diachronique.....	116
4.3 Les méthodes de datations : principes et protocoles.....	117
4.3.1 La datation O.S.L (Optically Stimulated Luminescence)	118
4.3.2 La datation radiocarbone ¹⁴ C.....	119
4.3.3 Risques de biais et taphonomie.....	121
4.4 Caractérisation des sols : principes et protocoles	122
4.4.1 Le pH	122
4.4.3 Détermination de la présence de carbonates : Test HCl 10 %	123
4.4.4 La granulométrie laser	123
4.4.5 La mesure d'humidité à 105°C	125
4.4.6 La Perte Au Feu (P.A.F)	125

4.4.7 Le Carbone Organique (C _{org}).....	126
4.4.8 Mesures du Carbone Total (C) et de l'Azote (N)	127
4.4.9 Mesures de la Densité Apparente (D.A) des sols.....	128
4.5 La Spectroscopie Proche-InfraRouge (SPIR).....	129
4.5.1 Principe de la méthode SPIR.....	129
4.5.2 Protocoles de la mesure SPIR.....	131
4.6 L'analyse micromorphologique des sols	133
4.6.1 Principe de l'analyse micromorphologique	133
4.6.2 Protocole de fabrication de lames minces	134
4.7 Conclusion.....	135
Chapitre 5 : Sélection et description des sites d'études.....	137
5.1 Protocoles de sélection des sites.....	137
5.1.1 Les sites d'intérêts : cahier des charges	137
5.1.2 Protocole de sélection : du LIDAR à la prospection de terrain.....	137
5.2 Descriptions des sites retenus.....	141
5.2.1 Les sites de référence	141
5.2.1.1 Site de référence sous forêt : Mulhouse (ZOO)	141
5.2.1.2 Site de référence sous prairie : Habsheim (HABSREF).....	143
5.2.2 Caractérisation des sols de haies fonctionnelles : 2 toposéquences.....	146
5.2.3 Caractérisation des sols avec dégradation des rideaux de cultures : La toposéquence CIG de HABSHEIM.....	167
5.2.3 Datations relatives des haies : le site de Marmoutier	170
5.3 Conclusion	176
Chapitre 6 : Occurrence et fréquence des haies : analyse spatio-temporelle à l'échelle de l'Alsace. 179	
6.1 Etude toponymique	179
6.1.1 Sélection des racines toponymiques	179
6.1.2 Résultat de l'analyse toponymique	181
6.1.3 Cartographie des toponymes en fonction de leur sens	181
6.2 Les mentions de haies dans les textes	184
6.3 Analyses iconographiques (enluminure, peintures, cartes postales)	187
6.3.1 Présentation des œuvres iconographiques retraçant l'évolution de la représentation des haies en Alsace.....	189
6.3.2 Synthèse de l'évolution des systèmes de haies en relation avec les événements historiques.	202
6.4 Résultats de l'analyse LIDAR à l'échelle de l'Alsace	203
6.4.1 Bilan sur la couverture des rideaux de culture en Alsace à partir des images LIDAR disponibles et des prospections de terrains.	203
6.4.2 Reconstitution des paysages : l'Alsace, un territoire de haies	206
6.5 Interprétations et reconstitutions des paléo-paysages	209

Chapitre 7 : Evolution spatio-temporelle des systèmes de haies à l'échelle des sites d'étude depuis le XIX ^e siècle (Habsheim, Uffheim)	211
7.1 Les toposéquences de Habsheim : « HABS » et « CIG »	211
7.1.1 Etat de l'occupation du sol du site « HABS » en 1883 et 1885 à partir des cartes anciennes	211
7.1.2 Evolution de l'occupation du sol du site « HABS » de 1934 à 2007 à partir des photos aériennes IGN et d'une orthophoto de 2007	214
7.1.3 Bilan des évolutions des systèmes de haies de 1934 à 2007	222
7.1.4 Relevé par le LIDAR des structures de type rideaux de culture sur le banc d'Habsheim	225
7.1.5 Evolution du parcellaire agricole de la commune d'Habsheim	227
7.1.6 Relations entre les haies et l'évolution du parcellaire pour la commune d'Habsheim	236
7.2 La toposéquence d'Uffheim « UFF »	238
7.2.1 Caractérisation du parcellaire des communes de Sierentz et Uffheim en 1880	239
7.2.2 Evolution de l'occupation du sol du site « UFF » de 1934 à 2007 partir des photos aériennes IGN	240
7.2.3 Bilan des évolutions des systèmes de haies de 1934 à 2007	248
7.2.4 Détection des structures agraires de type rideaux de culture par le LIDAR pour les bancs d'Uffheim et de Sierentz	248
7.2.5 Evolution du parcellaire agricole des communes d'Uffheim/Sierentz	250
7.3 Conclusion	254
Chapitre 8 : Analyses pédologiques : caractérisations des sols et toposéquences	257
8.1 Description et organisation des sols des sites et toposéquences d'étude	257
8.1.1 Les sites de référence	257
8.1.2 Les toposéquences d'Uffheim « UFF » et de Habsheim « HABS » : formation et évolution de sols associés à la présence de haies	258
8.1.3 Caractérisation de la toposéquence « CIG » à Habsheim : évolution des sols après disparition des haies.	269
8.1.4 Les rideaux de culture associés à d'autres structures agraires : étude du site de Marmoutier.	271
8.2 Caractérisation des sols : résultats des analyses de laboratoire	273
8.2.1 Caractérisation des sites de références : ZOO, la référence sous forêt	273
8.2.2 Caractérisation des sites de référence : HABSREF, la référence sous prairie	275
8.2.3 Caractérisation des sols de haies : la toposéquence « HABS »	277
8.2.4 Caractérisation des sols de haies : la toposéquence « UFF »	286
8.2.5 Caractérisation des sols de haies effacés : la toposéquence « CIG »	290
8.3 Etude micromorphologique de la toposéquence HABS	292
8.4 Signature spectrale des matières organiques en SPIR qualitative	302
8.4.1 Les prétraitements mathématiques	302
8.4.3 Validation de la classification : distances aux barycentres	303
8.4.2 Résultats de la classification	304

8.4.4 Evolution des scores à l'échelle de la fosse	305
8.5 Approche chronologique des rideaux de culture : datations OSL et ¹⁴ C	312
8.5.1 Datations OSL des matériaux colluvionnés de la toposéquence de Habsheim.....	312
8.5.2. Datations de la MOS de la fosse HABS 03 : confrontation avec l'âge OSL.....	318
8.5.3 Datations OSL des colluvions de la toposéquence d'Uffheim.....	318
8.5.4 Calage chronologique et datation de rideaux de culture dans le secteur de Marmoutier (67/Alsace) : datation d'un paléosol.....	319
8.5.5 Datations ¹⁴ C du paléosol HABSREF (référence prairie)	320
8.6 Conclusion.....	322
Chapitre 9 : Le bilan de l'érosion agraire : stocks de terre et de C _{org} , flux de matière aux échelles de temps longues	323
9.1 Les sites de références	323
9.1.1 ZOO (Mulhouse/Référence sous forêt).....	324
9.1.1.1 Mesures des densités apparentes (da) pour la référence sous forêt ZOO	324
9.1.1.2 Calcul des stocks de terre pour le site de référence sous forêt ZOO	324
9.1.1.3 Estimation des flux d'érosion aux époques préhistoriques	324
9.1.1.4 Stockage du C _{org} dans un luvisol de référence sous forêt : ZOO.....	325
9.1.2 HABSREF (Habsheim/Référence sous prairie)	327
9.1.2.1 Mesures de densités apparentes pour le profil HABSREF	327
9.1.2.2 Stockage du C _{org} dans un sol loessique de référence sous prairie : HABSREF	327
9.2 La toposéquence d'Habsheim « HABS »	328
9.2.1 Mesures de densités apparentes sur la toposéquence HABS	328
9.2.2 Calcul des stocks de terre pour la toposéquence HABS	332
9.2.3 Calcul des stocks de colluvions pour la toposéquence d'Habsheim « HABS ».	334
Calcul du stock de colluvions retenu par les haies en mètre linéaire de haie pour la toposéquence d'Habsheim « HABS » : Le tronçon 1	335
Quantification du potentiel de stockage de terre érodée pour le tronçon 1	335
Le stock de colluvions (t/m de haie) sur le tronçon 2 de la toposéquence « HABS »	336
Estimation de la zone de départ et de la zone de dépôts des colluvions pour le tronçon 2.....	337
Conclusion sur le bilan de l'érosion et l'efficacité des haies sur la toposéquence HABS	338
9.2.4 Stockage du C _{org} dans les sols de haies de la toposéquence HABS	339
Evolution du stock de C _{org} avec la profondeur sur l'ensemble de la toposéquence HABS.....	339
Evolution du stock de C _{org} par horizon pour la toposéquence HABS.....	344
Stocks de C _{org} réels et théoriques dans les colluvions sur la toposéquence HABS	348
Comparaison des stocks de C _{org} des colluvions avec le luvisol de référence ZOO	348
9.3 La toposéquence d'Uffheim « UFF »	349
9.3.1 Évolution des densités apparentes des sols de la toposéquence UFF	349
9.3.1 Calcul des stocks de terres pour la toposéquences d'Uffheim	351
9.3.2 Calcul des stocks de colluvions par mètres linéaires de rideau pour la toposéquence UFF	353
Estimation de la zone d'ablation du sol et de la zone de dépôt des colluvions.....	355

Quantification du potentiel de stockage de terre érodée, toposéquence UFF	355
9.3.3 Stockage du C _{org} dans les sols de la toposéquence UFF	356
9.3.3.1 Evolution du stock de C _{org} (cumulé et non cumulé) avec la profondeur par tranche de 10 cm pour l'ensemble de la toposéquence UFF	356
9.3.3.2 Evolution du stock de carbone organique par horizon pour la toposéquence UFF	358
9.3.3.3 Stocks de C _{org} réels et théoriques dans les colluvions sur la toposéquence UFF	360
9.3.3.4 Comparaison des stocks de C _{org} de UFF avec la référence du luvisol ZOO	360
9.4 La toposéquence « CIG » : disparition du signal haie/rideau de culture	360
9.4.1 Évolution des densités apparentes des sols de la toposéquence CIG.....	361
9.4.2 Calcul des stocks de terre pour la toposéquence « CIG »	361
9.4.3 Stockage du C _{org} dans des sols de haie disparue : la toposéquence « CIG » à Habsheim..	362
9.4.3.1 Evolution du stock de C _{org} avec la profondeur tous les 10 cm pour la toposéquence « CIG »	362
9.4.3.2 Evolution du stock de C _{org} horizon par horizon pour la toposéquence « CIG »	363
9.5. Conclusion.....	365
Conclusions et perspectives.....	367
Bibliographie.....	375
Annexes.....	397
Annexe 1 : Présentation des évolutions de la définition des haies	399
Annexe 2 : Composition floristique des haies épineuses.....	403
Annexe 3 : Composition des haies productives	405
Annexe 4 : Descriptions des fosses de la toposéquence HABS.....	411
Annexe 5 : Descriptions des fosses de la toposéquence UFF.....	421
Annexe 6 : Descriptions des fosses de la toposéquence CIG	425
Annexe 7 : Exemple de valeurs de carbones organiques mesurés dans des luvisols	431
Annexe 8 : Métadonnées des photos aériennes et du LIDAR utilisés pour l'étude spatio-temporelle sur l'évolution des systèmes de haies des sites d'études	437
Annexe 9 : Métadonnées des archives cartographiques utilisées pour l'étude spatio-temporelle sur l'évolution des systèmes de haies/rideaux de culture des sites d'études	439
Annexe 10 : Protocole de préparation des échantillons pour la granulométrie laser.....	441
Annexe 11 : Missions de terrains réalisées en Alsace pour la sélection des sites d'études	443
Annexe 12 : Liste des toponymes en lien avec les haies relevés en Alsace.	445
Annexe 13 : Fiches des fosses de références : HABSREF et ZOO	463

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Mentions historiques de "haies défensives" ; Source : Higounet, 1979 ; Liagre, 2006 ; Vuilmain, 2009	43
Tableau 3.1 : Bases de données traitant du stockage du carbone en France ; Source : Lucie Froehlicher d'après Vigot, 2012 ; Swiderski et al., 2012 ; Lemercier et al., 2006 ; Laroche et al., 2014	93
Tableau 4.1 : Bases de données des cartes, plans, peintures, etc.	114
Tableau 4.2 : Musées prospectés en France, Allemagne et Suisse pour l'enrichissement des bases de données locales ; Source : Lucie Froehlicher	115
Tableau 4.3 : Biais et taphonomie en lien avec les datations OSL et 14C	121
Tableau 5.1 : Légende associé au plan d'arpentage de 1760 ; Source : Archives départementale du Haut-Rhin	152
Tableau 6.1 : Racines toponymiques se rapportant aux haies en Alsace	180
Tableau 6.2 : Mentions sur les haies établie du IXème au XVIIIème siècle ; Sources : Bischoff (com. Orale); Metz, 2012 ; Hanauer, 1864 ; Muller et al, 2006 ; Boehler, 1995	184
Tableau 7.1 : Données statistiques sur les haies pour l'année 1883 pour la commune de Habsheim ; Source : Lucie Froehlicher	212
Tableau 7.2 : Données statistiques sur les haies pour 1885 pour la commune de Habsheim ; Source : Lucie Froehlicher	214
Tableau 7.3 : Données statistiques sur les haies pour la commune de Habsheim en 1934	215
Tableau 7.4 : Données statistiques sur les haies pour la commune de Habsheim en 1951 ; Source : Lucie Froehlicher	216
Tableau 7.5 : Données statistiques sur les haies pour la commune de Habsheim en 1963	217
Tableau 7.6 : Données statistiques sur les haies pour la commune de Habsheim en 1973 ; Source : Lucie Froehlicher	218
Tableau 7.7 : Données statistiques sur les haies pour la commune de Habsheim en 1984	219
Tableau 7.8 : Données statistiques sur les haies pour la commune de Habsheim en 1991	220
Tableau 7.9 : Données statistiques sur les haies pour la commune de Habsheim en 2007 ; Source : Lucie Froehlicher à partir des données IGN/CG68	221
Tableau 7.10 : Evolution des linéaires de haies par année de 1883 à 2012 pour la commune de Habsheim ; Source : Lucie Froehlicher	224
Tableau 7.11 : Statistiques sur les rideaux de culture à Habsheim d'après le LIDAR	226
Tableau 7.12 : Statistiques des zones labourées pour la commune d'Habsheim en 1951	228
Tableau 7.13 : Statistiques des zones de prairies, vergers et prés pour la commune d'Habsheim en 1951	228
Tableau 7.14 : Statistiques des zones de vignes pour la commune d'Habsheim en 1951	229
Tableau 7.15 : Statistiques des zones labourées pour la commune d'Habsheim en 1984	230
Tableau 7.16 : Statistiques des zones de prairies, vergers et prés pour la commune d'Habsheim en 1984	231
Tableau 7.17 : Statistiques des zones de vignes pour la commune d'Habsheim en 1984	231
Tableau 7.18 : Statistiques des zones labourées pour la commune d'Habsheim en 1991	233
Tableau 7.19 : Statistiques des zones de prairies, vergers et prés pour la commune d'Habsheim en 1991	233
Tableau 7.20 : Statistiques des zones de vignes pour la commune d'Habsheim en 1991	233
Tableau 7.21 : Statistiques des zones labourées pour la commune d'Habsheim en 2007	235
Tableau 7.22 : Statistiques des zones de prairies, vergers et prés pour la commune d'Habsheim en 2007	235
Tableau 7.23 : Statistiques des zones de vignes pour la commune d'Habsheim en 2007	236

Tableau 7.24 : Tableau récapitulatif de l'évolution du type d'occupation du sol pour la commune d'Habsheim ; Source : Lucie Froehlicher _____	236
Tableau 7.25 : Calcul du coefficient de corrélation entre le linéaire de haies et la taille moyenne des parcelles ; Source : Lucie Froehlicher _____	237
Tableau 7.26 : Calcul du coefficient de corrélation entre le linéaire de haies et le nombre de parcelles ; Source : Lucie Froehlicher _____	237
Tableau 7.27 : Calcul du coefficient de corrélation entre les surfaces de terres labourables, de vignes ou de la S.A.U. et le linéaire de haies; Source : Lucie Froehlicher _____	238
Tableau 7.28 : Statistiques des haies pour les communes d'Uffheim et de Sierentz en 1880 ; Source : Lucie Froehlicher _____	239
Tableau 7.29 : Statistiques des haies en 1934 pour les communes de Sierentz et Uffheim _____	241
Tableau 7.30 : Statistiques de haies en 1949 pour les communes de Sierentz et Uffheim _____	242
Tableau 7.31 : Statistiques de haies en 1956 pour les communes de Sierentz et Uffheim _____	243
Tableau 7.32 : Statistiques de haies en 1966 pour les communes de Sierentz et Uffheim _____	244
Tableau 7.33 : Statistiques de haies en 1985 pour les communes de Sierentz et Uffheim _____	245
Tableau 7.34 : Statistiques de haies en 1991 pour les communes de Sierentz et Uffheim _____	246
Tableau 7.35 : Statistiques des haies dans les communes d'Uffheim et Sierentz en 2007 _____	247
Tableau 7.36 : Bilan sur les évolutions des linéaires des systèmes de haies à Uffheim et Sierentz entre 1880 et 2007. _____	248
Tableau 7.37 : Etat du linéaire pour les rideaux de culture détectés sur les communes d'Uffheim et de Sierentz ; Source : Lucie Froehlicher _____	249
Tableau 7.38 : Statistiques des zones labourées pour les communes d'Uffheim et de Sierentz en 1956 ; Source : Lucie Froehlicher _____	251
Tableau 7.39 : Statistiques des zones labourées pour les communes d'Uffheim et de Sierentz en 1985 ; Source : Lucie Froehlicher _____	252
Tableau 7.40 : Statistiques sur les surfaces labourées des communes d'Uffheim et Sierentz en 2007 _____	253
Tableau 8.1 : Teneurs en carbone organique et matière organique du profil de référence ZOO ____	274
Tableau 8.2 : Résultats des mesures de Corg et de MO pour le profil HABSREF ; Source : Lucie Froehlicher _____	276
Tableau 8.3 : Résultats des mesures des teneurs en carbone organique et des teneurs en matière organique pour le tronçon amont; Source : Lucie Froehlicher _____	283
Tableau 8.4 : Résultats des mesures des teneurs en carbone organique et des teneurs en matière organique pour le tronçon 2 ; Source : Lucie Froehlicher _____	284
Tableau 8.5 : Résultats des mesures des teneurs en carbone organique et des teneurs en matière organique pour le tronçon 3 ; Source : Lucie Froehlicher _____	285
Tableau 8.6 : Résultats des mesures de Corg et de MO pour la toposéquence d'Uffheim ; Source : Lucie Froehlicher _____	289
Tableau 8.7 : Résultats de mesures de teneurs de Corg et en M.O ; Source : Lucie Froehlicher ____	292
Tableau 8.8 : Résultats des analyses des lames minces du profil HABS 03 ; Analyses réalisées par Anne Gebhardt _____	294
Tableau 8.9 : Résultats des analyses des lames minces du profil HABS 06 ; Analyses réalisées par Anne Gebhardt _____	296
Tableau 8.10 : Résultats des analyses des lames minces du profil HABS 08 ; Analyses réalisées par Anne Gebhardt _____	298
Tableau 8.11 : Résultats des analyses des lames minces du profil HABS 09 ; Analyses réalisées par Anne Gebhardt _____	300
Tableau 8.12 : Fonctions aux centroïdes des groupes ; Source : SPSS (1,00 : classe forêt ; 2,00 : classe prairie ; 3,00 : classe culture) _____	304
Tableau 8.13 : Détail de la classification ; Source : SPSS _____	305

Tableau 8.14 : Résultats des datations OSL pour la toposéquence de Habsheim (HABS) ; Source : Lucie Froehlicher d'après les résultats établis par l'Institute of Physics, Silesian University of Technology at GLIWICE/POLAND s _____	313
Tableau 9.1 : Calcul des rapports entre les stocks en C_{org} des horizons de labour et le stock total en Corg ; Source : Lucie Froehlicher _____	346
Tableau 9.2 : Calcul du stock de carbone du profil ZOO aux mêmes profondeurs que les profils HABS 03 et HABS 10 ; Source : Lucie Froehlicher _____	349
Tableau 9.3 : Détail du calcul du stock en Corg sur 71 cm du profil ZOO entre 34 et 105 cm pour la comparaison avec l'horizon Sc1 et Sc2 (71 cm) de UFF 03 ; Source : Lucie Froehlicher _____	360

Liste des figures

Figure 1.1 : Fréquence chronologique d'apparition des mots clefs caractéristiques du champ sémantique du mot « haie » (une barre noire ou grise correspond à 1 fréquence d'apparition) ; DAO : Lucie Froehlicher	10
Figure 1.2 : Haie : Absorption de l'eau ; DAO : Lucie Froehlicher	12
Figure 1.3 : La haie : barrière au ruissellement ; DAO : Lucie Froehlicher, redessiné d'après Soutter, 2007	13
Figure 1.4 : La haie : étalement des crues ; DAO : Lucie Froehlicher	14
Figure 1.5 : Haie : conductivité hydraulique ; DAO : Lucie Froehlicher	14
Figure 1.6 : Haie : drainage des fossés ; DAO : Lucie Froehlicher	15
Figure 1.7 : Haie : Purification des eaux ; DAO : Lucie Froehlicher	15
Figure 1.8 : La haie : Piège à neige ; DAO : Lucie Froehlicher	16
Figure 1.9 : La haie : barrière aux vents ; DAO : Lucie Froehlicher d'après Soutter et al., 2007	17
Figure 1.10 : Haie : Barrière aux pollutions aériennes ; DAO : Lucie Froehlicher	17
Figure 1.11 : La haie : barrière aux produits de l'érosion ; DAO : Lucie Froehlicher	18
Figure 1.12 : La haie : barrière aux animaux ; DAO : Lucie Froehlicher	19
Figure 1.13 : La haie : Limite de parcelles ; DAO : Lucie Froehlicher	19
Figure 1.14 : La haie : Ligne de défense ; DAO : Lucie Froehlicher	20
Figure 1.15 : Haie d'arbres têtards émondés pour du bois de chauffe	21
Figure 1.16 : Haie, cueillette ; DAO : Lucie Froehlicher	21
Figure 1.17 : Haie : trame verte ; DAO : Lucie Froehlicher	22
Figure 1.18 : Haie : réserve de faune sauvage ; DAO : Lucie Froehlicher	23
Figure 1.19 : La haie : puits de carbone organique ; DAO : Lucie Froehlicher d'après LIAGRE, 2006	25
Figure 1.20 : Haie : Micro climat ; DAO : Lucie Froehlicher d'après Guyot 1997 (in Baudry et al., 2003)	26
Figure 1.21 : Haie : circulation ; DAO : Lucie Froehlicher	27
Figure 1.22 : Haie : perte de terre cultivable	28
Figure 1.23 : « Menaces pour les haies susceptibles d'être causés par la diminution des communautés agricoles » ; Repris de Baudry et al., 2000	28
Figure 1.24 : Schématisation de la formation d'une haie de défrichement d'après Higounet (1979) ; Auteur : Froehlicher Lucie	30
Figure 1.25 : Différentes phases d'installation d'une haie dite sauvage ; Auteur : Lucie Froehlicher	30
Figure 1.26 : Schématisation de la formation d'une haie sauvage d'après les descriptions de Champier (1954) ; Auteur : Lucie Froehlicher	31
Figure 1.27 : Haie sur pierrier localisée en limite de verger à Marmoutier (67)	32
Figure 1.28 : Haie à plat ; Auteur : Lucie Froehlicher	32
Figure 1.29 : Haie devant talus d'empierrement ; Auteur : Lucie Froehlicher	33
Figure 1.30 : Création de haies sur talus moderne ou ancien d'après les descriptions de Liagre (2006). Auteur : Lucie Froehlicher	34
Figure 1.31 : Haie fossé d'après Liagre (2006) et Marcigny (2012) ; Auteur: Lucie Froehlicher	34
Figure 1.32 : Haie avec cuvette enherbée d'après Liagre (2006); Auteur: Lucie Froehlicher	35
Figure 1.33 : Schématisation des systèmes de haies doubles avec talus unique et avec chemin d'après les descriptions de Nedelec (1978) ; Auteur : Lucie Froehlicher	35
Figure 1.34 : Photo d'une haie double localisée sur le site d'Uffheim (68) ; Source : Lucie Froehlicher	36

Figure 1.35 : Haie en douve ; Auteur : Lucie Froehlicher d'après les descriptions de Lachiver (1997)	36
Figure 1.36 : Représentation schématique de haies complantées d'après les descriptions de Higoumet (1979) ; Auteur : Lucie Froehlicher	37
Figure 1.37 : Exemple de haie complanté (culture/arbres fruitiers) dans le secteur de Romanswiller (67). Les arbres du premier plan sont alignés sur un talus ; photo : Lucie Froehlicher	38
Figure 1.38 : Morphologie et fonctionnement d'une haie brise-vent perméable d'après Liagre (2006). Auteur: Lucie Froehlicher	38
Figure 1.39 : Fonctionnement d'une haie brise-vent d'après Liagre (2006), Auteur: Lucie Froehlicher.	39
Figure 1.40 : Processus de fabrication d'une haie par clayonnage d'après les descriptions de Talbot (1955) ; Auteur : Lucie Froehlicher	40
Figure 1.41 : Fabrication d'une haie de plessage d'après Liagre (2006), Auteur: Lucie Froehlicher	41
Figure 1.42 : Evolution du nombre d'espèce végétale dans les haies en fonction de de l'âge des haies ; Source : Hooper (1981)	47
Figure 2.1 : Richesse relative en M.O. des colluvions et des sols en place	50
Figure 2.2 : Influence du couvert végétal sur la production de colluvion ; Source : Lucie Froehlicher	51
Figure 2.3 : Ruissellement diffus et formation de lamines ; Source : Lucie Froehlicher	52
Figure 2.4 : Effet Splash ; Source : Lucie Froehlicher	53
Figure 2.5 : Coulée d'eaux boueuses (A), Croûte sédimentaire(B) et lamines (C) en zone agricole ; Photos : D. Schwartz	54
Figure 2.6 : Formation d'un rideau de culture d'après Soutter ; Source : Lucie Froehlicher	56
Figure 2.7 : Principe de formation d'un rideau de culture, Auteur: Lucie Froehlicher	58
Figure 2.8 : Différenciation Rideau de culture VS Terrasse ; Auteur : Lucie Froehlicher	59
Figure 2.9 : A : Terrasse du secteur de Wasselonne (Alsace) et B : rideaux de culture (Louny/République Tchèque) ; Photo : Dominique Schwartz	59
Figure 2.10 : Schéma composite de l'organisation des sols des toposéquences étudiées par Follain, 2005 à Montours (35)	61
Figure 2.11 : Schéma composite des situations décrites par Carnet et al. (1979). Légende redessinée par Lucie Froehlicher	63
Figure 2.12 : Localisation des zones d'accumulation de la terre par colluvionnement sur un versant d'après Baize et Jabiol (2011) p. 11 ; DAO : Lucie Froehlicher	64
Figure 2.13 : Schéma de l'analyse paysagère (Deffontaines, 1998).	66
Figure. 2.14 : Digitalisation des rideaux de cultures dans le secteur d'Habsheim (68) ; Source LIDAR : CG68	67
Figure 2.15 : Exemple de toposéquences extraites de la thèse de Follain (2005) page 41 : « Géométrie des horizons pour les toposéquences N3, W1.2 et W2.2 intersectant d'anciens talus" (Follain, 2005).	68
Figure 3.1 : Coupe de loess ; Fouilles INRAP/PAIR à Reiningue (bordure du Sundgau) ; Photo : D. Schwartz	72
Figure 3.2 : Dépôt des loess éoliens ; redessiné par L. Froehlicher de Andersen et Borns (1997) cités in Delage et al., 2005	73
Figure 3.3 : Répartition des placages des loess en Europe ; Source : Haase et al., 2007	75
Figure 3.4 : Répartition des loess dans le Bassin Rhénan ; Carte établie par Grahmann cité par Leplat, 1968, redessinée par L. Froehlicher	76
Figure 3.5 : Répartition des sols en Europe ; Source : European Commission, 2010	78
Figure 3.6 : Cycles de pédogénèse sur limon en climat tempéré ; repris de Duchaufour, 1997	79

Figure 3.7 : Clichés d'argiles poussiéreuses dans une porosité refermée, sédiment tassé et remanié. A : Lumière naturelle, B : Lumière polarisée ; Source : Anne Gebhardt	80
Figure 3.8 : Sol brun lessivé d'Alsace (Mulhouse/68) ; Photo : Dominique Schwartz	81
Figure 3.9: Chernozem (République Tchèque) ; Photo : Dominique Schwartz	82
Figure 3.10 : Les rôles de la matière organiques des sols ; Repris et redessiné d'après de Vigot, 2012 et Chenu & Balabane, 2001	84
Figure 3.11 : Comportement du carbone organique dans le sol ; A partir de Bernoux et Chevallier , 2013	85
Figure 3.12 : Evolution de l'âge apparent de la MOS avec la profondeur ; repris de Schwartz, 2004	87
Figure 3.13 : Différence entre le TMR de la MOS et l'âge absolu de charbons de bois : le premier reste stable au cours du temps (TMR) et le second augmente (charbons) ; repris de Schwartz (2012)	88
Figure 3.14 : Evolution du TMR dans les sols bruns lessivés et les chernozems ; repris et modifié de Guillet, 1979.	88
Figure 3.15 : Mécanismes de protection des MOS ; Redessiné et modifié d'après Chenu et al., 2009	89
Figure 3.16 : Graphique du potentiel de stockage de C additionnel pour la France métropolitaine/an ; Source : Chenu et al., 2014 (N.B. : AMT = Assiette Maximale Technique, à savoir «la surface sur laquelle l'action pourrait être développée, en tenant compte de critères pédologiques, agronomiques et environnementaux »)	97
Figure 3.17 : Evolution de la teneur (g kg ⁻¹) de carbone organique dans les profils de sol érodé et d'accumulation ; Repris de Wang et al., 2013	99
Figure 4.1 : Fonctionnement de l'analyse LIDAR ; Source : Lucie Froehlicher d'après Benoit Sittler (ppt non daté)	106
Figure 4.2 : Différence entre DSM et DTM ; Source : Lucie Froehlicher dans ArcGis 10.1 à partir des données brutes du CG68	107
Figure 4.3 : Modification des ombrages sur un fichier DTM ; Source : Lucie Froehlicher dans ArcGis 10.1 à partir des données brutes du CG68	108
Figure 4.4 : Détection manuelle (non exhaustive) de rideaux de culture sur une image LIDAR de la commune de Dietwiller (Alsace/Haut-Rhin) ; Source : Lucie Froehlicher sur ArcGis 10.1 à partir des données brutes du CG68.	109
Figure 4.5 : Réalisation de coupe topographique avec la fonction 3D Analyst ; Source : Lucie Froehlicher sur ArcGis 10.1 à partir des données brutes du CG68.	109
Figure 4.6 : Mise en 3D d'un fichier DTM. Ici , dalle DTM du Sundgau (Haut-Rhin/Alsace) représentant une frange des zones collinaires du Sundgau ; Source : Lucie Froehlicher dans ArcScene TM 10.1 à partir des données brutes du CG68.	110
Figure 4.7 : Exemple de photos aériennes de 1951 (à gauche) et 1973 (à droite) du secteur d'Habsheim (68) ; Source : Lucie Froehlicher à partir des photos IGN. Les points rouges sont donnés pour faciliter la comparaison	111
Figure 4.8 : Combinaison de différentes données spatio-temporelles ; Source : Lucie Froehlicher à partir des données : Infogéo68 ; CG68.	117
Figure 4.9 : Protocole de prélèvement pour les datations OSL appliqué au profil HABS 06 de Habsheim (68) ; Source : Lucie Froehlicher	119
Figure 4.10 : Banc optique du granulomètre laser Beckmann Coulter LS 13320 Laser Diffraction Particule Size Analyser ; Repris et modifié de Beckman Coulter	124
Figure 4.11 : Manipulation de Walkley et Black pour la mesure du Carbone organique ; Source Photo : Dominique Schwartz	127
Figure 4.12 : Enregistrement des pics d'azote (N) et de carbone (C) avec l'analyseur élémentaire FLASH 2000 N et NC	128

Figure 4.13 : Prélèvement des cylindres pour la mesure des densités apparentes ; Source : Lucie Froehlicher _____	129
Figure 4.14 : Spectre électromagnétique ; redessiné d'après CIRAD (2008) _____	130
Figure 4.15 : Spectre acquis par la SPIR en absorbance ; Source : ERTLEN, 2009 _____	130
Figure 4.16 : Etapes de l'analyse SPIR ; Source : Lucie Froehlicher _____	132
Figure 4.17 : Prélèvement et préparation des lames minces ; Source : Lucie Froehlicher _____	134
Figure 5.1 : Niveaux d'analyse spatiale avant sélection du site ; Source : Lucie Froehlicher _____	138
Figure 5.2 : Etapes d'identification des rideaux de culture à partir du LIDAR et des photos aériennes (Alsace/Haut-Rhin/68) ; Données: InfoGéo68 ; Source : Lucie Froehlicher _____	138
Figure 5.3 : Démarche méthodologique d'extraction des rideaux de cultures et des haies ; Source : Lucie Froehlicher _____	139
Figure 5.4 : Localisation du site d'Habsheim (carré rouge) sur la carte de zonage agro-pédologique ; Source : Repris de Party, 2001 & Party, 1999 (cartes fusionnées). _____	140
Figure 5.5 : Localisation du site d'étude ZOO (point rouge) sur une carte topographique du secteur de Mulhouse (Haut-Rhin/68) ; Source : Lucie Froehlicher d'après la carte topographique en ligne de Géoportail. _____	142
Figure 5.6 : Localisation du site de référence "HABSREF" sur la carte topographique de Habsheim ; Source : Lucie Froehlicher à partir de la carte topographique de Géoportail _____	143
Figure 5.7: Localisation de la fosse de référence HABSREF sur une carte allemande de 1886 au sein d'une parcelle de vergers ; Source : Preuss. Geod. Institut Potsdam, 2006 1004178, Mülhausen (Ost), 1/25 000, Berlin, Reischsmat für Landsaufnahme). _____	144
Figure 5.8 : Localisation de la fosse HABSREF(point rouge) sur un plan de 1918 ; Légende : En jaune, les terres labourables ; en violet, les vignes et en vert, les prés et vergers. Source : BNUS M CARTE554. _____	145
Figure 5.9 : Localisation de la fosse HABSREF sur l'extrait de la carte géologique de Mulhouse au 1/50 000, zoom sur la commune d'Habsheim ; source : Lucie Froehlicher d'après Théobald, 1976 _____	146
Figure 5.10 : Zoom sur la carte topographique de la commune d'Habsheim avec localisation de la toposéquence (trait rouge); Source : Géoportail _____	147
Figure 5.11 : Localisation du transect et des fosses ; Source: Hubert Ortlieb (Géomètre Expert) _____	148
Figure 5.12 : Profil en long du transect d'étude ; Source : Hubert Ortlieb (Expert Géomètre) _____	149
Figure 5.13 : Localisation du transect d'étude sur le LIDAR de la commune d'Habsheim ; Source : CG68 _____	150
Figure 5.14: Localisation de la toposéquence HABS sur un extrait de la carte Géologique de Mulhouse au 1/50 000 ; Source : Lucie Froehlicher d'après Théobald, 1976 _____	151
Figure 5.15 : Localisation du transect d'étude sur un extrait du plan d'arpentage de 1760 ; Source : Archives Départementale Du Haut-Rhin C1164/7 _____	152
Figure 5.16 : Carte de 1883, Mulhausen Ost 3685, BNU, M Carte 1196-130 _____	153
Figure 5.17 : Plan d'assemblage de la commune d'Habsheim avec localisation du transect en rouge, Edition :1918 ; Source : BNUS M carte 554 _____	154
Figure 5.18 : Etat des surfaces cultivées (= terres labourables) à différentes époques autour du transect d'étude Sources : Carte de 1883, Mulhausen Ost 3685, BNU, M Carte 1196-130 ; Plan d'assemblage de la commune d'Habsheim, 1918, BNUS M carte 554 ; Extrait du plan d'arpentage de 1760, Archives Départementale Du Haut-Rhin C1164/7 ; Ortophoto de 2007 , CG68 ; Auteur carte : Lucie Froehlicher _____	155
Figure 5.19 : Localisation des haies, Source: Plan de Hubert ORTLIEB (Géomètre Expert) _____	156
Figure 5.20 : Cadre de 1 m X 1 m pour un relevé floristique; Source : Quentin BOESCH _____	157
Figure 5.21 : Abondance des végétaux de la haie HABS HAUT ; Source : Quentin BOESCH _____	158
Figure 5.22: Abondance des végétaux de la haie HABS MILIEU ; Source : Quentin BOESCH _____	159

Figure 5.23 : Abondance des végétaux de la haie HABS BAS ; Source : Quentin BOESCH	160
Figure 5.24 : Localisation de la toposéquence de Uffheim (trait rouge) ; Source : Géoportail	161
Figure 5.25 : LIDAR du secteur de Uffheim/Sierentz (68) avec localisation du site d'étude « UFF » ; Source : Géoportail	162
Figure 5.26: Extrait de la carte géologique de Altkirch-Huningue (1/50000) ; Source : Théobald, 1950	163
Figure 5.27 : Fusion du plan d'arpentage de Uffheim et de Sierentz et localisation de la parcelle d'étude ; Source : ADHR, C1175/12 ; ADHR, C1173/18	164
Figure 5.28 : Photo aérienne du la parcelle d'étude de Uffheim : UFF ; Source : Google Earth	165
Figure 5.29 : Abondance des végétaux de la haie UFF SUD ; Source : Quentin Boesch	166
Figure 5.30 : Abondance des végétaux de la haie UFF NORD ; Source : Quentin Boesch	167
Figure 5.31 : Localisation de la toposéquence "CIG" ; Source : Lucie Froehlicher	167
Figure 5.32 : Localisation de la toposéquence CIG sur le LIDAR de Habsheim ; Source : Lucie Froehlicher à partir de l'Image LIDAR du CG68	168
Figure 5.33 : Localisation du transect CIG sur un extrait du plan d'arpentage de 1760 ; Source : Archives Départementale Du Haut-Rhin C1164/7	169
Figure 5.34 : Localisation de la fosse de référence CIG sur une carte allemande de 1886 ; Source : Mülhousen (Ost), 1/25 000, Berlin, Reichsmat für Landsaufnahme).	169
Figure 5.35 : Plan d'assemblage de la commune d'Habsheim avec localisation du transect en rouge, Edition :1918 ; Source : BNUS MCARTE554.	170
Figure 5.36 : Localisation du site d'étude MARMOU (Marmoutier/67) ; Source : Géoportail	171
Figure 5.37 : Rideau de culture à Marmoutier (67); Photo: Lucie Froehlicher	172
Figure 5.38 : Haie sur pierrier (Marmoutier, 67); Photo: Lucie Froehlicher	172
Figure 5.39 : Champs bombés sur la route entre Dimbsthal et Marmoutier non loin du site d'étude ; Photo : Lucie Froehlicher	173
Figure 4.40 : Carte géologique de France, secteur de Saverne ; Source : Sittler et al., 1979	174
Figure 5.41: Localisation du site d'étude (étoile rouge) sur le plan d'assemblage de la commune de Marmoutier de 1822 ; Source : Archives Départementales du Bas-Rhin ; Figure : Lucie Froehlicher ; Logiciel : ArcGis	174
Figure 5.42 : Détail des structures agraires présentent sur le site d'étude de Marmoutier, relevés à partir des cartes anciennes et des données de terrains Zoom sur le cadastre de la commune de Marmoutier de 1822, Source : Section D1 feuille 1ère Archives Départementale du Bas-Rhin 3P496/40 ; Schéma : Lucie Froehlicher ; Logiciel : ArcGis	175
Figure 6.1 : Répartition des toponymes sur l'Alsace ; Auteur : Lucie Froehlicher à partir de la carte de http:// claude.shott.free.fr/	183
Figure 6. 2 : Trois exemples de représentations de haies en bandes isohypses. (A) : Atelier de Jean Bourdichon – vers 1490 ; Annonce aux bergers, Heures à l'usage de Tours. Paris, bibl. Mazarine, ms. 0507, f. 064 ; (B) : Anonyme – quatrième quart du 15e s. ; Visitation, Heures à l'usage de Clermont ; Clermont-Ferrand, BM, ms. 1508, f. 035 ; (C) : Jean Colombe, vers 1480/85 ; Visitation, Heures à l'usage de Rome. Besançon, BM, ms. 0148, f. 049. N.B. sur le 2° document (B), les haies du premier plan sont peut-être associées à des rideaux de culture	188
Figure 6.3 : Représentation des rideaux par des ressauts topographiques. - Anon. – 4° quart XV° siècle/XVI° siècle ; le songe de Jacob, Heures/Album de miniatures composite. Amiens, BM, ms. 0107, f. 010 ; B : Par le raccourcissement de la perspective. - Maître de Jacques d'Armagnac – av. 1476 ; Chasseur, Livre de la Chasse de Gaston Phébus. Paris, bibl. Mazarine, ms. 3717, f. 050v ; C : par un décrochement topographique. – Anon. – vers 1500 ; Labour et semailles, Heures à l'usage de Tours ou de Bourges. Tours, BM, ms. 2283, f. 010	188
Figure 6.4 : Planche n°1 des œuvres représentant des paysages de haies dans l'espace Rhénan ; Source : Lucie Froehlicher	193

Figure 6.5 : Planche n°2 des œuvres représentant des paysages de haies dans l'espace Rhénan ; Source : Lucie Froehlicher	194
Figure 6.6 : Planche n°3 des œuvres représentant des paysages de haies dans l'espace Rhénan ; Source : Lucie Froehlicher	195
Figure 6.7 : Planche n°4 des œuvres représentant des paysages de haies dans l'espace Rhénan ; Source : Lucie Froehlicher	196
Figure 6.8 : Planche n°5 des œuvres représentant des paysages de haies dans l'espace Rhénan ; Source : Lucie Froehlicher	197
Figure 6.9 : Planche n°6 des œuvres représentant des paysages de haies dans l'espace Rhénan ; Source : Lucie Froehlicher	198
Figure 6.10 : Planche n°7 des œuvres représentant des paysages de haies dans l'espace Rhénan ; Source : Lucie Froehlicher	199
Figure 6.11 : Planche n°8 des œuvres représentant des paysages de haies dans l'espace Rhénan ; Source : Lucie Froehlicher	200
Figure 6.12 : Planche n°9 des œuvres représentant des paysages de haies dans l'espace Rhénan ; Source : Lucie Froehlicher	201
Figure 6.13 : Frise chronologique de l'évolution des haies dans le Rhin Supérieur en fonction des évènements historiques ; Source : Lucie Froehlicher	202
Figure 6.14 : Couverture des systèmes de haies en Alsace d'après le LIDAR, les photos aériennes et les prospections de terrains ; Source : Lucie Froehlicher	205
Figure 6.15 : LIDAR de la commune de Luemschwiller (68) ; Source : Infogéo68	206
Figure 6.16 : Reconstitution du paysage de haies à partir du LIDAR de la commune de Luemschwiller (68) ; Source : Lucie Froehlicher à partir du fond Infogéo68	207
Figure 6.17 : Exemple de haies fonctionnelles à Peltlery / Domašín (République Tchèque) ; Source : Lucie Froehlicher d'après Google Earth	208
Figure 6.18 : Exemple de haies fonctionnelles à Louny (République Tchèque) ; Source : Lucie Froehlicher d'après Google Earth	208
Figure 6.19 : Exemple de haies fonctionnelles à Velké Chvojno (République Tchèque) ; Source : Lucie Froehlicher d'après Google Earth	209
Figure 6.20 : Rideau de culture du site de Velké Chvojno en République Tchèque ; Source : Lucie Froehlicher	209
Figure 7.1 : Digitalisation des haies à partir de la carte ancienne de 1883 pour la commune de Habsheim ; Source : Carte de 1883 Mulhausen Ost 3685 / BNUS, M Carte 1196-130	212
Figure 7.2 : Digitalisation des haies en 1885 pour la commune de Habsheim ; Source : Carte ancienne de Mulhouse et ses environs, Reichsamt, 1885, BNUS	213
Figure 7.3 : Digitalisation des haies pour l'année 1934 pour la commune de Habsheim (photo : Géoportail) ; Source : Lucie Froehlicher	215
Figure 7.4 : Digitalisation des haies en 1951 pour la commune de Habsheim (photo : Géoportail) ; Source : Lucie Froehlicher	216
Figure 7.5 : Digitalisation des haies pour la commune de Habsheim en 1963 (photo : Géoportail) ; Source : Lucie Froehlicher	217
Figure 7.6 : Digitalisation des haies en 1973 pour la commune de Habsheim (photo : Géoportail) ; Source : Lucie Froehlicher	218
Figure 7.7 : Digitalisation des haies en 1984 pour la commune de Habsheim (photo : Géoportail) ; Source : Lucie Froehlicher	219
Figure 7.8 : Digitalisation des haies en 1991 pour la commune de Habsheim (photo : Géoportail) ; Source : Lucie Froehlicher	221
Figure 7.9 : Etat des systèmes de haies dans la commune d'Habsheim à partir de l'orthophoto de 2007 ; Source : Lucie Froehlicher à partir des données IGN/CG68	222

Figure 7.10 : Synthèse des digitalisations des haies des photos aériennes de 1934 à 1991 pour la commune de Habsheim (7.10A) et 2007 (7.10B) ; Source : Lucie Froehlicher	224
Figure 7.11 : Graphique d'évolution du linéaire de haies (m) sur la commune de Habsheim en fonction des années ; Source : Lucie Froehlicher	226
Figure 7.12 : Mise en évidence des rideaux de culture à partir du LIDAR ; Fonds LIDAR : CG68	227
Figure 7.13 : Parcellaire de la commune d'Habsheim en 1951(zoom sur la partie centrale de la commune) ; Source : Lucie Froehlicher	228
Figure 7.14 : Parcellaire de la commune d'Habsheim en 1984 ; Source : Lucie Froehlicher	231
Figure 7.15 : Parcellaires de la commune d'Habsheim en 1991 ; Source : Lucie Froehlicher	233
Figure 7.16 : Parcellaire de la commune d'Habsheim en 2007 ; Source : Lucie Froehlicher	233
Figure 7.17 : Digitalisation des haies représentées sur la carte de 1880 pour les communes d'Uffheim et Sierentz (Carte : Preuss. Geod. Institut Potsdam, 2006) ; Source : Lucie Froehlicher	240
Figure 7.18: Les occurrences de haies en 1934 dans les communes de Sierentz et Uffheim Source Lucie Froehlicher	241
Figure 7.19 : Occurrences des haies en 1949 dans les communes de Sierentz et Uffheim	242
Figure 7.20 : Etat des haies en 1956 dans les communes de Sierentz et Uffheim	243
Figure 7.21 : Etat des haies en 1966 dans les communes de Sierentz et Uffheim ; Source : Lucie Froehlicher	244
Figure 7.22 : Etat des haies en 1985 dans les communes de Sierentz et Uffheim	246
Figure 7.23 : Etat des haies en 1991 dans les communes de Sierentz et Uffheim	247
Figure 7.24 : Digitalisation des haies en 2007(Image : CG68) ; Source : Lucie Froehlicher	248
Figure 7.25 : Evolution des linéaires de haies à Uffheim et Sierentz entre 1880 et 2007 ; Source : Lucie Froehlicher	249
Figure 7.26 : Relevé des rideaux de culture sur une image LIDAR (CG68) ; Source : Lucie Froehlicher	250
Figure 7.27: Parcellaires des communes d'Uffheim et de Sierentz en 1956 (photo : Géoportail) ; Source : Lucie Froehlicher	251
Figure 7.28 : Parcellaires des communes d'Uffheim et de Sierentz en 1985 (photo : Géoportail) ; Source : Lucie Froehlicher	253
Figure 7.29 : Surface labourée des communes d'Uffheim et Sierentz en 2007	254
Figure 8.1 : Fosse HABSREF avec délimitation des horizons ; photo : Lucie Froehlicher	257
Figure 8.2 : Fosse ZOO avec délimitation des horizons ; Source : Lucie Froehlicher	258
Figure 8.3 : Toposéquence d'Uffheim "UFF" : organisation latérale des sols ; Source : Lucie Froehlicher	259
Figure 8.4 : Photos des fosses UFF 01, UFF 02 et UFF 03 avec délimitation des horizons ; Photos : Lucie Froehlicher	260
Figure 8.5 : Reconstitution du tripode retrouvé dans la fosse UFF 03 et comparaison avec un tripode la littérature (Klein, 1989) ; photo : Lucie Froehlicher	261
Figure 8.6 : Toposéquence de Habsheim "HABS" ; Source : Lucie Froehlicher	262
Figure 8.7 : Photos des fosses HABS 01, HABS 02 et HABS 03 avec délimitation des horizons ; Photos : Lucie Froehlicher	263
Figure 8.8 : Photos de la fosse HABS 05 avec délimitation des horizons ; Photo : Lucie Froehlicher	264
Figure 8.9 : Photos de la fosse HABS 10 avec délimitation des horizons ; Photo : Lucie Froehlicher	264
Figure 8.10 : Photos de la fosse HABS 06 et délimitation des horizons ; Source : Lucie Froehlicher	265
Figure 8.11 : Photos des fosses HABS 07 et HABS 08 avec délimitation des horizons ; Source : Lucie Froehlicher	266
Figure 8.12 : Photos de la fosse HABS 09 et délimitation des horizons ; Photos : Lucie Froehlicher	266
Figure 8.13 : Scénario de mise en place des paysages de la toposéquence HABS d'après l'observation et la description des fosses associées à cette toposéquence ; Source : Lucie Froehlicher	268
Figure 8.14 : Toposéquence "CIG" à Habsheim ; Source : Lucie Froehlicher	269

Figure 8.15 : Photos de la fosse CIG 01 avec délimitation des horizons ; Photos : D. Schwartz ou L/C/IIS/IIC _____	270
Figure 8.16 : Photos de la fosse CIG 02 avec délimitation des horizons ; Photos : D. Schwartz _____	270
Figure 8.17 : Photos de la fosse CIG 03 avec délimitation des horizons ; Photos : D. Schwartz LA pas L/A _____	271
Figure 8.18 : Coupe du pierrier appuyé sur un rideau de culture à Marmoutier ; Source : Lucie Froehlicher _____	272
Figure 8.19 : Evolution du pHeau du profil ZOO (Habsheim) ; Source : Lucie Froehlicher _____	273
Figure 8.20 : Résultats de l'analyse granulométrique du profil ZOO ; Source : Lucie Froehlicher _____	274
Figure 8.21 : Evolution du pH eau en fonction de la profondeur pour le profil HABSREF sous prairie ; Source : Lucie Froehlicher _____	275
Figure 8.22 : Résultats de l'analyse granulométrique du profil HABSREF ; Source : Lucie Froehlicher _____	276
Figure 8.23 : Résultats des mesures de pH pour la toposéquence HABS ; Source : Lucie Froehlicher _____	277
Figure 8.24 : Evolution des profils granulométriques sur la toposéquence HABS ; Source : Froehlicher et al., 2016 _____	279
Figure 8.25 : Graphique du cumule des fréquences d'apparition des différentes teneurs en sables ; Source : Lucie Froehlicher _____	280
Figure 8.26 : Etude de la répartition des sables pour chaque profil du site d'Habsheim ; Figure : Lucie Froehlicher _____	281
Figure 8.27 : Evolution du rapport LF/LG pour la toposéquence d'Habsheim ; Source : Lucie Froehlicher _____	282
Figure 8.28 : Evolution des valeurs du pHeau pour la toposéquence d'Uffheim ; Source : Lucie Froehlicher _____	286
Figure 8.29 : Résultats de l'analyse granulométrique de la toposéquence d'Uffheim ; Source : Lucie Froehlicher _____	288
Figure 8.30 : Résultat des mesures de pH pour la toposéquence CIG ; Source : Lucie Froehlicher _____	290
Figure 8.31 : Résultats granulométriques pour la toposéquence CIG ; Source : Lucie Froehlicher _____	291
Figure 8.32 : Localisation des prélèvements sélectionnés pour la réalisation des lames minces ; Source : Lucie Froehlicher _____	293
Figure 8.33 : Lames minces de la fosse HABS 03 et photos associées ; Source image : Anne Gebhardt _____	295
Figure 8.34 : Lames minces de la fosse HABS 06 et quelques clichés du zoom de HABS 06 ; Source image : Anne Gebhardt _____	297
Figure 8.35 : Lames minces de la fosse HABS 08 et quelques clichés du zoom de HABS 08 ; Source image : Anne Gebhardt _____	299
Figure 8.36 : Lames minces de la fosse HABS 09 et des clichés de zoom sur les lames ; Source image : Anne Gebhardt _____	301
Figure 8.37 : Transformation des spectres acquis par SPIR après un detrend et une standardisation ; Source : Unscrambler _____	303
Figure 8.38 : Résultats de la classification tripartite de l'ensemble de nos d'études (Habsheim, Uffheim, Mulhouse) ; Source : Graphique produit par le logiciel SPSS _____	304
Figure 8.39 : Graphiques d'évolution des scores de la fonction 1 (à gauche) et de la fonction 2 (à droite) pour les sites ZOO et HABSREF ; Source : Lucie Froehlicher _____	306
Figure 8.40 : Attribution des scores de la fonction 1 pour la toposéquence HABS ; les croix rouges correspondent à des échantillons non interprétés en raison de leur teneur trop faible en Corg. Source : Lucie Froehlicher _____	308
Figure 8.41 : Attribution des scores de la fonction 2 pour la toposéquence HABS ; Source : Lucie Froehlicher _____	309

Figure 8.42 : Evolution des scores de la fonction 1 et 2 pour la toposéquence d'Uffheim, UFF ; Source : Lucie Froehlicher	310
Figure 8.43 : Evolution des scores de la fonction 1 et 2 pour la toposéquence CIG ; Source : Lucie Froehlicher	312
Figure 8.44 : Emplacement des datations sur la toposéquence d'Habsheim ; Repris de Froehlicher et al., 2016	314
Figure 8.45 : Scénario d'établissement de la toposéquence d'Habsheim ; Repris de Froehlicher et al., 2016	317
Figure 8.46 : Résultat des datations OSL de la toposéquence d'Uffheim ; Source : Lucie Froehlicher	319
Figure 8.47 : Résultat de la datation 14C du paléosol de Marmoutier ; Source : Lucie Froehlicher	320
Figure 9.1 : Calcul du stock de terre ; Source : Lucie Froehlicher	323
Figure 9.2 : Mesures de densité apparente pour la référence sous forêt ZOO ; Source : Lucie Froehlicher	324
Figure 9.3 : Evolution des stocks de Corg cumulé et Corg pour la fosse ZOO ; Source : Lucie Froehlicher	326
Figure 9.4 : Stock de Corg par horizon pour la fosse ZOO ; Source : Lucie Froehlicher	326
Figure 9.5 : Variation des densités apparentes avec la profondeur, profil HABSREF; Source : Lucie Froehlicher	327
Figure 9.6 : Evolution des stocks de Corg cumulé et de Corg pour le profil HABSREF ; Source : Lucie Froehlicher	328
Figure 9.7 : Evolution des stocks de Corg cumulé et de Corg pour le profil HABSREF ; Source : Lucie Froehlicher	328
Figure 9.8 : Evolution des densités apparentes des profils de la toposéquence HABS ; Source : Lucie Froehlicher	330
Figure 9.9 : Calcul des stocks de terres pour chaque fosse jusqu'à l'apparition du loëss ; Source : Lucie Froehlicher	333
Figure 9.10 : Calcul du volume de colluvions accumulés sur le tronçon 1 ; Source : Lucie Froehlicher	335
Figure 9.11 : Détermination de la zone d'ablation et de dépôt du tronçon 1 du site d'Habsheim ; Source : Lucie Froehlicher	336
Figure 9.12 : Calcul de stock de colluvions pour le tronçon 2 du site d'Habsheim ; Source : Lucie Froehlicher	337
Figure 9.13 : Détermination de la zone d'ablation et de dépôt du tronçon 2 du site d'Habsheim ; Source : Lucie Froehlicher	338
Figure 9.14 : Stocks de Corg cumulés (kg/m ²) pour les profils HABS 01, HABS 02, HABS 03, HABS 05, HABS 10 et HABS 06 ; Source : Lucie Froehlicher	340
Figure 9.15 : Stocks de Corg cumulés (kg/m ²) pour les profils HABS 07, HABS 08 et HABS 09 ; Source : Lucie Froehlicher	341
Figure 9.16 : Evolution du stock de carbone organique en fonction de la profondeur, avec un pas de 10 cm, pour l'ensemble des fosses de la toposéquence d'Habsheim ; Source : Lucie Froehlicher	342
Figure 9.17 : Evolution du stock de Corg par horizon pour la toposéquence HABS; Source : Lucie Froehlicher	345
Figure 9.18 : Evolution du stock de Corg par horizon sans l'horizon L pour la toposéquence HABS; Source : Lucie Froehlicher	347
Figure 9.19 : Densité apparente des profils de la toposéquence UFF ; Source: Lucie Froehlicher	350
Figure 9.20 : Résultats des stocks de terre et de colluvions pour la toposéquence d'Uffheim ; Source : Lucie Froehlicher	352
Figure 9.21 : Calcul du stock de colluvions en mètres linéaires de rideau de culture pour la toposéquence UFF (Uffheim) ; Source : Lucie Froehlicher	354

Figure 9.22 : Calcul de la zone d'ablation et de la zone de dépôt du site d'Uffheim (UFF) ; Source : Lucie Froehlicher	355
Figure 9.23 : Stock des Corg cumulés des profils UFF 01, UFF 02 et UFF 03 de la toposéquence d'Uffheim ; Source : Lucie Froehlicher	356
Figure 9.24 : Evolution des densités apparente des profils de la toposéquence UFF ; Source : Lucie Froehlicher	357
Figure 9.25 : Evolution des stocks en Corg par horizon pour la toposéquence UFF ; Source : Lucie Froehlicher	359
Figure 9. 26 : Evolution des densités apparentes pour les 3 profils de sols de la toposéquence CIG ; Source : Lucie Froehlicher	361
Figure 9.27 : Stock de terre des profils de sol de la toposéquence CIG ; Source : Lucie Froehlicher	362
Figure 9.28 : Evolution des stocks de Corg cumulés pour les profils CIG01, CIG02 et CIG03 ; Source : Lucie Froehlicher	362
Figure 9.29 : Evolution des stocks de Corg pour les profils CIG01, CIG02 et CIG03 ; Source : Lucie Froehlicher	363
Figure 9.30 : Evolution des stocks de Corg par horizons pour les profils CIG01, CIG02 et CIG03 ; Source : Lucie Froehlicher	364
Figure 10.1: Extraits d'articles des Dernières Nouvelles d'Alsaces sur les coulées de boues ; Montage : Lucie Froehlicher	370
Figure 10.2 : Avant/Après implantation de haies, œuvres tirées de La synthèse écologique de Duvigneaud (1974) ; Auteur : Martin Tanghe	372

Liste des annexes

<i>Annexe A : Tableau des définitions des haies</i>	399
<i>Annexe B : Tableau de la composition floristique des haies épineuses</i>	403
<i>Annexe C : Annexe de la composition des haies productives</i>	405
<i>Annexe D : Fiche HABS 01</i>	411
<i>Annexe E : Fiche HABS 02</i>	412
<i>Annexe F : Fiche HABS 03</i>	413
<i>Annexe G : Fiche HABS 05</i>	414
<i>Annexe H : Fiche HABS 10</i>	415
<i>Annexe I : Fiche HABS 06</i>	416
<i>Annexe J : Fiche HABS 07</i>	417
<i>Annexe K : Fiche HABS 08</i>	418
<i>Annexe L : Fiche HABS 09</i>	419
<i>Annexe M : Fiche UFF 01</i>	421
<i>Annexe N : Fiche UFF 02</i>	422
<i>Annexe O : Fiche UFF 03</i>	423
<i>Annexe P : Fiche CIG 01</i>	425
<i>Annexe Q : Fiche CIG 02</i>	426
<i>Annexe R : Fiche CIG 03</i>	427
<i>Annexe S : Tableau des valeurs de carbones organiques mesurées dans les luvisols</i>	431
<i>Annexe T : Tableau des métadonnées en lien avec les photos aériennes</i>	437
<i>Annexe U : Tableau des métadonnées en lien avec les archives cartographiques</i>	439
<i>Annexe V : Protocole pour l'analyse granulométrique</i>	441
<i>Annexe W : Tableau des missions de terrains</i>	443
<i>Annexe X : Tableau des toponymes</i>	445
<i>Annexe Y : Fiche HABSREF</i>	463
<i>Annexe Z : Fiche ZOO</i>	464

Liste des abréviations et sigles

A.D. : *Anno Domini* (de notre ère)

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

ADHR : Archives Départementales du Haut-Rhin

ARAA : Association pour la Relance Agronomique en Alsace

B.C. : *Before Christus* (avant J.-C.)

BD : Base de Données

BNF : Bibliothèque Nationale de France

BP : *Before Present* (avant le présent ; l'année de référence du présent est fixée par convention en 1950)

BRF : Bois Raméal Fragmenté

CG68 : Conseil Général 68

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

COP21 : 21^{ème} Conférence des Parties à la convention cadre des Nations Unis sur les changements climatiques (du 30/11/2015 au 12/12/2015)

da : densité apparente (des sols)

DSM : *Detailed Surface Model*

DTM : *Detailed Terrain Model*

EOST : Ecole et Observatoire des Sciences de la Terre

GES : Gaz à Effet de Serre

GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

GPS : *Global Positioning System*

IGN : Institut Géographique National

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

IRHT : Institut de Recherche et d'Histoire des Textes

LAS : Laboratoire d'Analyse des Sols

LGV : Ligne à Grande Vitesse

LIDAR : *Light Detection and Ranging*

LIVE : Laboratoire Image Ville Environnement

MAE : Mesures AgroEnvironnementales

MAET : Mesures AgroEnvironnementales Territorialisées

MO : Matière Organique

MOS : Matière Organique du Sol

ORSTOM : Office de Recherche Scientifique et Technique Outre Mer

OSL : *Optically Stimulated Luminescence*

PAC : Politique Agricole Commune

pH : potentiel Hydrogène

PVC : Poly-Chlorure de Vinyle

S.A.U : Surface Agricole Utile

SIG : Système d'Information Géographique

SNV : *Standard Normal Variate*

SPIR : Spectroscopie Proche InfraRouge

TMR : Temps Moyen de Résidence

TSL : Technique Sans Labour

WGS 84 : *World Geodetic System 1984*

Depuis une bonne dizaine d'années maintenant, le regard porté sur les sols a changé. Il n'est plus un simple support des cultures, mais est perçu comme une ressource non renouvelable (à l'échelle humaine), indispensable à la vie des sociétés. Ce nouveau regard se traduit aussi par une perception systémique du sol : il est devenu un compartiment environnemental à part entière, un écosystème riche de sa propre biodiversité dont le fonctionnement s'appréhende en connexion avec les autres grands compartiments de la biosphère (eau et air). Aujourd'hui, une attention particulière est portée sur sa gestion, en raison des fortes pressions anthropiques qu'il subit et qui entraînent parfois une dégradation exacerbée du système. Erosion, pesticides, nitrates, salinisation, urbanisation ... sont des exemples de menaces fortes pour les sols qui se dégradent et s'amenuisent à l'échelle planétaire. La prise de conscience écologique sur les services écosystémiques rendus par les sols et sur leur rôle indispensable pour les Hommes nous laisse espérer un avenir meilleur en termes de préservation. Ainsi, les sols interviennent même dans les directives environnementales dans la lutte contre le réchauffement climatique, en tant que puits de carbone avec l'initiative 4 % par exemple. Ces aspects sont perçus à des échelles spatiales différentes, du versant élémentaire et de l'exploitation agricole au niveau global. De nombreux travaux de recherche fondamentale ou appliquée s'inscrivent dans le cadre de ces nouvelles approches conceptuelles, sociétales, voire philosophiques.

Ainsi, le programme GERIHCO, cadre scientifique de cette thèse s'inscrit dans cette démarche. Ce programme a pour vocation, depuis 2005, d'étudier l'érosion des sols agricoles en Alsace, en lien avec les coulées d'eaux boueuses. Le principal financement du programme provient de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse. L'implication de cette Agence illustre bien le côté systémique du problème, l'objectif premier étant pour cette structure non pas le volet agricole, mais la nécessité de gérer les sols à l'amont pour protéger les hydrosystèmes à l'aval. Ce programme regroupe un grand nombre de chercheurs de différentes institutions : Université de Strasbourg, CNRS, Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg (ENGEES), Institut National de Recherche Agronomique (INRA), Association pour la Relance Agronomique en Alsace (ARAA) et représentatifs de différentes disciplines (agronomes, économistes, géographes, sociologues).

Les deux premières phases de ce programme ont été consacrées à l'étude des processus, puis à la perception de l'érosion et à l'acceptabilité de solutions diverses. Nous intervenons dans la 3^{ème} phase de ce programme afin de traiter des questions en lien avec les aspects historiques de l'érosion agricole en zone lœssique et la présence des haies vives. Celles-ci jouent un rôle de barrière à l'érosion. L'accumulation de terre érodée, les colluvions, à l'amont des haies va aboutir à la formation de rideaux de culture, qui subsistent sous forme de talus après disparition des haies. On comprend là le potentiel des haies dans la lutte antiérosive et pour le stockage des colluvions, ce qui limite les pertes en terre et évite des phénomènes telles que les coulées boueuses, tellement d'actualité dans les zones lœssiques d'Alsace, ou le comblement des cours d'eau et leur pollution par les nitrates ou les pesticides contenus dans les horizons de surface érodés. De plus, le potentiel de stockage ne se limite pas qu'à la terre. Les colluvions stockées par les haies sont des puits de carbone potentiels au vu de leur position et de leur stabilité supposée. Les haies et les rideaux de culture associés constituent donc une double entrée pour l'étude de la lutte antiérosive et le stockage du carbone organique. Ceci l'intérêt suscité par le projet de thèse aussi bien auprès de l'ADEME (piégeage du carbone organique) qu'auprès de la Région Alsace (lutte antiérosive), structures qui ont chacune financé cette thèse par une demie allocation de recherche.

* *
*
*

Les résultats escomptés à travers cette étude sont multiples. On fournira d'une part un bilan sur les origines et les types de haies qu'il existe, sur les évolutions de ces systèmes au sein de l'espace Rhénan et à l'échelle des sites d'études sélectionnés dans les zones loessiques du Sundgau (Haut-Rhin/68).

En relation avec les autres travaux du programme GERIHCO 3, en particulier par la comparaison des résultats de l'approche historique de la dynamique des systèmes agraires avec ceux du suivi des dispositifs expérimentaux, il sera possible de fournir une estimation de l'efficacité des systèmes de haies en terme de rétention de terre (donc de blocage des coulées de boues) et de fractionnement du colluvionnement, voire de sa réduction drastique par combinaison avec d'autres modifications des systèmes agricoles (passage aux techniques culturales sans labour, par exemple).

D'autre part, il sera possible de fournir une évaluation de l'effet d'un changement d'usage des terres sur les stocks de carbone avec recherche des dynamiques temporelles qui régissent ces variations et les quantités de carbone concernées. Ce sont ainsi des scénarios de fonctionnement du milieu en cas de modifications des paysages agraires par installation de haies qui seront établis. Il sera alors possible de fournir des préconisations pratiques et conseils en termes de gestion future du milieu auprès des acteurs concernés.

Une étude précise sur la datation de ces structures et de l'établissement des colluvions permettra d'affiner cette étude en associant les phases d'érosion et de colluvionnement à des âges plus ou moins précis par la méthode de datation OSL.

* *
*
*

Cette étude apportera une meilleure connaissance d'un système agricole très peu étudié en Alsace, malgré sa grande fréquence dans le passé dans les zones de collines. Les apports concernent aussi bien les aspects spatiaux (répartition) que fonctionnels (dynamique des versants). Les successions de systèmes d'occupation du sol seront également identifiées grâce à l'analyse de la signature spectrale des matières organiques des colluvions en spectroscopie proche infrarouge (SPIR) qualitative. Par exemple, il sera possible de mettre en évidence si une phase de mise en culture succède à un défrichement forestier ou à la conversion de prés.

Cette étude aura aussi pour intérêt de déterminer la stabilité des MOS dans les colluvions (potentiel de stockage de carbone) par comparaison entre les datations OSL du matériel minéral constituant les colluvions et les temps moyens de résidence ¹⁴C de la matière organique qu'elles contiennent. La matière organique sera d'autant plus stabilisée que la différence entre les deux âges sera faible. Par cette approche il devrait être possible de quantifier les puits de carbone potentiels représentés par les accumulations colluviales.

La quantification des stocks de C_{org} (stocks réels, estimation des flux annuels) constituera un autre type de résultats dont l'intérêt est majeur aujourd'hui dans la lutte contre le réchauffement climatique. La quantification des stocks de carbone organique se mesure facilement avec trois paramètres (la teneur en carbone d'un niveau donné, sa densité apparente du sol, son épaisseur) qu'il suffit de combiner ensuite. L'estimation des flux nécessite de rapporter les stocks à une unité temporelle, obtenue par les différentes méthodes de datation que nous emploierons (OSL, datations ¹⁴C sur charbons de bois, typologie des industries archéologiques conservées,...). L'ensemble de ces approches permettra d'estimer le puit réel de carbone représenté par les colluvions.

Les mêmes approches permettront d'estimer le stock de terre représenté par les accumulations. Des comparaisons faites dans les rideaux de culture et dans les accumulations de bas de pente permettront d'estimer l'efficacité réelle des haies en terme de rétention de terre, et donc de blocage de l'érosion, sous ses formes de coulées de boues et de colluvions. Une évaluation de l'effet d'un changement d'usage des terres sur les stocks de carbone sera aussi tentée afin d'établir les variations possibles dans la répartition des stocks selon la localisation dans le profil de sol, selon la localisation topographique, selon l'usage (champs ou haie,...), avec recherche des dynamiques temporelles qui régissent ces variations et les quantités de carbone concernées.

* *

*

Le manuscrit sera organisé en trois grandes parties, composées chacune de deux à quatre chapitres. La première partie correspond à *l'état de l'art* sur les haies, les rideaux de culture et les processus de transfert/stockage associés. Au sein de cette partie, un premier chapitre permettra d'établir un bilan sur les types de haies et leurs rôles. Le deuxième chapitre viendra renseigner l'ensemble des processus de mise en place et de développement des rideaux de culture, structures associées aux haies. Enfin, le troisième chapitre permettra de développer l'état des connaissances sur le loess et les sols qui s'y forment. Dans ce troisième chapitre, nous établirons aussi le bilan sur les capacités de stockage en C_{org} des sols loessiques du type luvisols et chernozems ainsi que sur les sols loessiques d'origine colluviale associés à des haies.

Dans la seconde partie, *matériels et méthodes*, nous présenterons tout d'abord dans le chapitre 4, l'ensemble des outils, techniques et méthodes nécessaires à la réalisation de cette étude. Dans le chapitre 5, une description complète des sites de référence et des toposéquences d'étude permettra de caractériser l'environnement, la géologie, la topographie, la flore et les évolutions géohistoriques.

La dernière partie, les *résultats*, divisée en quatre chapitres, permettra de présenter chaque grands type de résultats de manière indépendante à différentes échelles spatio-temporelles. Ainsi, le chapitre 6 présentera les résultats de l'analyse spatio-temporelle sur l'occurrence et la fréquence des haies à l'échelle de l'Alsace. Le chapitre 7 précisera ces mêmes caractéristiques à l'échelle des sites : Habsheim, Uffheim/Sierentz et Marmoutier. Le chapitre 8 présentera quant à lui l'ensemble des résultats des analyses pédologiques générales et spécialisées (spectroscopie proche infrarouge, micromorphologie et datations OSL/ ^{14}C) de sols de référence et des toposéquences étudiées. Enfin, dans le chapitre 9, on établira un bilan sur les stocks de terre, de colluvions et de C_{org} , et sur les flux d'érosion aux échelles de temps longues afin de mesurer l'efficacité des haies comme barrière à l'érosion et comme puits de carbone.

Une conclusion générale et perspectives permettra d'établir un bilan sur l'ensemble des résultats présentés et d'en extraire les résultats majeurs. Des perspectives sur le devenir des haies en Alsace et sur une adaptation possible des pratiques agricoles modernes vers un système de culture associé à des haies y seront proposées.

Première partie

De la haie aux fonctionnements des systèmes agraires : un état de l'art

Chapitre 1: Les systèmes de haies et leurs rôles

L'objectif de ce chapitre est de faire une synthèse sur la « haie », en termes de définition et de concepts qui en découlent. A partir d'une étude du champ sémantique de ce terme, tel que défini dans des ouvrages spécialisés agricoles, nous retiendrons une définition pratique qui nous servira de support pour l'ensemble de cette étude. Nous traiterons ensuite des différents rôles assignés et/ou induits des haies, de leur genèse, de leurs formes et de leurs compositions. Enfin nous terminerons par présenter les différentes méthodes de datations de ces haies et leurs limites. En revanche nous n'aborderons pas l'organisation des haies en systèmes bocagers, dont le maillage complexe nécessiterait d'autres approches. Il serait en effet réducteur d'assimiler un ensemble de haies à un système bocager, ainsi que le rappelle M. Bloch (1931).

1.1 Une évolution sémantique conséquente du terme « haie »

Obstacle infranchissable, bande linéaire végétale (Baudry et Jouin., 2003 ; Boissinot *et al.*, 2014), forêt (Higounet, 1979), espace boisé (Higounet, 1979) : le mot haie occupe une large palette sémantique. Avec une telle diversité de significations, on comprend bien que les concepts recouverts par ce terme sont également très divers. Ainsi, il est essentiel de présenter en détail les différents sens du mot « haie » et de retracer ses évolutions au fil des siècles. A cet effet, nous avons recherché les différents sens du mot dans des ouvrages de références (Liagre, 2006 ; Higounet, 1979 ; Lachiver, 1997 ; Boissinot *et al.*, 2014; Martin & Rovera, 1998 ; Robert, 1973 & 2005). Nous avons également consulté l'ensemble des éditions du Larousse Agricole de 1921 à nos jours. Il était en effet intéressant de comparer les évolutions notables des définitions données dans le même ouvrage de référence au fil du temps, car cette évolution reflète l'évolution des mentalités et des préoccupations scientifiques, techniques et culturelles.

Une liste non exhaustive de définitions tirées de ces ouvrages spécialisés est présentée en Annexe 1 (A).

1.1.1 Une analyse des définitions du mot « haie »

Au fil des siècles (du 13^{ème} siècle à l'actuel), les définitions du mot « haie » ont évolué considérablement en ce qui concerne leur complexité. Cette évolution semble corrélée avec les usages en cours : pendant les périodes où les haies présentent un fort intérêt, la définition

sera plus conséquente. Par ailleurs, les différents sens du mot ont beaucoup évolué depuis le 13^{ème} siècle. On passe du sens très simpliste de la haie vue comme une « limite » (Higounet, 1979 ; Le Robert, 1973 ; Larousse Agricole, 1921) à des significations beaucoup plus complexes comme celle de « modulateur de flux » (Liagre, 2006). Plus précisément, un contraste très important se dessine entre les définitions « anciennes » (avant les années 2000) et les définitions « modernes » après l'an 2000 (Liagre, 2006 ; Boissinot *et al.*, 2014).

Les définitions plus anciennes allant jusqu'au milieu du 20^{ème} siècle ne présentent que des informations factuelles en lien avec la haie : forme, taille, type, composition, orientation, etc (Higounet, 1979 ; Le Robert, 1973 ; Larousse Agricole, 1921). Pour leur part, les définitions plus modernes (post 2000) ne se contentent plus de définir l'objet par ses caractéristiques physiques observables, mais offrent une conceptualisation avec des sens plus modernes comme celui de « connecteur d'ensemble » (Liagre, 2006), de « modulateur de flux » (Liagre, 2006), « d'élément intégré au paysage » (Boissinot *et al.*, 2014).

1.1.2 Les « mots clefs » de l'analyse sémantique de la haie

Nous avons procédé à une analyse de la fréquence d'apparition de mots clefs tels qu'ils peuvent être déduits à partir des définitions du mot « haie » relevées au sein du corpus d'ouvrages signalés en introduction. La figure 1.1 permet de synthétiser l'ensemble de ces mots clefs et l'évolution de la signification prise par le mot « haie » au cours du temps. Ainsi, cette analyse permet d'en identifier trois grandes catégories.

1.1.2.1 Les haies vues comme des « forêts »

Un des sens fréquents donnés à la haie est celui de forêt. Au Moyen Âge (Higounet, 1979), ce sens est relativement généralisé. Il perdure jusqu'à nos jours dans l'expression « forêt linéaire » qui sert encore parfois à définir cette formation (Boissinot *et al.*, 2014). La « haie d'Avesnes » en est un bon exemple. Ici, le mot haie désigne une bande forestière linéaire de plus de 20 km qui a permis au XVIII^o de protéger la ville d'Avesnes-sur-Helpe (Pas-de-Calais) (Lebeau, 1836). Les études étymologiques révèlent que ce terme désigne aussi pendant plusieurs siècles une forêt/lisière de forêt, ce qui témoigne déjà d'un glissement sémantique. Le sens de haie comme une « zone boisée » est très proche du précédent. De grandes différences sont pourtant notables. Le terme de zone boisée ne donne pas d'indication sur la taille de cet espace, à l'inverse de celui de forêt. Un regroupement de plusieurs arbres ne signifie pas qu'il s'agit d'une forêt. Néanmoins, l'idée d'un espace boisé est totalement recevable. Notons que ce sens « d'espace boisé » peut tout aussi bien décrire la structure de haie linéaire que l'on connaît aujourd'hui. L'utilisation du sens « forêt » pour définir la haie décline toutefois.

1.1.2.2 Les haies vues comme des « clôtures »

Le terme « clôture » correspond à « toute enceinte qui ferme l'accès d'un terrain (mur, haie, grillage, palissade, etc.) » Larousse, 2015. Appliquée aux haies, cette définition renvoie donc à l'idée d'inaccessibilité d'un système, grâce à une barrière végétale et donc à la question de la propriété ou de l'usage foncier. Cette question du foncier est une problématique intemporelle qui prend sa source sans doute déjà à la Protohistoire.

Néanmoins, dans les définitions données après 2005 dans les ouvrages spécialisés, le sens de « clôture » régresse. Les raisons d'une telle évolution sont sans doute liées au fait qu'une haie ne cloisonne plus systématiquement l'ensemble d'une parcelle, comme on peut encore le voir dans les bocages normands. Les raisons en sont simples et s'expliquent par l'évolution de la délimitation des limites de dépaissance par des clôtures électriques. Toutefois, le mot « limite » qui caractérise la « séparation de deux espaces contigus » Larousse, 2015 est encore d'actualité aujourd'hui pour définir les haies. Assimilable au sens de clôture dans un premier temps, ce terme induit en réalité des finalités beaucoup plus subtiles qui expliquent son utilisation encore aujourd'hui. Le mot limite peut avoir plusieurs sens. Il peut suggérer en premier lieu une barrière physique (la structure physique de la haie), mécanique et chimique. En allant plus loin dans la démarche, il est possible d'interpréter le sens du mot comme désignant un « état du système », à la jonction entre la fin d'un espace et le commencement d'un autre.

A partir du sens de « clôture », on arrive très logiquement à une évolution sémantique correspondant au sens de « protection/défense », avec une fréquence d'apparition plus importante encore que celui de « limite ». En effet, la haie apparaît longtemps comme une ligne infranchissable. Cela suggère une utilisation assignée ou induite de la haie comme bande de défense lors de conflit. Nous développerons ce point plus loin, lors de l'étude des rôles des haies. Pour sa part, le terme de « protection » recouvre une vision plus large, puisqu'il évoque également l'idée d'une protection physique contre les aléas climatiques, ou contre les dégâts que pourraient causer l'intrusion d'animaux dans un espace où leur présence est indésirable.

1.1.2.3 Les haies vues comme des « trames vertes » et des « espaces de jonction »

Les deux derniers termes à commenter peuvent être intégrés. En effet, bien que leurs sens soient différents, leur modernité et les concepts qu'ils recouvrent rendent difficiles leur séparation. En effet, à partir des années 2000, les haies sont définies avec des termes plus complexes, recouvrant des concepts de l'écologie fonctionnelle. Ainsi, le terme de « modulateur de flux » (Liagre, 2006) renvoie au fonctionnement de systèmes complexes.

Celui d'« élément du paysage » (Liagre, 2006 ; Boissinot *et al.*, 2014) renvoie à une vision d'ensemble et non plus à une entité isolée de son contexte. Cette évolution est très certainement liée aux problématiques modernes liées à la compréhension des systèmes dans leur ensemble comme pour les biotopes, les écosystèmes etc. De la même manière, Auge (1999) décrit très bien cette idée de la haie comme système complexe : « Antiérosive, qui suit les courbes de niveau dans un système complet (haies arborées, talus, fossé) le tout raccordé au collecteur. Qui s'harmonise avec le paysage, meublera le décor avec des essences du pays, qui offre un champ visuel aux promeneurs ».

L'ensemble de ces définitions très conceptuelles ne peut s'interpréter sans faire référence au rôle des haies, et en particulier à des rôles émergents en écologie fonctionnelle, comme ceux de trames vertes, d'espaces de jonction permettant la connexion entre milieux différents.

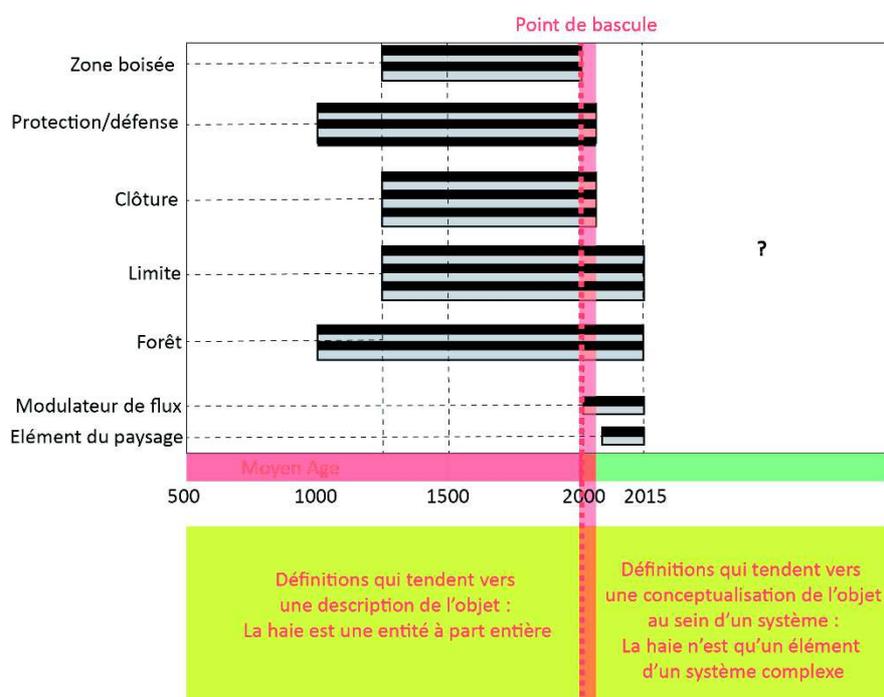


Figure 1.1 : Fréquence chronologique d'apparition des mots clés caractéristiques du champ sémantique du mot « haie » (une barre noire ou grise correspond à 1 fréquence d'apparition) ; DAO : Lucie Froehlicher

1.1.3 Conclusion

L'analyse de toutes les définitions du mot « haie » rend compte d'une évolution importante. Ainsi, on a mis en avant trois grands sens qu'il a pu prendre depuis le Moyen-Âge : on passe du sens premier (et parfois conservé) de forêt à celui de limite, puis à celui de système. L'analyse fréquentielle de ces sens au cours du temps permet de mettre en avant un point de bascule au niveau des années 2000, entre les définitions préalables qui se rapportent davantage à un objet et les définitions ultérieures, plus conceptuelles.

Au vu de cette diversité sémantique, il convient d'identifier une signification que nous retiendrons dans la suite de notre travail. La définition suivante servira de fil conducteur aux propos que nous développerons :

La haie est un élément d'un paysage, de forme linéaire mais de taille, de composition et d'origines variées, auquel on peut attribuer des fonctions assignées comme celle de clôture et/ou induites comme celle de modulateur de flux (hydriques/pédologiques/biologiques/écosystémiques/...).

Les sens différents du mot « haie » ne sont pas indépendants des rôles joués par ces formations. Ce sont ces différentes fonctions des haies que nous présenterons maintenant.

1.2 De la mission assignée à la fonction induite : des rôles variés

Lorsque l'on parle des haies, il est important de distinguer deux types de fonctions. La fonction assignée correspond au rôle que l'on veut voir jouer par la haie afin de répondre à une problématique bien précise. La fonction induite est un rôle que la haie va jouer en plus de ces rôles assignés, de manière indirecte. Ces fonctions « induites » peuvent constituer une plus-value, ou à l'inverse être une contrainte pour les activités humaines.

Le statut du rôle comme mission assignée ou comme fonction induite n'est pas pérenne. En effet, selon les époques et l'évolution des pratiques agricoles, le rôle des haies sur un site peut passer de fonction assignée à induite et inversement. Ces évolutions peuvent être enregistrées dans un espace différent ou simplement à une époque différente. Ces aspects spatio-temporels sont des éléments clefs à prendre en compte lors de l'évaluation du rôle des haies (Baudry *et al.*, 2000).

Un des premiers ouvrages à décrire de façon précise le rôle des haies est celui d'Amoreux (1787), consacré entièrement à ces formations végétales. D'après cet auteur, l'utilisation des haies répond à des critères précis.

« La haie doit :

- mettre ses (=de l'agriculteur) possessions à l'abri de l'incursion des bestiaux et des voleurs des produits de la terre ;
- ménager des abris de protection végétale contre l'intempérie des saisons ;
- distinguer ses limites d'une manière invariable d'avec celles de ces voisins ;
- reprendre plus de propreté et de bonification sur le sol qu'on cultive ;

- procurer un plus grand avantage au propriétaire ou au fermier, en réunissant tous les autres, par un nouveau produit qu'on peut retirer des haies. »

Cinq grands types de rôle sont ainsi nommément identifiés. Si certains de ces rôles sont facilement interprétables (limite foncière ou clôture pour le bétail), d'autres doivent être interprétés en termes plus modernes. Ainsi, « ménager des abris de protection végétale contre l'intempérie des saisons » peut se comprendre comme une référence implicite au rôle protecteur joué par les haies contre l'érosion.

Comme on le verra dans cette partie, ces rôles sont récurrents jusqu'à nos jours, mais leur importance évolue néanmoins en fonction des époques et des lieux. De fait, les haies remplissent bien d'autres fonctions, que nous détaillerons maintenant.

1.2.1 Le rôle barrière des haies

Ce rôle de barrière, de limite, s'exprime dans des domaines très différents.

1.2.1.1 Rôle des haies dans les écoulements hydriques

Absorption de l'eau

La présence de haies permet de limiter la stagnation des eaux à l'amont et d'assécher les zones trop humides grâce au développement du réseau racinaire provenant de la haie (fig. 1.2). Notons que s'ils sont trop importants, les prélèvements par les végétaux de la haie peuvent provoquer dans certains cas, un assèchement des cultures. Il y a dans ce cas une compétition entre culture et haies (Caubel-Forget et Grimaldi, 2000).

L'évolution de la conscience de ce rôle augmente au cours du temps. Ce rôle induit au départ (Moyen-Age) prend une place plus importante dans les époques modernes, avec l'intensification des événements météorologiques extrêmes (orages, etc.).

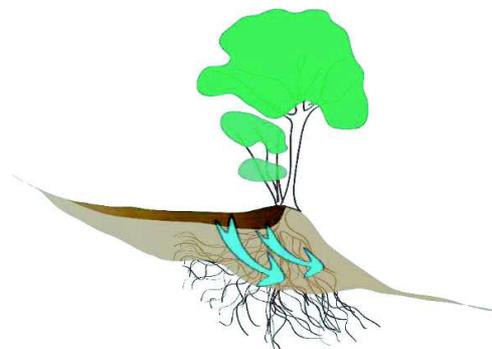


Figure 1.2 : Haie : Absorption de l'eau ; DAO : Lucie Froehlicher

Barrière au ruissellement

La présence d'une ou plusieurs haies successives, perpendiculaires au sens de la pente, permet de ralentir voire stopper les eaux pluviales qui détruisent les cultures et érodent les sols (figure 1.3). Le rôle d'une telle structure est très important dans les zones de cultures en pente dans les régions où les épisodes pluvieux sont intenses. Pour une efficacité optimale du système, l'écartement idéal entre les haies doit être compris entre 50 et 200 m selon la valeur de la pente (Merot, 1999 ; Merot *et al.*, 1999 ; Caubel-Forget et Grimaldi, 2000 ; Soutter *et al.*, 2007).

L'évolution de ce rôle au cours du temps depuis le Moyen Age est comparable à celle du rôle « d'absorption de l'eau ». Au départ induit, il devient au moins depuis le XVIII^e siècle (Amoureux, 1787) une fonction assignée bien reconnue aujourd'hui dans la lutte anti-érosive.

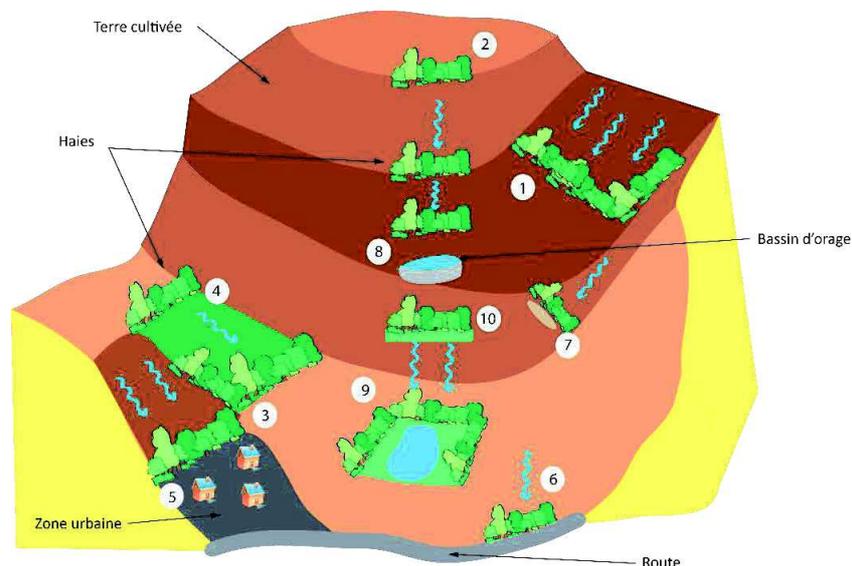


Figure 1.3 : La haie : barrière au ruissellement ; DAO : Lucie Froehlicher, redessiné d'après Soutter, 2007

Etalement des crues

Dans les zones inondables, les systèmes de haies, peuvent en cas de crue réduire, voire supprimer, l'impact érosif de l'eau (figure 1.4). En réduisant la vitesse de l'eau, la haie va favoriser la sédimentation des matières en suspension. Les dépôts alluviaux fins qui en résultent vont même contribuer, le cas échéant, à enrichir le sol par leur richesse en matière organique (MO) et/ou éléments minéraux (Ouvry *et al.*, 2012 ; Bu *et al.*, 2008 ; Liagre, 2006).

L'évolution de la fonction de ce rôle au cours du temps est encore une fois similaire aux deux premiers rôles décrits dans cette partie : on passe d'un rôle induit aux origines à un rôle assigné aujourd'hui.

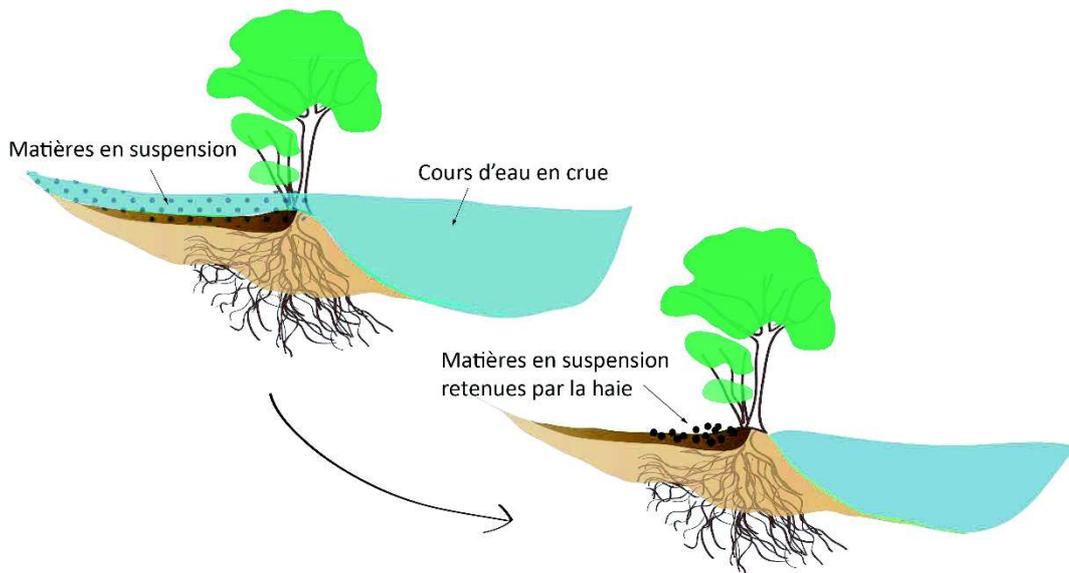


Figure 1.4 : La haie : étalement des crues ; DAO : Lucie Froehlicher

Augmentation de la vitesse d'infiltration/drainage vertical

Les haies et leur réseau racinaire provoquent une augmentation de la conductivité hydraulique à saturation (figure 1.5). En effet, la présence de haies accroît la macroporosité et donc la conductivité hydraulique, principalement dans les horizons de surface (Caubel-Forget et Grimaldi, 2000). Ainsi, « sous haie herbacée implantée sur sol limoneux, Rachman et al. (2004) obtiennent des valeurs de conductivité hydraulique à saturation très élevées en surface (668 mm/h) » (cité par Ouvry *et al*, 2012).

L'évolution de ce rôle est similaire aux précédents.

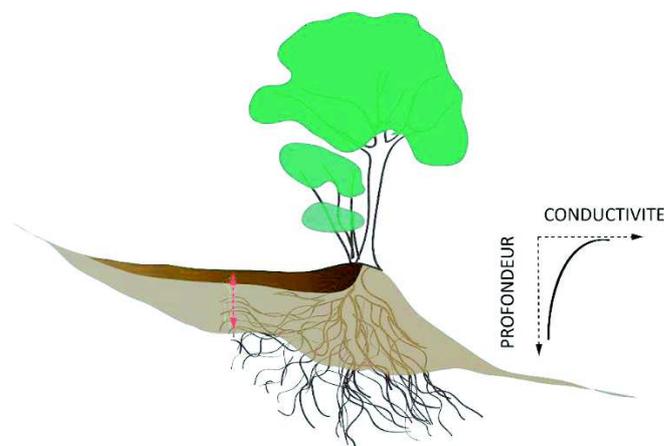


Figure 1.5 : Haie : conductivité hydraulique ; DAO : Lucie Froehlicher

Drainage des fossés

Ce rôle de drainage implique qu'un fossé soit associé à une haie (Flatres, 1979). Cette association haie/fossé permet alors de canaliser les eaux de ruissellement et libère ainsi les cultures de toute stagnation d'eau (figure 1.6). Ce rôle qui est clairement assigné implique un entretien constant du fossé par curage pour éviter le comblement par des sédiments.

Cette fonction, qui répond à des besoins clairement identifiés, est donc une fonction qui a été de tout temps assignée.

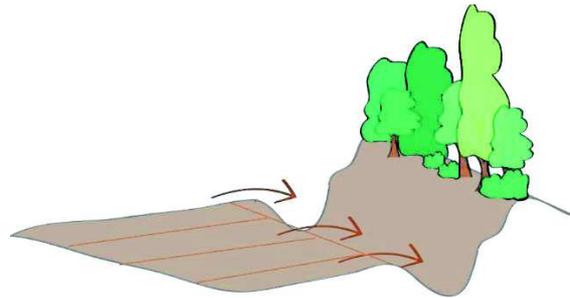


Figure 1.6 : Haie : drainage des fossés ; DAO : Lucie Froehlicher

Filtrage et purification des eaux

Au départ induit, ce rôle de la haie permet de filtrer naturellement un grand nombre d'éléments chimiques indésirables : nitrates, pesticides, désherbants, et autres produits phytosanitaires d'origine agricole (figure 1.7). Ceci permet de limiter la pollution des rivières. Certains éléments comme les nitrates peuvent même être absorbés par la végétation (Liagre, 2006 ; Caubel-Forget et Grimaldi, 2000).

Aujourd'hui, ce rôle est devenu depuis plusieurs années un rôle assigné indispensable pour la préservation des rivières, au même titre que les bandes enherbées.

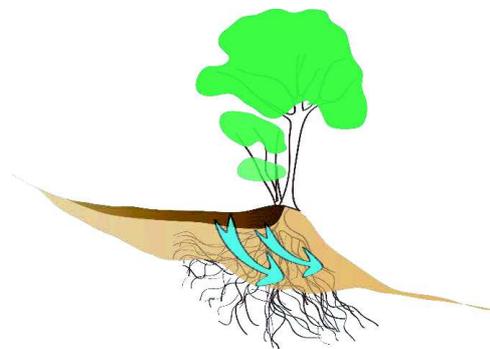


Figure 1.7 : Haie : Purification des eaux ; DAO : Lucie Froehlicher

Piège à neige

En fonction de la hauteur de la haie, de sa largeur, de sa densité et de son orientation, la haie peut agir comme un piège à neige (figure 1.8). Celle-ci est stockée sur une zone plus ou moins large le long du linéaire (Liagre, 2006). On observe dans ces zones une modification de la composition floristique et un blocage de l'activité biologique sur un laps de temps plus ou moins long du fait de la présence prolongée du tapis neigeux.

Cette fonction induite ne semble pas avoir été valorisée quelles que soient les époques, sauf, peut-être, dans quelques zones de haute montagne où les haies peuvent servir de frein aux avalanches (Margreth, 2004).

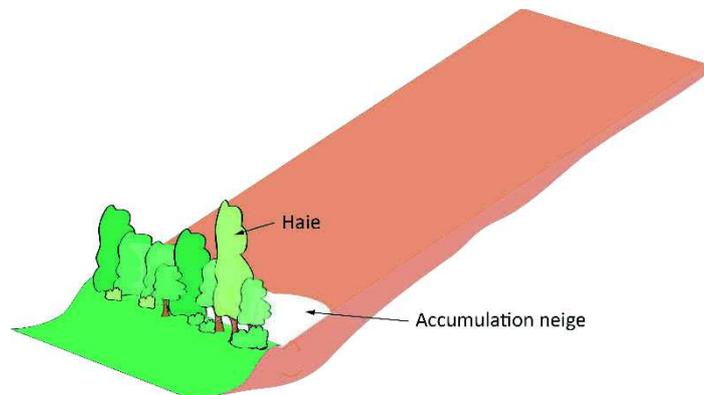


Figure 1.8 : La haie : Piège à neige ; DAO : Lucie Froehlicher

1.2.1.2 Les haies et les phénomènes anémologiques

Brise-vent

Une haie composée de grands arbres orientés perpendiculairement au sens dominant du vent en ralentit fortement la vitesse et limite ainsi l'érosion éolienne du sol (figure 1.9). Ceci limite de plus l'évaporation de l'eau du sol et donc l'assèchement des parcelles (Soutter *et al*, 2007 ; Steimer *et al*, sans date).

Cette fonction est très fortement assignée dans certaines régions où le vent est un problème dans la gestion durable des terres agricoles. C'est le cas en particulier dans les zones méditerranéennes où les ressources en eau sont limitées pendant la période de croissance des cultures. Les brise-vent sont constitués d'espèces à la morphologie spécifique, notamment des peupliers et des cyprès.

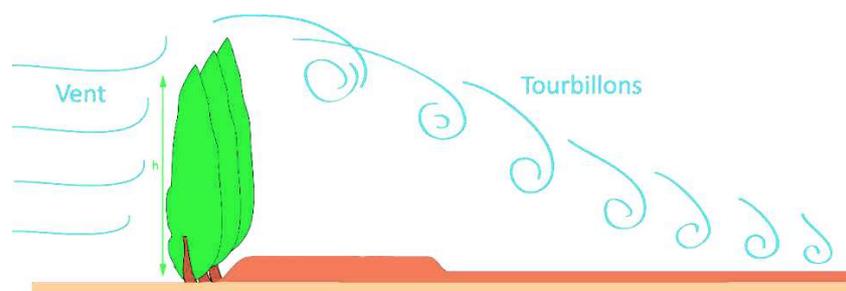


Figure 1.9 : La haie : barrière aux vents; DAO : Lucie Froehlicher d'après Soutter et al., 2007

Frein à la diffusion des pollutions aériennes

Pollutions diverses, produits chimiques épandus par les agriculteurs (pesticides, etc.) sont autant de produits nocifs que les haies sont capables de stopper et/ou de filtrer, en fonction de leur longueur, hauteur et de l'état du feuillage (figure 1.10) (Liagre, 2006).

Ce rôle, induit au départ, est aujourd'hui très valorisé et peut être considéré comme une fonction assignée pour limiter la propagation des pollutions d'origines agricoles, afin de protéger les riverains et/ou les cultures bio par exemple...

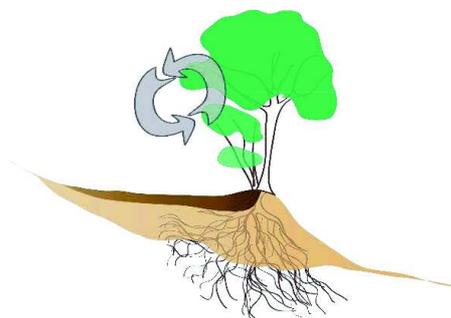


Figure 1.10 : Haie : Barrière aux pollutions aériennes ; DAO : Lucie Froehlicher

1.2.1.3 La haie : une barrière antiérosive

En fonction de leur position (amont, aval) sur un versant et de leur orientation (perpendiculaire ou non à la pente), les haies sont un moyen plus ou moins efficace de retenir des produits de l'érosion (figure 1.11). Cette barrière antiérosive peut conduire à une forte différenciation de la topographie initiale de la zone par formation d'un talus, ce qui constitue une de ces limites (Carnet *et al*, 1979 ; Soutter *et al*, 2007). Ce point précis, fondamental dans cette thèse, sera détaillé dans le chapitre 2.

Ce rôle, certainement induit au départ quand l'agriculture n'était pas encore intensive comme aujourd'hui, est devenu assigné avec la prise de conscience du rôle néfaste de l'érosion, et cela de longue date puisque Amoureux (1787) le signale déjà. Toutefois, au XX^e siècle cette fonction a parfois été oubliée jusqu'à l'observation des dégâts causés par des remembrements mal conduits. La prise de conscience qui a suivi a donné un nouvel élan à cette mission assignée. Après les grands épisodes d'arrachage des haies, de l'intensification des cultures et des pressions anthropiques toujours plus lourdes sur les sols agricoles, l'importance de la haie comme barrière aux colluvions c'est rapidement fait sentir. Aujourd'hui cette mission assignée fait partie des rôles les plus importants de la haie (Auzet, 1987 ; Follain, 2005 ; Armand *et al.*, 2009 ; Armand, 2009 ; Van Dijk et Koller, 2015).

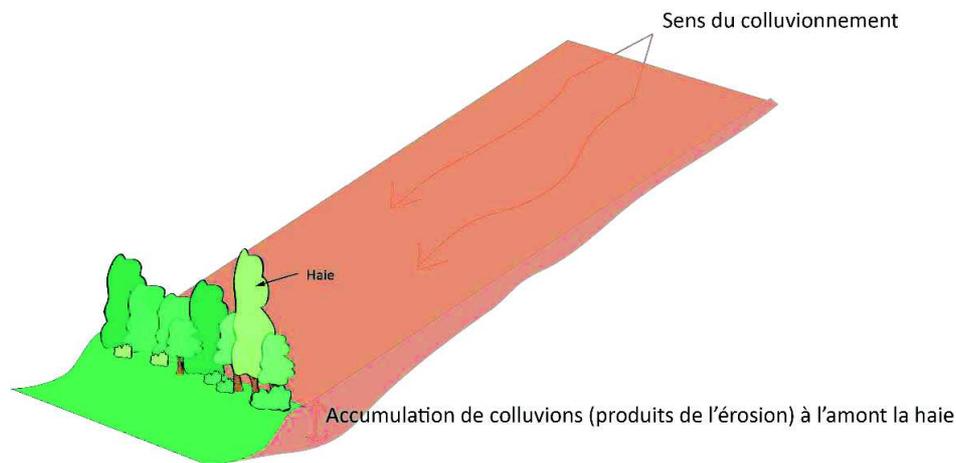


Figure 1.11 : La haie : barrière aux produits de l'érosion ; DAO : Lucie Froehlicher

1.2.1.4 La haie comme limite spatiale

Barrière pour les animaux, limite de dépaissance

De nombreuses haies ont été créées pour empêcher le passage des animaux vers les parcelles cultivées (exclos) (Amoureux, 1787) et/ou pour empêcher les animaux de sortir de leur pâturage en matérialisant des limites de dépaissance (enclos) (Champier, 1954). Ainsi, les déplacements des animaux sont contrôlés (figure 1.12). Ce type de structure est beaucoup moins fragile qu'une clôture maçonnée ou en bois, qui subit de multiples dégradations liées aux activités agricoles ou naturelles (Liagre, 2006).

Cette fonction est une mission assignée dès la mise en place des premières haies, afin de gérer et protéger plus facilement le bétail/les parcelles.

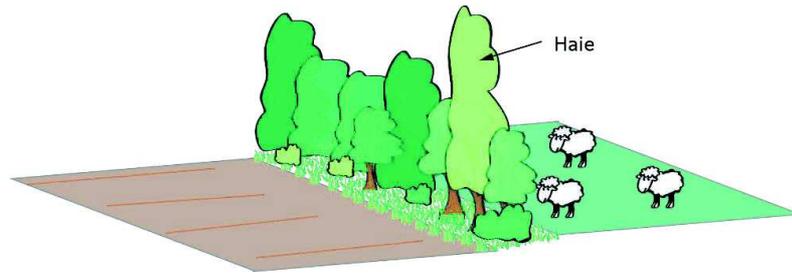


Figure 1.12 : La haie : barrière aux animaux ; DAO : Lucie Froehlicher

Limite foncière et frontière

Les haies permettent de marquer les limites d'une parcelle de manière visible, écologique et économique (Amoureux, 1787) (figure 1.13). Ce rôle de base de la haie, simple, correspond à une mission assignée depuis toujours.

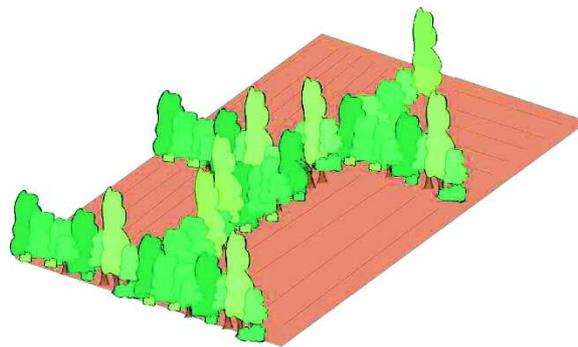


Figure 1.13: La haie : Limite de parcelles ; DAO : Lucie Froehlicher

Ligne de défense

A partir d'espèces arbustives bien spécifiques, la haie peut permettre de stopper des attaques, qu'elles soient animales ou humaines. Ces haies dites défensives, constituent de réels obstacles végétaux (figure 1.14).

Bien que la fonction fut assignée à une certaine époque (Moyen-Age), elle a été reprise de façon opportuniste à des périodes plus récentes, jusqu'à la deuxième guerre mondiale, en période de conflits (Liagre, 2006).

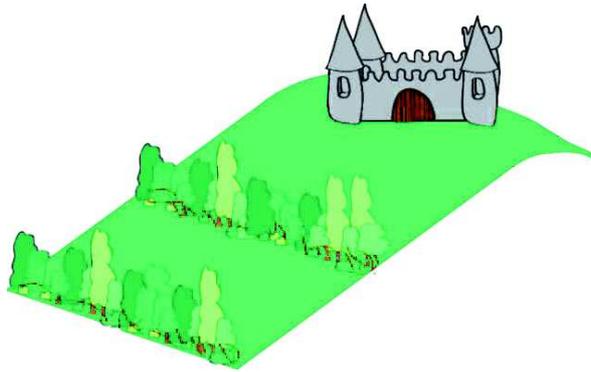


Figure 1.14 : La haie : Ligne de défense; DAO : Lucie Froehlicher

1.2.2 Les haies « vertes » : productives & écologiques

1.2.2.1 La haie : source de productions variées

Bois de construction

Certaines des espèces végétales constitutives des haies trouvent une utilisation en tant que bois de construction ou en menuiserie (Liagre, 2006). Cette fonction a surtout été importante à l'époque médiévale, période pendant laquelle beaucoup de constructions étaient en bois, en particulier dans les régions peu forestières.

Bois de chauffe

L'entretien régulier des haies permet d'en tirer une production régulière de bois de chauffage. La morphologie de ces haies est bien spécifique. Elles sont constituées d'arbres « têtards » (figure 1.15), dont les branchages sont régulièrement coupés pour former des fagots (Liagre, 2006 ; Talbot, 1955 ; Chapelot, 1977 ; Martin et Rovera, 1998).

Cette fonction de la haie a été très importante autrefois, puisqu'elle représentait l'une des rares sources de bois de chauffe (Moyen-Age). Aujourd'hui cette mission existe toujours, notamment dans les zones rurales et bocagères de l'Ouest de la France, même si l'apparition des chauffages au gaz/électriques/fioul a inversé cette tendance au cours du XX^e siècle. Depuis une petite décennie, cette fonction de la haie revient à la mode avec les nouveaux poêles à copeaux de bois.

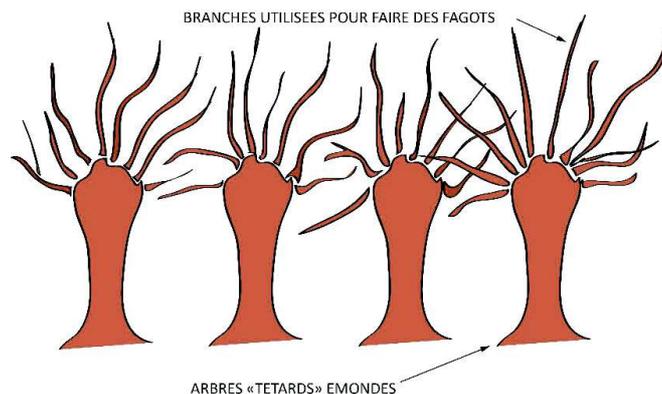


Figure 1.15 : Haie d'arbres têtards émondés pour du bois de chauffe

Cueillette

De nombreuses essences végétales présentes au sein de la haie, ont pu être valorisées par une cueillette familiale ou productive (figure 1.16), qui a apporté dans le passé des compléments alimentaires ou de revenus aux agriculteurs (Soltner, 2013). Cette fonction est devenue marginale mais n'a pas complètement disparu. Quelques associations cherchent actuellement à valoriser les produits des haies, comme le fait par exemple, l'Association Haies Vives d'Alsace (<http://haies-vives-alsace.org/>). Les alcools de prunelle, la confiture d'églantine sont des produits souvent tirés de haies.

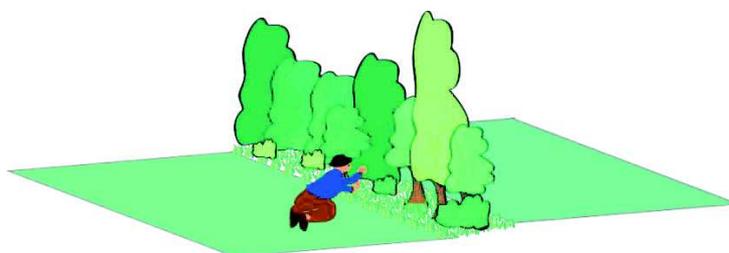


Figure 1.16 : Haie, cueillette ; DAO : Lucie Froehlicher

Effeillage

L'effeuillage consiste à collecter les feuilles présentes sur les haies de façon à bénéficier d'une production de fourrage supplémentaire, voire d'amendement organique (Soltner, 2013).

Cette fonction assignée a connu une importance relative à des époques anciennes (Moyen-Age). Avec le développement de l'agriculture à l'échelle industrielle, elle est tombée en désuétude. Une forme moderne de valorisation des produits végétaux s'en rapproche. Il s'agit de la production de bois raméal fragmenté (BRF), destiné à amender les champs, et dont les haies peuvent constituer une source (Asselineau et Domenech, 2007).

Source de plantes médicinales

Les haies sont une ressource importante pour les botanistes et les herboristes. Certaines espèces pouvant servir de médicaments se trouvent préférentiellement dans les haies. (Amoureux, 1787).

Cette fonction induite des haies dès leur origine, a régressé parallèlement aux avancées de la médecine, qui crée des molécules de synthèses. Cette fonction qui avait quasiment disparu des usages pendant plusieurs décennies revient à la mode ces dernières années, en lien avec le développement du bio et du « naturel ».

1.2.2.2 La haie écologique

Trame verte

Les haies permettent de créer des « trames vertes ». Ce terme désigne les « couloirs » qui assurent la connexion entre plusieurs espaces séparés mais appartenant au même écosystème (figure 1.17). Ce rôle de connectivité est fondamental pour assurer la circulation des espèces et le maintien de la biodiversité (Lebeau, 2000 ; Le Roux *et al*, 2008 ; Boissinot *et al.*, 2014; Ramade, 2002).

Cette fonction totalement induite à l'époque médiévale apparaît depuis la fin du XXème siècle comme une fonction assignée de base (Liagre, 2006).

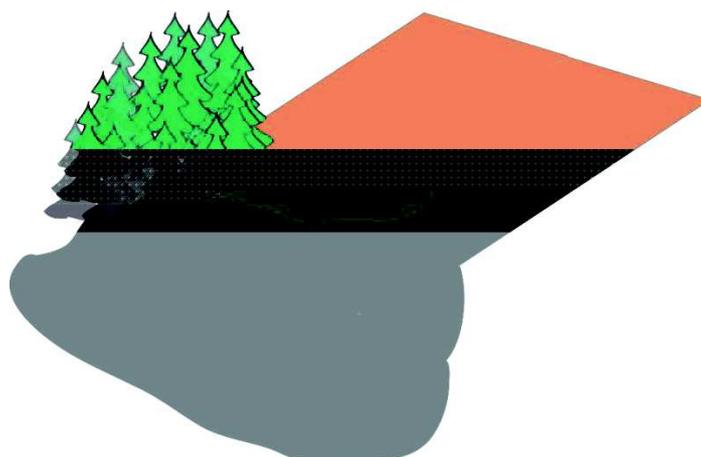


Figure 1.17 : Haie: trame verte ; DAO : Lucie Froehlicher

Réserve pour la faune sauvage/lutte biologique

Dans la continuité de la trame verte qui permet de créer des connexions entre des entités différentes, la haie constitue aussi un abri, une zone de passage, pour les animaux. Ainsi, la haie est une réserve pour la faune et la flore (figure 1.18). Cet écosystème à part entière peut jouer un rôle clef dans la lutte biologique. Elle peut en effet abriter des espèces permettant de réduire ou réguler une invasion biologique des parcelles voisines par des espèces de ravageurs de cultures ou de parasites, comme la galle de *Phylloxéra* pour la vigne, ou *Phytophthora medicaginis* pour la luzerne (Ramade, 2002). A l'inverse, elle peut aussi abriter des ravageurs des cultures, mais le système se régule par le biais des relations proie/prédateur (Ramade, 2002). Par ailleurs, cet espace fait le bonheur des chasseurs, car il constitue une réserve idéale pour le gibier (Higounet, 1979 ; Boissinot *et al.*, 2014; Steimer *et al.*, sans date). Ceci explique que sur le problème des haies, Fédérations de chasseurs et Associations d'écologistes ont des points de vue très proches.

Cette fonction naturelle de la haie est au départ un rôle induit. Mais à l'époque moderne, elle constitue un rôle assigné très important surtout en ce qui concerne la lutte pour le maintien de la biodiversité et la protection de la faune et de la flore (Association « Haies Vives d'Alsace », <http://haies-vives-alsace.org/>).



Figure 1.18 : Haie : réserve de faune sauvage ; DAO : Lucie Froehlicher

Filtre chimique

Les eaux qui s'infiltrent au niveau des haies sont chargées en éléments chimiques divers (cations et anions de la solution du sol, engrais, produits phytosanitaires). Une partie de ces éléments va se fixer sur le complexe adsorbant du sol de la haie (Kühn, 1953 ; Liagre, 2006 ; Auge, 1999 ; Steimer *et al.*, sans date). Cette rétention peut avoir des conséquences positives ou négatives. Dans des cas extrêmes, ce stockage peut provoquer des intoxications parfois

létales pour les espèces végétales et animales environnantes. A l'inverse, les eaux qui percolent sous les haies, débarrassées d'un certain nombre d'éléments seront plus pures.

Ce rôle induit au départ, peut constituer une mission assignée dans le cas de création de zones-tampon (éviter la pollution d'une parcelle voisine, d'un cours d'eau, etc.).

Aspect sanitaire

La haie, peut, comme tout écosystème, être à l'origine de problèmes sanitaires en constituant un foyer parasitaire. Ces maladies peuvent être bénéfiques dans certains cas, lorsqu'elles affectent les ravageurs et parasites des cultures, et défavorables dans d'autres cas, lorsqu'il s'agit de pathologies affectant directement les plantations avoisinantes, provoquées par des parasites qui trouvent refuge dans les haies (Le Roux *et al.*, 2008 ; Steimer *et al.*, sans date). Ainsi, à certaines époques était-il interdit de planter des Berberis dans les haies des grandes parcelles céréalières du Bassin Parisien, car le Berberis sert d'hôte intermédiaire dans le cycle d'un champignon parasite du blé (BASF SE, 2016)

Cette caractéristique de la haie ne correspond jamais à une fonction assignée, mais toujours à un rôle induit.

Stockage du carbone organique

Les haies sont caractérisées par une production de biomasse élevée. Les chutes de feuilles et de bois mort, puis de leur décomposition enrichit le sol en matière organique. De fait, les sols de haies sont bien souvent plus riches en MO que les sols des parcelles cultivées voisines (Follain, 2005). Cet enrichissement en carbone organique va influencer l'activité biologique du sol (champignons, pédofaune) qui stimule la régénération du sol et la minéralisation de l'azote (Liagre, 2006). Par ailleurs, le stockage des produits de l'érosion à l'amont de la haie (les colluvions), est une autre source de l'augmentation des stocks de carbone dans le sol. On rappellera que les colluvions proviennent de l'érosion des horizons de surface, et sont donc relativement riches en MO (figure 1.19).

Les valorisations de cette fonction de la haie sont multiples. D'une part, elle modifie les caractéristiques du sol local. D'autre part, le stockage du carbone organique est devenu un enjeu majeur au niveau planétaire dans la lutte contre le réchauffement climatique (Agreau, 2015 ; INRA, 2003, Arrouays *et al.*, 2002 ; ECCP, 2001). Cette fonction, induite au départ, est devenue depuis les années 2000 une fonction assignée de premier ordre.

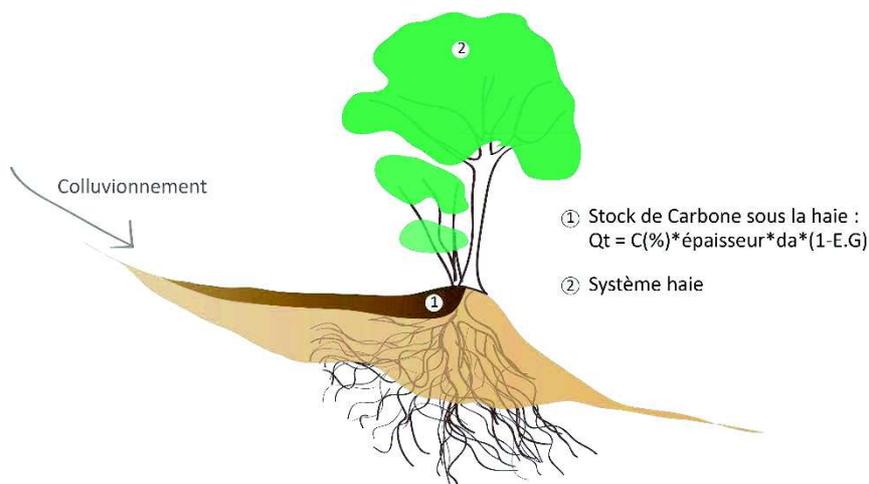


Figure 1.19 : La haie : puits de carbone organique ; DAO : Lucie Froehlicher d'après LIAGRE, 2006

1.2.2.3 La haie et ses influences sur le climat

Modification des échanges radiatifs

En fonction de leurs types, de leurs formes et de leurs compositions, les haies peuvent modifier les échanges radiatifs. Ceci a deux implications : la création de zones d'ombre et la modification des quantités de chaleur reçues (figure 1.20). Les zones d'ombre ont des aspects positifs, tels que la création d'abris pour les troupeaux l'été, dans les pâtures (Lebeau, 2000 ; Baudry et Jouin., 2003). Mais ces zones d'ombre peuvent aussi ralentir le développement des espèces cultivées. Ce rôle induit par la haie, n'est en général pas recherché par les agriculteurs (sauf pour l'ombrage du bétail en pâture).

La modification du bilan radiatif de la zone peut dans certains cas créer des petites zones où les quantités de chaleur reçues au sol sont plus faibles. Dans les prés et pâtures, cela favorise le développement de faunes et flores propres à ce milieu (Le Roux *et al.*, 2008). Dans les espaces cultivés, le phénomène empêche le développement correct des cultures à la lisière des haies. Le nombre de degrés-jour nécessaire pour atteindre les différents états physiologiques d'une plante étant relativement constant, la baisse de la température moyenne journalière dans les zones où le bilan radiatif est modifié par la présence d'une haie implique que le nombre de jours nécessaires pour atteindre cet état est plus important. D'autre part, ce phénomène complexifie les prévisions météorologiques.

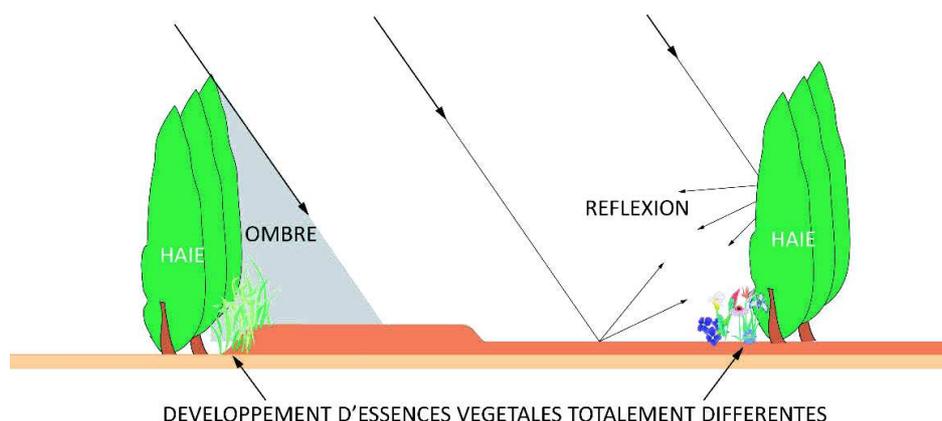


Figure 1.1 : Haie : Micro climat ; DAO : Lucie Froehlicher d'après Guyot 1997 (in Baudry et al., 2003)

1.2.3 Les rôles sociaux des haies

Rôle identitaire

Dans certaines régions du monde, les haies ont une valeur identitaire très forte, comme en Normandie par exemple. Liagre (2006) propose une définition de haie qui relève bien l'importance de cette fonction identitaire : « paysages archétypes qui avaient souvent acquis une valeur identitaire régionale ». Une autre définition, donnée par Auge (1999), va encore plus loin dans cette notion de haie identitaire : « Partie intrinsèque et immuable du paysage, de manière souvent romantique ».

Néanmoins, il est important de nuancer cette notion d'identité en faisant très attention à la manière dont elle est utilisée : s'agit-il d'un paysage symbolique pour les gens qui y habitent ou de stéréotypes employés de l'extérieur ? Ainsi, la Normandie est l'archétype des paysages de bocage. Mais s'agit-il d'une image pittoresque de touristes ou d'un réel réflexe identitaire des Normands ? La question se pose de la même manière que l'assimilation de l'Alsace aux cigognes ou à la choucroute, caricature extérieure à laquelle les Alsaciens ne s'identifient pas forcément.

Ce rôle assigné à la haie a évolué différemment en fonction des époques et des régions. On ne peut donc pas proposer d'évolution générale à cette fonction.

La haie, objet de prestige social

D'après Nedelec (1978) la haie présentait une fonction de prestige social à l'époque médiévale. Au travers de la haie, de sa forme, de sa densité et de son entretien, il est possible d'affirmer son rang. Les haies nécessitent un entretien long et fastidieux impliquant de la main

d'œuvre et donc des moyens financiers. On a ici l'idée d'un objet ostentatoire, non utilitaire et donc valorisant un statut social. Notons que cette fonction n'est pas décrite dans les autres ouvrages consultés. Cette fonction reste donc un cas isolé non représentatif des haies dans leur ensemble. L'évolution de cette fonction au cours des temps est donc inconnue, vu qu'elle est très mal renseignée dans la littérature.

Matérialisation d'axes de circulation

En fonction des caractéristiques du site, les zones inter-parcellaires sont parfois impraticables (boue, instabilité, etc...). La présence d'une haie peut dans certain cas produire un chemin. A l'inverse des haies peuvent s'installer spontanément ou être plantées le long de chemin, ne serait-ce que pour le matérialiser de loin (figure 1.21). Cette fonction est relativement bien renseignée dans la littérature, et de nombreuses mentions sont disponibles dans les archives, comme le signale Nedelec (1978) : 1546 Ancy le Franc /Yonne ; 1676 Servigny/B.N ; 1767 Louvigny/Caen...

Ce rôle assigné à certaines haies bien particulières, comme les haies doubles, n'a guère évolué jusqu'à l'arrachage de ces dernières. Dans certains cas, ces haies doubles peuvent être à l'origine des « chemins creux », encaissés entre deux haies. C'est le cas lorsque l'érosion anthropique engendrée par le passage continu des hommes est tellement forte qu'un surcreusement profond de la zone se produit.

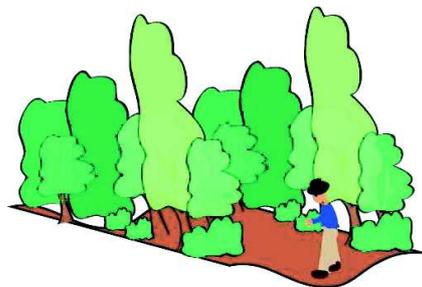


Figure 1.21 : Haie : circulation ; DAO : Lucie Froehlicher

1.2.4 Les modifications du paysage induites par les haies

L'implantation d'une haie peut aboutir à des effets induits, involontaires, sur les caractéristiques du paysage. Ainsi, des aplanissements, des exhaussements, des accumulations de terre vont modifier le paysage initial et changer ses caractéristiques topographiques, souvent de manière irréversible.

La perte d'espaces cultivés

Lors de l'implantation d'une haie, accompagnée ou non de la création d'un talus, il y a perte de surface cultivable (figure 1.22). En fonction de la taille de ces structures, la perte en terre cultivable peut aller de quelques mètres à quelques dizaines de mètres de part et d'autre de la haie. La surface perdue dépend du type de haie (densité des végétaux), de sa forme, de son entretien et du linéaire de haie. De plus, dans les zones de pente, un exhaussement de la haie va se produire avec le temps et la haie va occuper encore plus de volume, en lien avec l'emprise du talus sous la haie, jusqu'à atteindre un état d'équilibre.

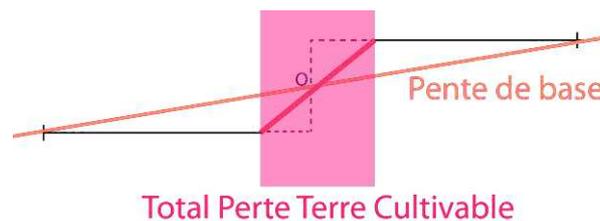


Figure 1.22 : Haie : perte de terre cultivable

1.2.5 Conclusion partielle

Cette présentation des différents rôles des haies, qu'ils soient assignés ou induits, nous montre bien que leur statut a sans cesse évolué, au fil des années et en fonction des contextes économiques, politiques ou environnementaux. Pour les périodes les plus récentes, à savoir les deux derniers siècles, qui recouvrent plusieurs crises agricoles, les haies ont connu un déclin plus important selon les régions, mais réel. Le schéma de Baudry *et al.* (2000) décrit très bien ce phénomène (figure 1.23). Il insiste en particulier sur les menaces susceptibles d'être causées par la déprise agricole.

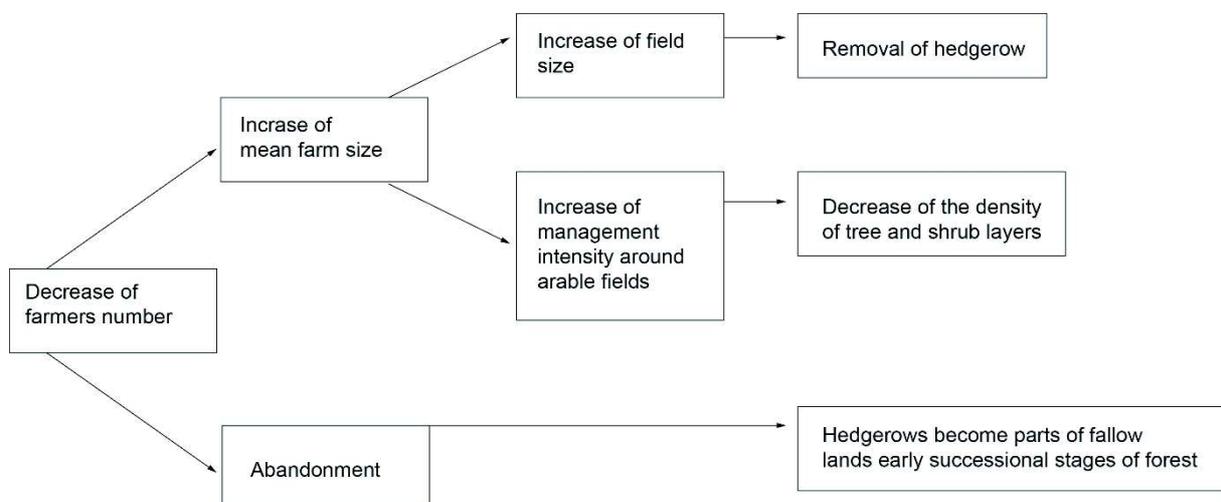


Figure 1.23 : « Menaces pour les haies susceptibles d'être causées par la diminution des communautés agricoles » ; Repris de Baudry *et al.*, 2000

Actuellement, on observe un changement notable. La politique agricole concernant les haies est claire : elles doivent être valorisées et protégées. Ainsi, les réformes de la PAC (Politique Agricole Commune) prévoient, pour le quinquennat 2015-2020, la protection et le financement de l'implantation de haies par des « paiements verts » (Agreau, 2015 ; ECCP, 2001) à savoir une participation importante à l'achat des plantes et aux travaux de talutage. Une compensation financière est également prévue pour la perte d'espace cultivable.

1.3 Typologie des haies

Nous présenterons ici les différents types de haies, en décrivant successivement les liens entre leur genèse et leur morphologie, puis leur composition végétale.

1.3.1 Genèse et morphologie

Nous avons distingué quatorze grands types de haies. On peut les regrouper dans deux grandes catégories, les haies naturelles et les haies plantées.

1.3.1.1 Les haies naturelles

La mise en place de haies sans intervention humaine n'est possible que lorsque l'agriculteur occulte ou abandonne une partie du territoire (une limite de parcelle, une bande végétale non entretenue, un ancien pierrier, etc.)

1.3.1.1.1 Les haies de défrichement

Ces haies décrites par Chapelot (1977) et Higounet (1979), trouvent leur origine dans le défrichement incomplet des forêts (figure 1.24). On retrouve alors en bordure de parcelle une formation végétale caractérisée par la rémanence d'espèces de l'ancienne forêt. Cette frange forestière joue rapidement le rôle de haie.

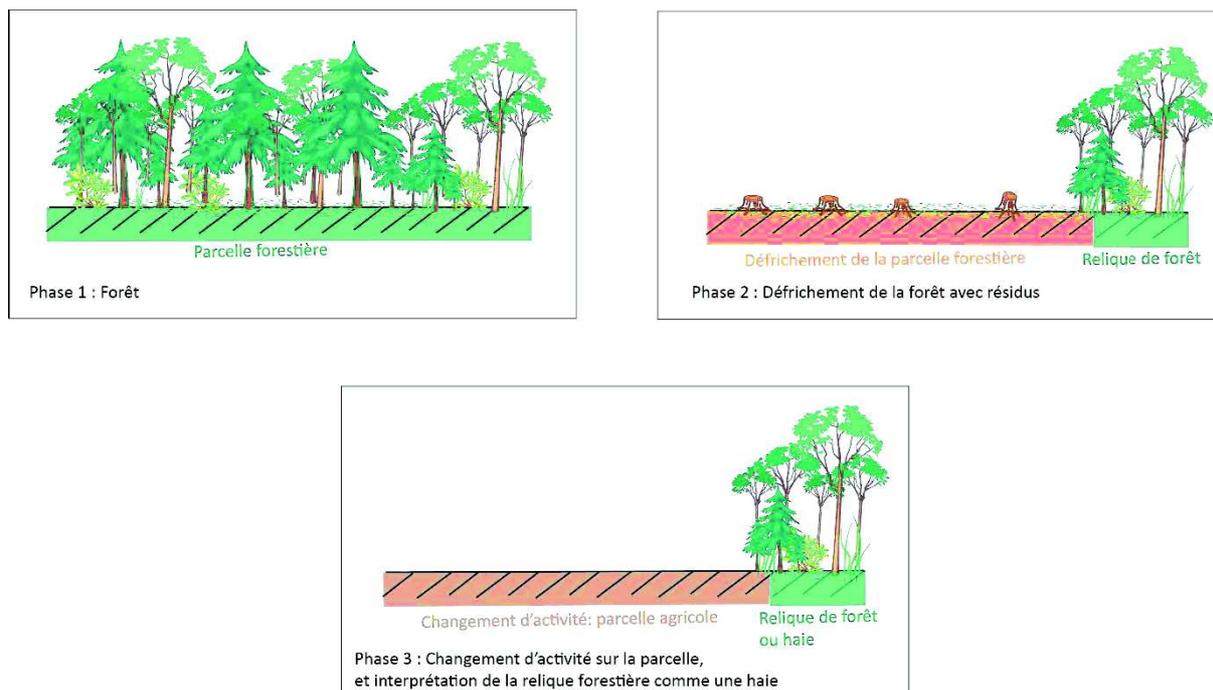


Figure 1.24 : Schématisation de la formation d'une haie de défrichement d'après Higounet (1979) ; Auteur : Froehlicher Lucie

1.3.1.1.2 Les haies sauvages

Les haies dites sauvages correspondent à l'apparition spontanée d'une végétation ligneuse sur une bande non labourée/cultivée et non entretenue en bordure de champ. La figure 1.25 décrit les différentes étapes de leur genèse. Ces haies spontanées trouvent parfois leur origine dans l'absence d'entretien de clôture déjà existante (Baudry *et al.*, 2000 ; Antoine et Marguerie., 2007).

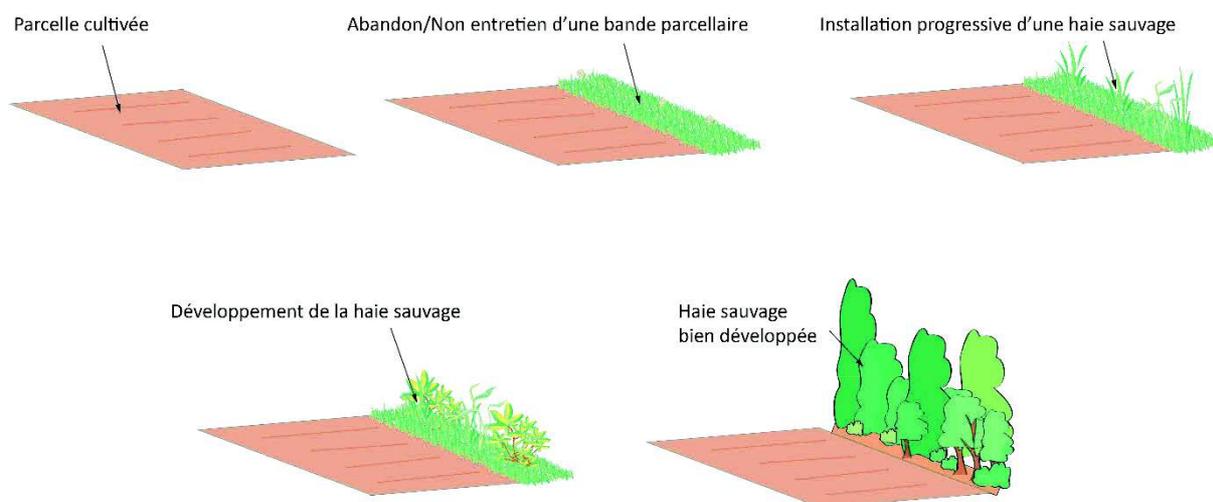


Figure 1.25 : Différentes phases d'installation d'une haie dite sauvage ; Auteur : Lucie Froehlicher

1.3.1.1.3 Les haies sauvages sur pierrier

La formation de ces haies trouve son origine dans le simple épierrement des parcelles agricoles (figure 1.26). Lorsque les sols présentent trop d'éléments grossiers, les agriculteurs retirent les pierres dont le diamètre est trop important. Les pierres de petites tailles sont conservées, leur présence est conseillée par les anciens manuels agronomiques, car elles allègent les sols argileux (Serres, 1600). Les produits de cet épierrement sont disposés le long des parcelles (pour ne pas empiéter sur les parcelles voisines) et forment ainsi de longs tas de pierres appelés pierriers, ou murgers. Sur ces espaces incultes, s'installe une végétation qui se densifie de plus en plus.

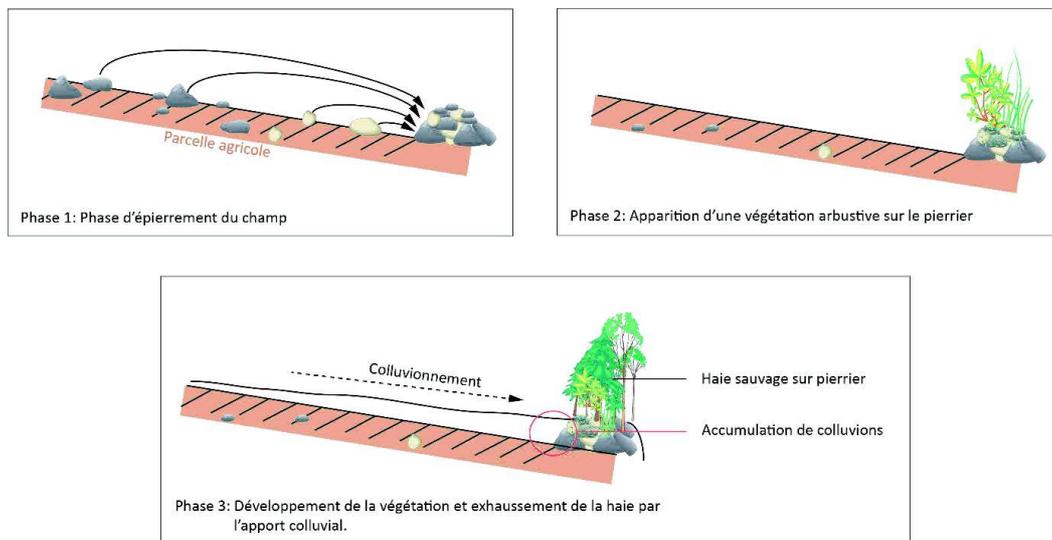


Figure 1.26 : Schématisation de la formation d'une haie sauvage d'après les descriptions de Champier (1954) ;
Auteur : Lucie Froehlicher

La photo ci-dessous (figure 1.27) présente un exemple de haie spontanée sur pierrier. Difficilement perceptible au premier coup d'œil sous cet amas de végétation dense et épineuse, se cache un tas de pierres d'une hauteur d'environ 2 m résultant de l'épierrement des champs environnants.



Figure 1.27 : Haie sur pierrier localisée en limite de verger à Marmoutier (67) ;

1.3.1.2 Les haies d'origine anthropique

Nous présentons ces types de haie de la plus simple aux plus complexes, dont l'installation fait appel aux méthodes du génie civil.

1.3.1.2.1 Les haies à plat

La haie dite à plat correspond à la morphologie la plus simple (Ouvry *et al.*, 2012). Elle correspond en termes d'analyse paysagère en une simple bande végétale séparant deux espaces. La figure 1.28 représente bien la simplicité de cette structure.

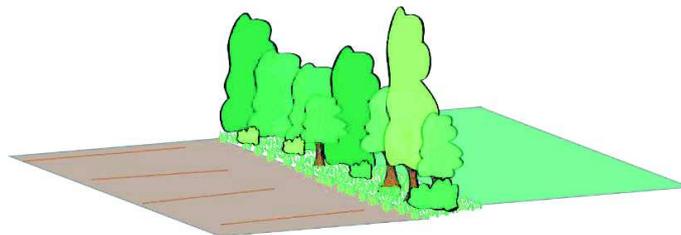


Figure 1.28 : Haie à plat ; Auteur : Lucie Froehlicher

Dans les zones de pente, ce type de haies ne constitue en réalité qu'un état initial. De par les multiples activités agricoles, l'érosion, etc. la structure va évoluer et subir un exhaussement. Ainsi, la haie va se transformer et tendre plus ou moins rapidement, en fonction des conditions intrinsèques et externes au système, vers une haie sur talus non construit. Notons que ce type de haie peut être plantée ou pousser spontanément.

1.3.1.2.2 Les haies implantées le long d'un pierrier

Dans un certain nombre de cas, des haies sont volontairement implantées devant un pierrier (figure 1.29). Ce choix peut s'expliquer par la volonté de stabiliser ce dernier, de le cacher, etc (Baudry et Jouin, 2003).

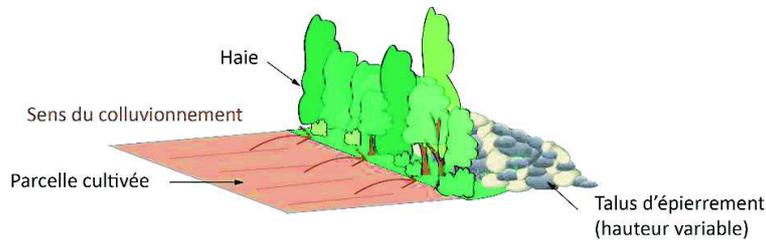


Figure 1.29 : Haie devant talus d'empierrement ; Auteur : Lucie Froehlicher

Les haies sur talus sont construites sur un socle (figure 1.30), dont les méthodes de fabrication ont évolué avec le temps (Liagre, 2006).

- Les socles anciens ont nécessité un travail manuel important. Ils sont réalisés sur une base empierrée, solide et linéaire, que l'on recouvre de terre. Une fois le talus réalisé, les arbres poussent le plus souvent de manière spontanée.
- Les socles modernes sont réalisés à la pelle mécanique qui permet d'obtenir une structure linéaire en un temps record à un coût économique peu élevé. Là également, la végétation peut être implantée totalement, en partie ou pousser spontanément.

La terre nécessaire à la constitution du talus est en général prélevée dans un fossé qui le borde, mais ce fossé se comble avec le temps, l'objectif ici n'étant pas d'associer les deux types de structures.

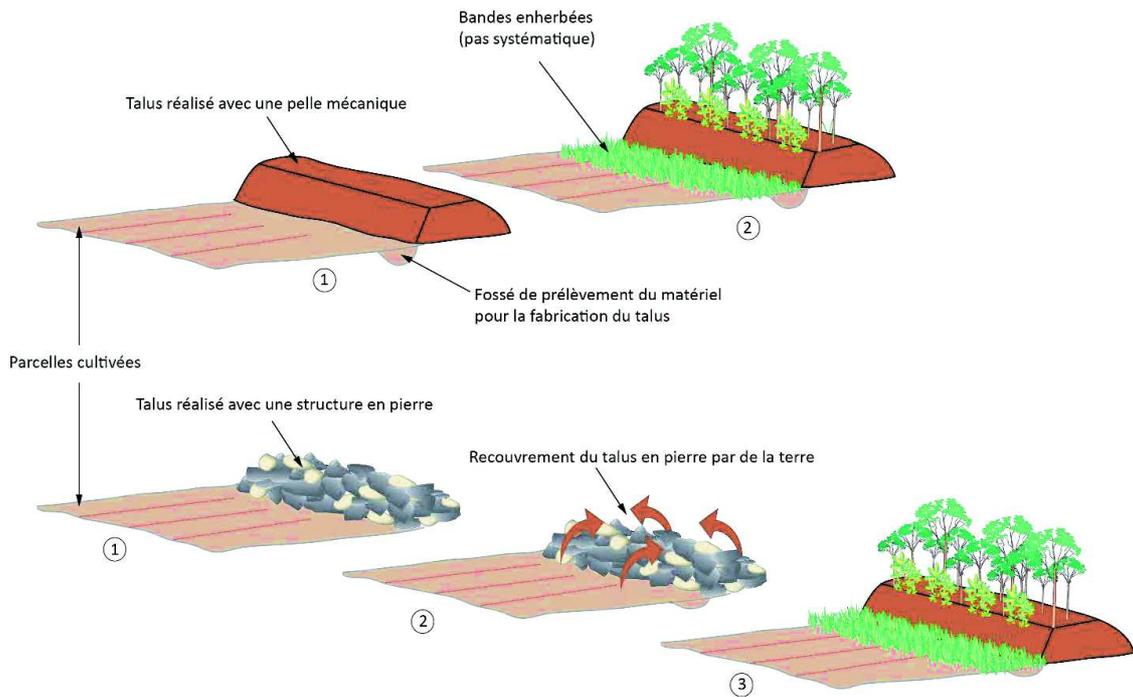


Figure 1.30 : Création de haies sur talus moderne ou ancien d'après les descriptions de Liagre (2006). Auteur : Lucie Froehlicher

1.3.1.2.3 Les haies sur talus avec fossés

Les haies sur talus associées à des fossés sont liées d'après Marcigny (2012) à l'établissement d'un système agricole clos. Les haies sont parfois remplacées par des palissades. La profondeur du fossé peut dépasser 2 mètres (figure 1.31). Le fossé remplit différents rôles potentiels : lutte contre l'érosion, écoulement des eaux, obstacle supplémentaire à la divagation des animaux. Il est donc nécessaire de les entretenir, notamment par un curage régulier.

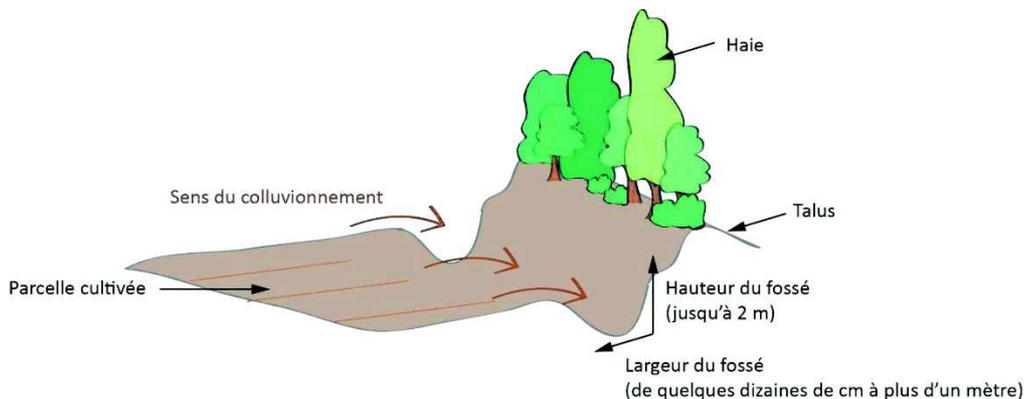


Figure 1.31 : Haie fossé d'après Liagre (2006) et Marcigny (2012) ; Auteur: Lucie Froehlicher

1.3.1.2.4 Les haies avec cuvette enherbée

Les haies associées à des cuvettes enherbées ont pour avantage d'offrir une zone de décantation des coulées boueuses, permettant ainsi à l'eau de s'infiltrer, mais aussi celui d'offrir un espace de circulation supplémentaire entre les parcelles. La figure 1.32 permet de visualiser ce type de haie et l'organisation décrite entre les trois ensembles haie / talus / cuvette enherbée.

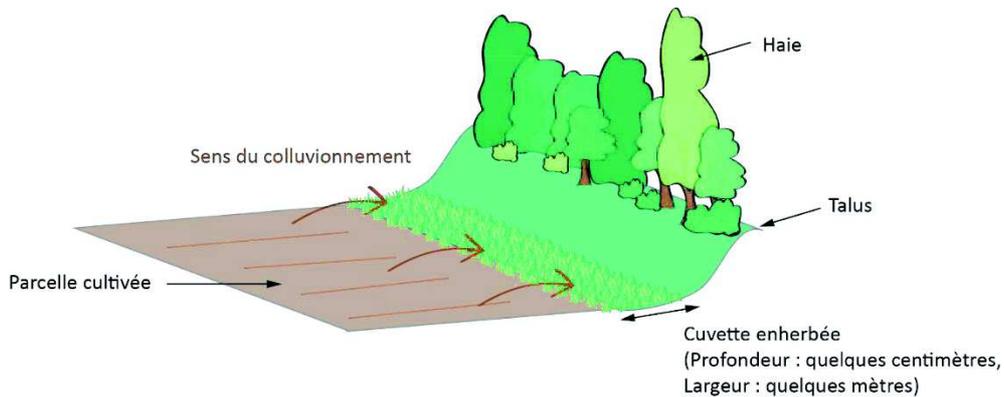


Figure 1.32 : Haie avec cuvette enherbée d'après Liagre (2006); Auteur: Lucie Froehlicher

1.3.1.2.5 La haie double

La double haie est, d'après Nedelec (1978), « un type morphologique de haies mal connu tant par les géographes que par les historiens et les juristes ». Ce système est caractérisé soit par un talus unique avec deux rangées de haies, soit par deux rangées de haies avec un passage au milieu du type chemin creux, système plus rare (figure 1.33).

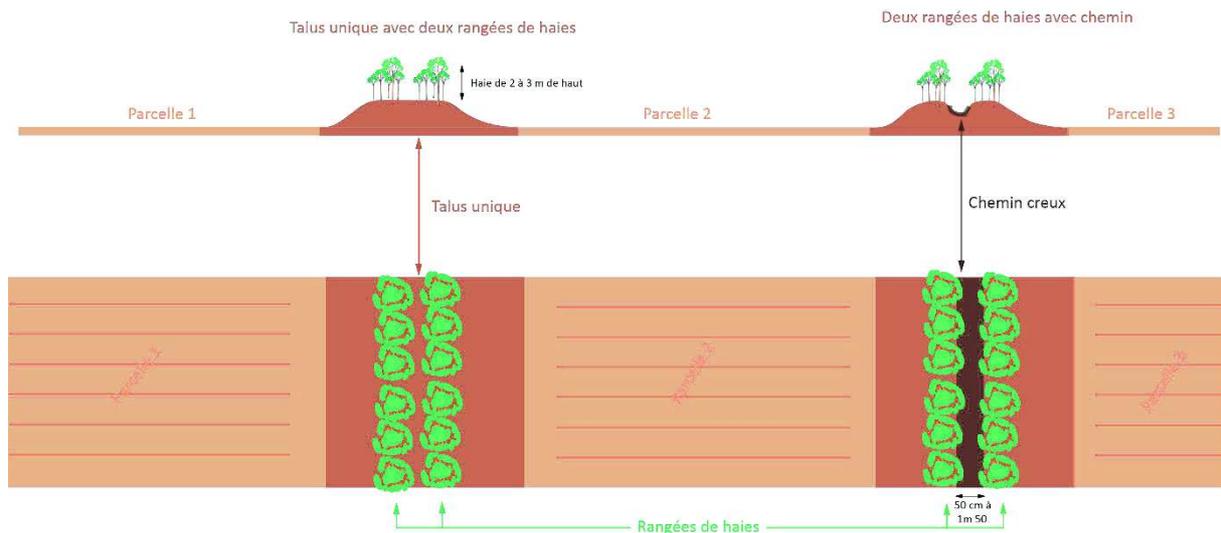


Figure 1.33 : Schématisation des systèmes de haies doubles avec talus unique et avec chemin d'après les descriptions de Nedelec (1978) ; Auteur : Lucie Froehlicher

La photo ci-dessous (figure 1.34) présente un exemple de haies doubles (à gauche), dont la structure est détaillée sur le schéma de droite.

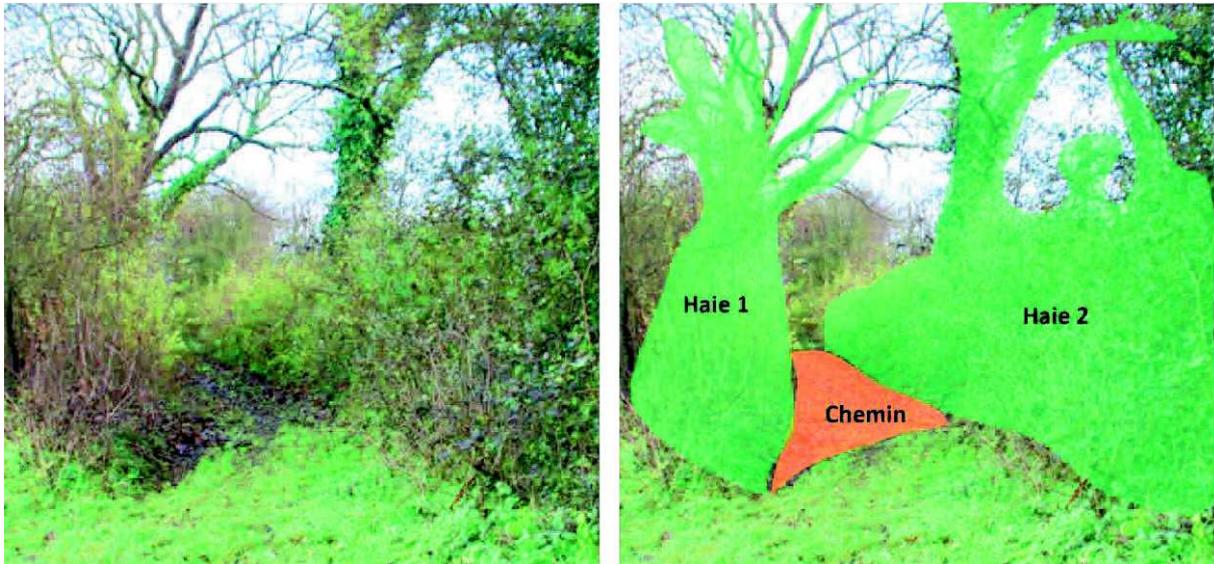


Figure 1.34 : Photo d'une haie double localisée sur le site d'Uffheim (68) ; Source : Lucie Froehlicher

1.3.1.2.6 Haie en douve

Selon Lachiver (1997), la haie en douve est « celle qui a été plantée de chaque côté du talus, et non en son sommet ». Son organisation permet de circuler au milieu. La figure 1.35 représente ce type paysage.

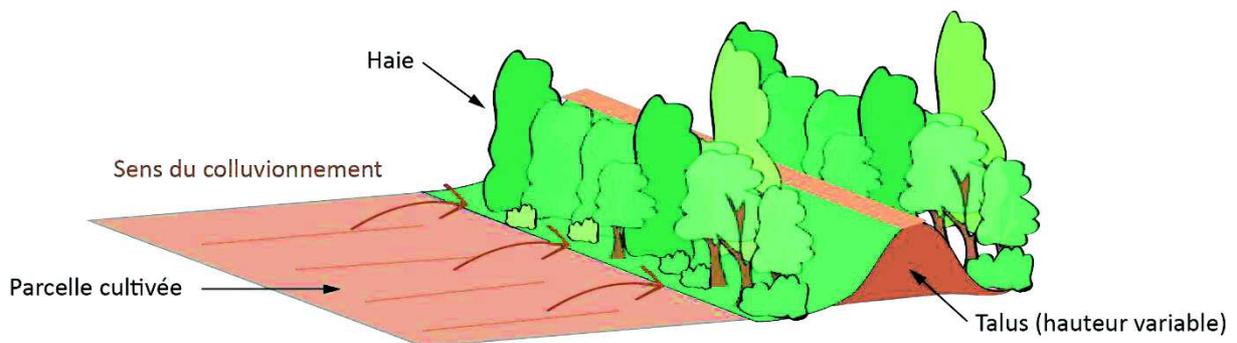


Figure 1.35 : Haie en douve ; Auteur : Lucie Froehlicher d'après les descriptions de Lachiver (1997)

1.3.1.2.7 Les haies complantées

La complantation ou agriculture complantée, dont la première mention date de l'Antiquité, est une méthode de culture caractérisée par l'association de plantes annuelles dans un même champ (Liagre, 2006).

Dans le cas des haies complantées, on retrouve une séparation de l'espace entre les cultures annuelles (céréales, graminées,...) et pérennes, à savoir des arbres fruitiers qui constituent les haies. La figure 1.36 présente différentes variantes qu'il est possible de rencontrer autour des parcelles agricoles.

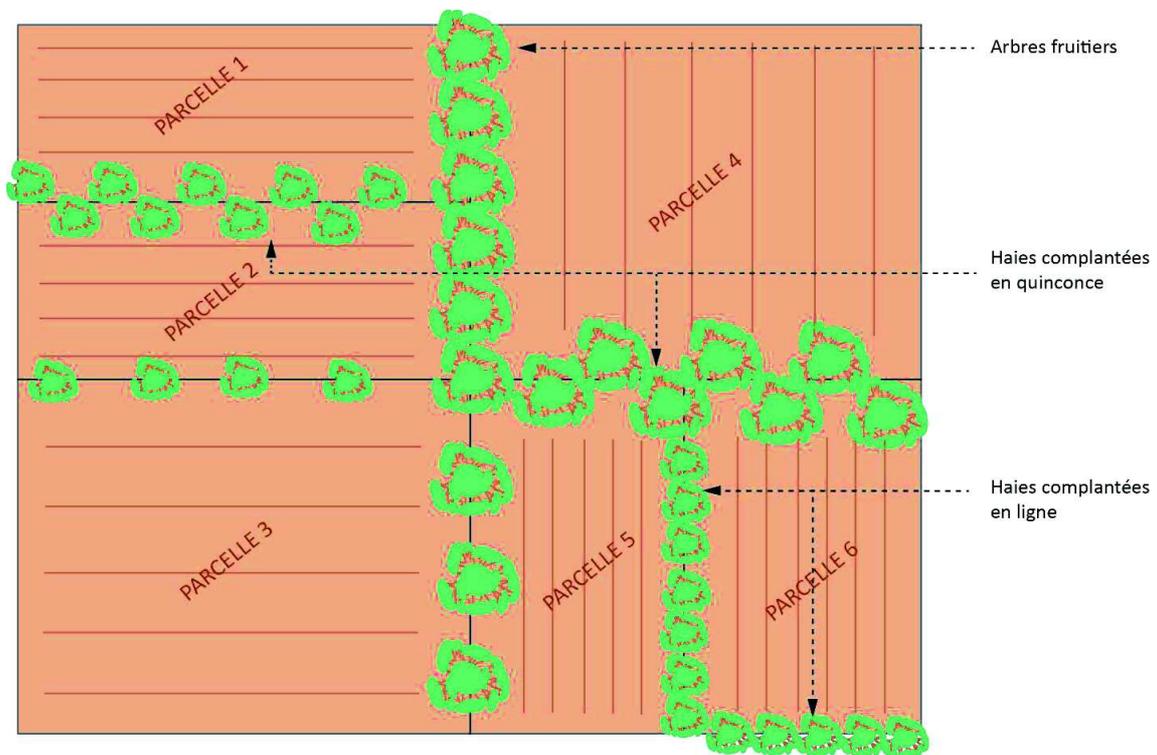


Figure 1.36 : Représentation schématique de haies complantées d'après les descriptions de Higounet (1979) ;
Auteur : Lucie Froehlicher

La photographie ci-dessous (figure 1.37) donne un exemple de l'allure que peuvent prendre ces structures. Il s'agit ici de haies « complantées » entre des parcelles différentes, ici en jachère.



Figure 1.37 : Exemple de haie complanté (culture/arbres fruitiers) dans le secteur de Romanswiller (67). Les arbres du premier plan sont alignés sur un talus ; photo : Lucie Froehlicher

1.3.1.2.8 Haies brise-vent

Morphologiquement, on distingue deux types de haies brise-vent (Liagre, 2006) :

- Les haies perméables (figure 1.38) sont des haies peu denses, laissant passer en partie le vent. Avec ce type de haie, la vitesse du vent est simplement atténuée par le filtrage de la végétation. La surface protégée varie entre 12 et 15 fois la hauteur de la haie.

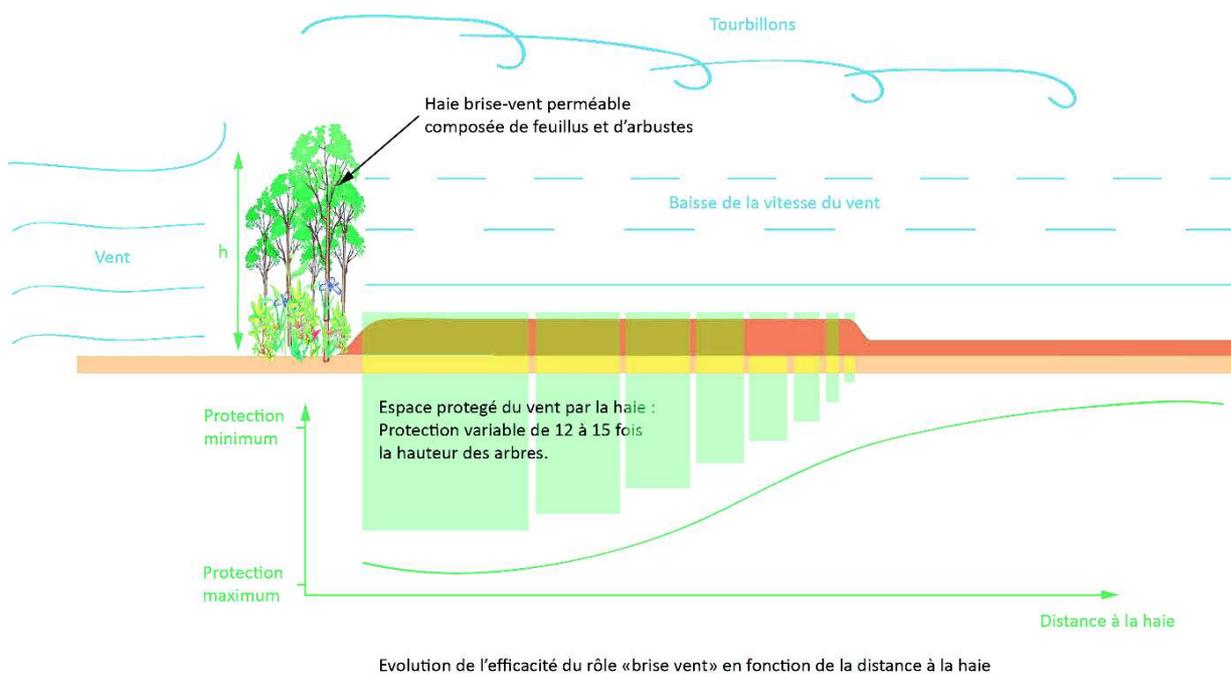
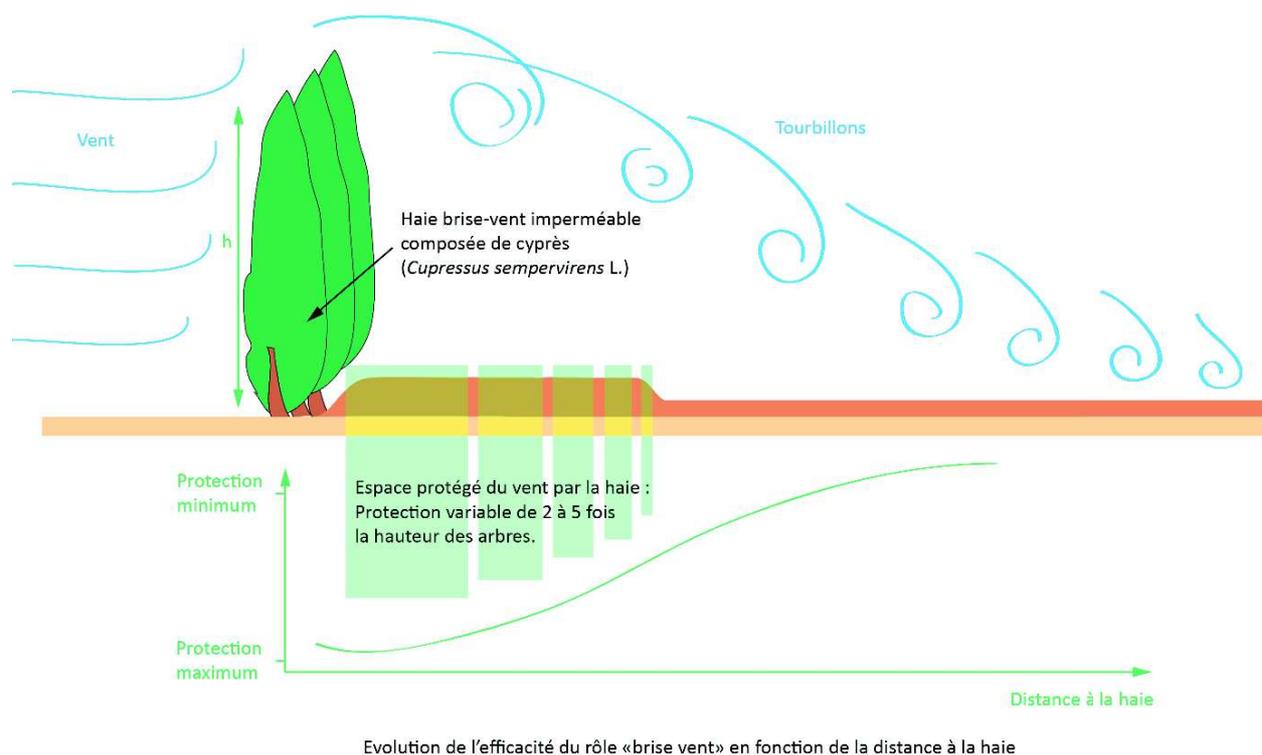


Figure 1.38 : Morphologie et fonctionnement d'une haie brise-vent perméable d'après Liagre (2006). Auteur: Lucie Froehlicher

- Les haies imperméables sont constituées par des arbres densément plantés, qui ne laissent pas passer le vent. Ainsi, une succession de tourbillons se forment, qui vont progressivement balayer le sol et éroder sa surface (figure 1.39). Le niveau de protection, c'est-à-dire la surface totale non érodée par le vent, a une valeur équivalente de 2 à 5 fois la hauteur des arbres.



Evolution de l'efficacité du rôle «brise vent» en fonction de la distance à la haie

Figure 1.39 : Fonctionnement d'une haie brise-vent d'après Liagre (2006), Auteur: Lucie Froehlicher.

1.3.1.2.9 La haie de clayonnage

Située en Basse Normandie, la région de Bellême présente un système de haie très spécifique (Talbot, 1955). Remontant à plusieurs générations, le système de fabrication et d'entretien de ces haies est resté le même au fil du temps sur l'ensemble de la zone. La haie de clayonnage y est largement répandue et s'apparente aux haies de plessage (cf. infra). Le cas des clôtures vivantes africaines en est un autre exemple.

L'élaboration de ces haies, se fait par l'implantation dans le sol de boutures constituées par des branches de saule ou de cytise tous les 50 cm (figure 1.40). Puis, on entrelace cette base avec des rameaux souples, plus fins, afin d'uniformiser et de fermer la haie. Les boutures vont produire des racines et permettre le développement végétal de la haie.

Une fois la haie bien dense, l'entretien peut s'effectuer en moyenne tous les 8 ans par coupe au ras du sol. On peut également procéder à des élagages plus en continu, ce qui fournit du bois de chauffe.

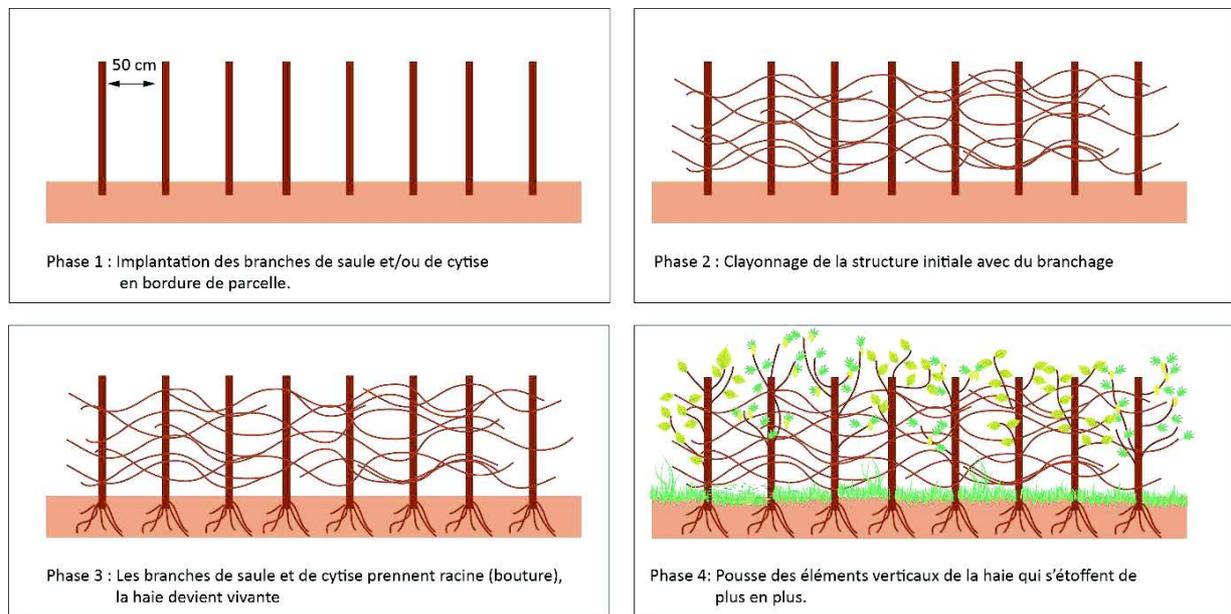


Figure 1.40 : Processus de fabrication d'une haie par clayonnage d'après les descriptions de Talbot (1955) ; Auteur : Lucie Froehlicher

1.3.1.2.10 Les haies de plessage

Le plessage est une technique ancestrale déjà connue au Moyen Age (Liagre, 2006) qui consiste à plier sans casser et entrelacer les branches des arbres, arbustes, des rejets de souches, etc. dans le but d'obtenir une clôture vive et solide (figure 1.41).

Ce système proche du clayonnage s'en différencie par le fait que les entrelacs sont constitués de rameaux vivants.

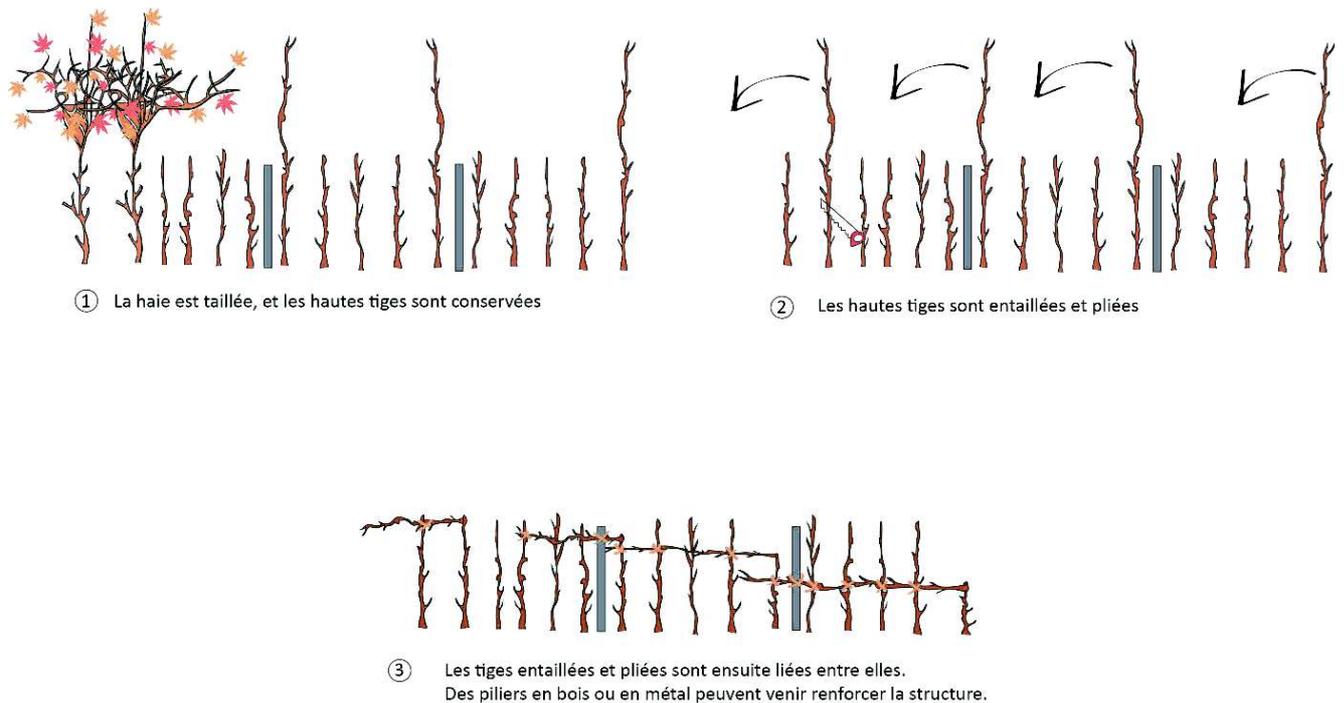


Figure 1.41 : Fabrication d'une haie de plessage d'après Liagre (2006), Auteur: Lucie Froehlicher

1.3.2 Composition floristique et morphologie

Dans cette partie nous présentons les différents types de haies du point de vue des relations entre leur composition végétale et leur morphologie. Ces facteurs dépendent en fait des conditions édaphiques, climatiques, mais aussi des objectifs assignés à ces haies.

L'ouvrage d'Amoreux (1787) est un des premiers à présenter en détail les différentes espèces végétales présentes dans les haies, de la plus fréquente à la plus anecdotique. Les espèces les plus communes sont répertoriées en annexe 2 (B).

1.3.2.1 Les haies épineuses

Les haies épineuses comprennent des bandes végétales plantées volontairement et des formations spontanées qui s'installent plus ou moins rapidement en fonction des caractéristiques du milieu et qui sont composées de quatre strates végétales : arborescente (> 5m), arbustive (de 0.5 à 5 m), herbacée (< 0.5 m), muscinale (végétaux de type mousse, lichens et champignons) (Steimer *et al.*, sans date). Haies épineuses plantées et spontanées présentent un certain nombre d'espèces communes.

1.3.2.1.1 Les haies épineuses spontanées

Ce type de haie se développe sur un espace où il y a absence d'entretien, comme une clôture, un pierrier, une bande enherbée, une bordure de parcelle. Leur évolution est en fait analogue à celle des fruticées, ces formations colonisatrices d'espaces en friche, qui envahissent les terrains calcaires et sont riches en espèces épineuses telles que les prunelliers, les aubépines ou les églantiers (Hoff, 1978). Comme les suivantes, elles peuvent remplir un rôle défensif.

1.3.2.1.2 Les haies épineuses plantées

Plus économiques qu'un mur en pierre ou en bois, les haies défensives sont décrites depuis le Moyen Age (Liagre, 2006 ; Vuilmain, 2009) comme une barrière efficace contre les attaques et les intrusions animales ou humaines. Les espèces végétales qui composent ce type de haie varient en fonction du climat. Ainsi, les haies épineuses d'aubépines sont « emblématiques » des haies anglaises et celles de figuiers de Barbarie (*Opuntia ficus-indica*) des zones méditerranéennes (Antoine et Marguerie., 2007) dès le XVI^e siècle pour ces dernières. Les travaux de Jaenger (1947) renseignent plus précisément les rôles et la place des haies défensives dans les sociétés médiévales alsaciennes :

« [...] On employait aussi la haie vive, mentionnée dans les vieux plans ou documents sous des noms divers : Hage, Hege, Haje, Hay, Hain, Gebüch, Gepick, Verhau, Wehrhecke, Langhecke et Kai, c'est à dire Gehäu. On avait recours à l'aubépine, au prunellier, au chêne nain, au noisetier, au saule... les buissons ayant atteint une certaine hauteur, on ployait les branches pour les enfoncer à nouveau dans le sol, d'où le nom de « Gebüch ». On entrelaçait aussi les branches. Des peines sévères frappaient tous ceux qui portaient atteinte à ces haies de défense. Elles étaient plantées habituellement à une distance d'une quarantaine de mètres, en avant du fossé, et quand ce dernier était à sec, dans le fossé lui-même. Haies, fossé, levées et palissades contribuaient au système de défense peu coûteux, mais efficace. Les points faibles étaient les portes. Elles étaient, comme celles des villes, bâties en pierre. [...]» (Jaenger, 1947).

D'un point de vue historique, les haies épineuses à vocation « défensives » sont bien renseignées. De nombreuses mentions traitant de ces haies sont disponibles. Nous en donnons une sélection dans le tableau 1.1.

Tableau 1.1 : Mentions historiques de "haies défensives" ; Source : Higounet, 1979 ; Liagre, 2006 ; Vuilmain, 2009

Mention	Fonction	Epoque	Source
« clayonnage des arbustes » César, <i>De Bello Gallico</i>	Fabrication d'une haie défensive par clayonnage	Antiquité	Higounet, 1979
« der crützehten Hege » mentionnée six fois à Eckwersheim (67)	Haie défensive	Entre 1305 et 1457	Vuilmain, 2009
	Haie vive provisoire de la ville de Mantes qui remplace les murs d'enceinte de la ville, défectueux.	1313	Liagre, 2006
« zu langen Hege » à Ingenheim (67)	Haie défensive	1366	Vuilmain, 2009
« in der odertzheim Hege » à Marlenheim (67)	Haie défensive	1368	Vuilmain, 2009
« zü lützelin Hege » à Achenheim (67)	Haie défensive	XIII ^e siècle	Vuilmain, 2009
	Haie défensive très répandue en Alsace.	Du 15 ^{ème} s. au 18 ^{ème} s.	Liagre, 2006
Bataille du Duc d'Harcourt en Alsace face à l'armée allemande	Les haies servaient de cachette	1692	Liagre, 2006
« haie sainte » Napoléon à Waterloo	Bloquer les cuirassiers de Nansouty	1815	Higounet, 1979
« Bataille des haies » à Saint Lô surnommée par les Américains « hedgroxhell » (= l'enfer des haies)	Le bocage Normand se transforme pendant la 2 ^{ème} guerre mondiale en poste stratégique de défense et d'attaque.	2 ^{ème} guerre mondiale	Liagre, 2006

Les fonctions défensives des haies épineuses ressortent très clairement du tableau 1.1. Ces haies permettent de freiner la course des « cuirassiers » (Higounet, 1979), de se cacher (Liagre, 2006), d'avoir un poste d'attaque et de défense stratégique (Liagre, 2006),... Si au

moment de leurs plantations, les haies défensives ont une composition végétale plus pauvre que les haies spontanées, leur évolution naturelle ultérieure aboutit à une flore très comparable.

Les haies épineuses sont également une source de production alimentaire ou médicinale. Cet aspect productiviste étant un rôle à part entière (cf. chap. 1.1.2), nous l'avons inclus dans le paragraphe suivant.

1.3.2.2 Les haies productives

Le bois de chauffe, le feuillage comme source de fourrage et les fruits sont les principaux produits de ces haies « productives » ou « haies gourmandes » (Steimer *et al.*, sans date). Les espèces productives sont multiples et varient en fonction des territoires et de leurs caractéristiques climatiques, topographiques et environnementales. Les grandes espèces productives d'Alsace, sont détaillées en Annexe 3 (C). A titre d'exemples, les noyers, cerisiers, pommiers et noisetiers fournissent des fruits de bouche très appréciés ; l'églantier est à l'origine de confitures délicieuses ; le prunellier et le sureau fournissent des eaux de vie.

1.3.2.3 Les haies d'agrément

Les haies d'agrément, destinées à la décoration des parcs, des jardins, des chemins et autres infrastructures non agricoles, n'ont pas d'intérêt pour notre étude. Néanmoins, elles constituent une part importante des haies encore présentes aujourd'hui dans les paysages français (Steimer *et al.*, sans date), c'est pourquoi nous en faisons une présentation rapide.

Le choix des espèces plantées dans les haies d'agrément répond à des critères variables en fonction du site, des caractéristiques météorologiques, et surtout de la volonté du jardinier. Il s'agit bien dans ce cas précis d'un élément décoratif sensé cacher ou embellir un espace (Amoureux, 1787 ; Soltner, 2013). Au grand désespoir des écologistes, on connaît en France une certaine mode qui consiste à clôturer nos habitats par des essences exotiques telles que les « Thuyas, le cèdre, le sapin bleu... qui répandent leur banalité, tous bien alignés et ne présentent aucun intérêt ni pour la faune ni pour la flore. » (Steimer *et al.*, sans date).

Cependant, depuis quelques années, cette tendance s'essouffle et des espèces locales reprennent leur place dans nos paysages. Cela s'explique par l'explosion des groupes associatifs écologistes prônant l'importance des haies sur nos territoires et la valorisation que l'on peut en faire (Association « *Haies vives d'Alsaces* »).

1.3.3 La datation des systèmes de haies

Lorsqu'on travaille sur des structures agraires comme les haies, il est intéressant d'en connaître la date de mise en place. En effet, la détermination de cet âge donne le T_0 des différents processus érosifs et d'accumulation (ruissellements diffus, coulées boueuses, colluvionnement, etc...) enregistrés sur un site d'étude, ouvrant par-là la possibilité de faire des bilans quantitatifs des flux de matière. Les méthodes de la géomorphologie, de l'archéologie, et de la géoarchéologie telles que la carpologie, l'antracologie ou la palynologie sont les approches privilégiées afin de restituer la formation et la dynamique des paysages agraires (Carcaud et Arnaud-Fassetta., 2014 ; Ertlen *et al.*, 2014).

1.3.3.1 La difficile utilisation des méthodes de l'archéobotanique

Les études paléoenvironnementales s'appuient souvent sur des méthodes de l'archéobotanique. Dans le cadre précis des haies, ces méthodes sont souvent d'application difficile.

1.3.3.1.1 L'apport de la palynologie

Les travaux initiés dans le Ouest de la France par Dominique Marguerie sont les rares études palynologiques utilisées pour la datation des haies (Antoine et Marguerie, 2007 ; Renault-Miskovsky, 1992). Ces auteurs mettent en avant qu'en milieu bocager, « la pluie pollinique issue des arbres se décompose : en un signal local, dépendant de la composition de la haie, allant diminuant de façon exponentielle au sein d'une parcelle en fonction de la distance entre le point d'échantillonnage et la haie, avec une pollinisation des ligneux sur talus sensible jusqu'à une quarantaine de mètres, et en un signal régional indépendant des structures paysagères [...] » (Antoine et Marguerie, 2007). Dans la région de Vannes (Morbihan), zone étudiée par ces auteurs, le pin et le noisetier sont les espèces locales les plus représentées au sein des haies.

La méthode présentée ici, bien que très intéressante, doit être utilisée avec précaution. En effet, d'une région à l'autre et en fonction des missions assignées aux haies, leurs compositions et leurs formes varient énormément tout comme l'ensemble des conditions environnementales. Ainsi, la pluie pollinique diffèrera d'un site à l'autre.

1.3.3.1.2 L'apport de la dendrochronologie

L'utilisation de la dendrochronologie pour dater des haies ne donnera que des indications sur l'âge minimum de la haie actuelle, à partir de l'étude des arbres les plus âgés. Bien que cette méthode ne nous informe que sur une courte période, elle peut tout de même caractériser des événements intéressants qui auraient laissé des traces sur les arbres (feux, sécheresse, maladies, ...). Son intérêt est ici limité, contrairement à d'autres champs d'application.

1.3.3.1.3 L'apport de la carpologie

La carpologie s'intéresse à l'étude des fruits, des graines et autres carpo-restes. Cette méthode est d'après Miskovsky (1987), d'un intérêt paléobotanique majeur, car elle établit un lien entre l'occupation du sol et les pratiques culturelles et alimentaires des Hommes. L'état de conservation de ces macro-restes a une incidence directe sur leur exploitation scientifique. Ainsi, le plus souvent, les graines étudiées sont soit carbonisées dans des structures archéologiques, soit stockées dans des pièges à sédiment comme les tourbières ou les sites lacustres (Miskovsky, 1987). Si l'on trouve fréquemment des restes carpologiques dans les sols sous les haies sous forme de poches très localisées, ces restes, non carbonisés, sont des réserves alimentaires accumulées par des rongeurs (figure graine rongeur). Les restes végétaux non carbonisés se conservant mal dans les sols, ces graines sont très certainement modernes.

1.3.3.1.4 L'apport de l'antracologie

Les charbons conservés dans les sols sous des haies peuvent être datés au ^{14}C . Ces charbons peuvent renseigner des événements particuliers arrivés à la haie (émondage,...). La difficulté consiste ici à assurer que le charbon provient bien d'une haie et non d'un épisode d'incendie ou de brûlis antérieur.

1.3.3.2 L'utilisation de la composition végétale

1.3.3.2.1 L'origine des haies

D'après Chapelot (1977), l'origine des haies (forestière, spontanée, plantée,...) peut être renseignée par sa composition végétale. Ainsi, pour cet auteur, « les haies d'origine forestière doivent contenir, parmi les herbacées, des anémones des bois, des jacinthes et de la mercuriale (*Mercurialis Perennis*) ». Il ne nous paraît pas possible de retenir ces affirmations. En effet, d'après les informations données par différentes flores (Bonnier, sans date; Issler *et al.*, 1965 ; Rameau *et al.*, 1989), ces espèces ne sont pas spécifiques d'un habitat unique,

forestier. L'anémone des bois (*Anemone nemorosa*) tout comme la mercuriale pérenne se rencontrent également dans les prairies humides ombragées, les lisières versant ouvert ou encore dans les fruticées. Ce dernier exemple est particulièrement significatif : la fruticée est un stade précoce, arbustif, de recolonisation forestière des parcours, pâture ou prés de fauche à l'abandon (Hoff, 1978). La présence de ces deux plantes dans le sous-bois de cet écosystème indique clairement qu'elles peuvent s'installer rapidement dès lors que le milieu devient ombragé, et qu'elles ne sont donc pas forcément les reliques d'une ancienne végétation forestière. Leur présence dans les haies peut donc aussi résulter d'une phase d'installation, et il est impossible de déduire de leur présence que certaines haies sont des reliques forestières.

1.3.3.2 L'ancienneté de la haie

Selon quelques auteurs, la composition floristique des haies est en relation avec leur ancienneté (Hooper 1970, 1981 ; Pollard *et al.*, 1974). Ainsi, Hooper (1970), cité par Chapelot (1977), établit une corrélation entre le nombre « total d'espèces arbustives présentes dans une longueur type de 30 yards (≈ 27.4 m) d'une haie et l'ancienneté de celle-ci ». Une espèce arbustive nouvelle correspondrait à un siècle d'ancienneté supplémentaire. Ceci est illustré par la figure 1.42, tirée des travaux de Hooper (1981). Le souci est que Hooper ne détaille pas son raisonnement. En particulier, il ne donne aucun élément établissant la manière dont il a daté les haies qui lui servent de référence. Nous considérons donc que ce travail est à manier avec prudence.

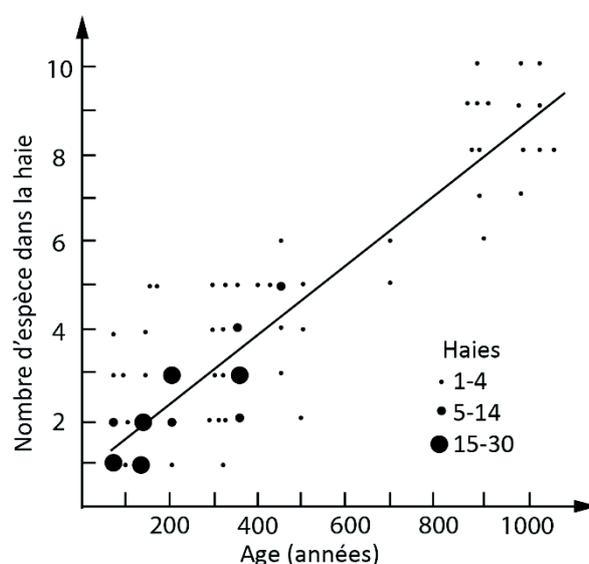


Figure 1.42 : Evolution du nombre d'espèce végétale dans les haies en fonction de de l'âge des haies ; Source : Hooper (1981)

1.4 Conclusion

A l'heure de dresser un premier bilan, il apparaît que les haies correspondent à un objet extrêmement complexe, et que les informations disponibles sont très variables, aussi bien quantitativement que qualitativement en fonction des aspects étudiés.

Le mot même a subi une évolution considérable, désignant au départ des espaces forestiers, puis des formations végétales linéaires, avant d'évoquer un concept en soi, celui de trame verte. L'origine, la structure, la morphologie, le rôle – assigné ou induit – des haies sont également très variés et ont connu des évolutions notables au gré des besoins sociétaux. De ce point de vue, les connaissances disponibles sont abondantes. On peut même dire, que le regain d'intérêt suscité depuis les années 2000 par les haies pour leur rôle environnemental (trame verte, piège à carbone, biodiversité,...) grâce à la PAC (Agreau, 2015 ; INRA, 2003 ; Arrouays *et al.*, 2002 ; ECCP, 2001) est à l'origine d'un regard neuf, novateur sur ces formations, après des décennies de déclin dans la deuxième moitié du XX^e siècle. En revanche l'histoire précise de ces formations, la datation des systèmes de haies reste à écrire. Nous avons relevé très peu de données concernant ces aspects dans la littérature. Nous ne pourrions donc pas nous appuyer sur un corpus de données important lorsqu'il s'agira de comparer, dans la suite de notre travail, les données que nous avons obtenues aux connaissances préalables.

Chapitre 2 : Du colluvionnement à la formation des rideaux de culture

Dans ce chapitre, nous décrivons les différents processus à l'origine de la formation des rideaux de culture qui sont des structures d'origine agraire, formées grâce à l'action des haies sur le colluvionnement. Nous nous focaliserons dans un premier temps sur le processus de colluvionnement : son origine, ses mécanismes et les moyens de dater les différents dépôts de colluvions. Dans un deuxième temps, nous définirons et présenterons les mécanismes de formation des rideaux de culture. Nous attirerons aussi l'attention sur des structures semblables en apparence mais d'origine très différente : les terrasses agricoles. Enfin, nous synthétiserons les données publiées sur les sols de ces formations.

2.1 Les transferts de matières à l'échelle du versant

2.1.1 Les colluvions

Les colluvions sont des « matériaux transportés par ruissellement diffus puis déposés le long des pentes ou au pied de celles-ci » (Lozet et Matthieu, 1990). La composition des colluvions est en lien avec les formations superficielles dont elles dérivent. Si la définition de Lozet et Mathieu (1990) est simple, certains auteurs la nuancent, ou la précisent. Ainsi, Lang et Hönscheidt (1999) complexifient le concept en suggérant l'idée que le terme de colluvion s'applique plus particulièrement aux produits de l'érosion résultant du labour des sols. Une définition moins restrictive et dont nous nous servons dans cette thèse est donnée par Baize et Girard (2009) : « Les colluvions sont des formations superficielles particulières de versant qui résultent de l'accumulation progressive de matériaux pédologiques, d'altérites ou de roches meubles (ou cohérentes désagrégées) arrachés plus haut dans le paysage. Le colluvionnement ne peut intervenir qu'à condition que la couverture végétale ne soit pas continue ». Comme Lindstrom (2002), ces auteurs suggèrent que les colluvions peuvent aussi être le produit de l'érosion gravitaire par le labour. Notons que l'absence de référence au ruissellement implique que cette définition peut aussi s'appliquer aux coulées boueuses, que nous détaillerons plus loin.

Si les définitions des colluvions sont simples, il n'en est pas de même pour leurs caractéristiques morphologiques, qui sont variées :

- Il n'y a pas de structure sédimentaire nette (distinction possible d'une grossière stratification, notamment sur les formations polygéniques). De plus, il n'y a pas de tri,

ou très faible, des éléments grossiers (Campy et Macaire, 1989). Ceci n'est pas vrai dans le cas des coulées d'eaux boueuses, qui peuvent se traduire par la formation de croûtes sédimentaires à structure lamellaire (cf. infra, 2.2.2).

- Les particules sont hétérométriques, mais généralement à matrice fine. Elles sont composées de matériaux pédologiques, d'altérites ou de roches meubles (Baize, 2004). Les éléments grossiers qui composent les colluvions sont généralement anguleux (Lozet et Matthieu, 1990), sauf si le matériau initial est constitué de galets. En effet, la distance de transit étant courte, aucun émoussé lié au transport ne peut se produire.
- L'épaisseur des colluvions varie en fonction de la fréquence, de la durée et de l'intensité du processus de ruissellement. D'après Campy et Macaire (1989), elle varie entre quelques décimètres et quelques mètres.
- L'organisation et la taphonomie (= remaniements post-dépôts) des colluvions peuvent en revanche évoluer après la phase de dépôts, les colluvions étant susceptibles d'être remaniées par des processus mécaniques et/ou biologiques liés à la pédogénèse.
- La composition lithologique est très variable, en lien avec le substrat local. De plus, en comparaison avec un sol en place, la répartition relative en matière organique des colluvions est plus homogène sur toute leur épaisseur. Ceci implique, en conséquence, que les teneurs en MO sont plus élevées globalement en profondeur (Figure 2.1).

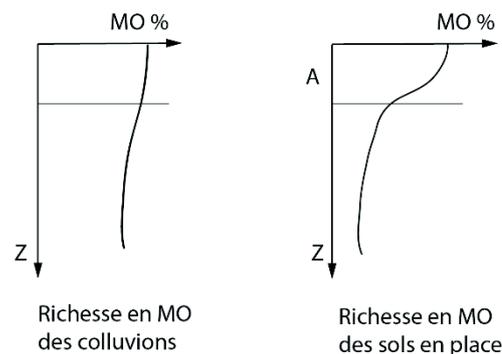


Figure 2.1 : Richesse relative en M.O. des colluvions et des sols en place

2.1.2 Les origines du colluvionnement

Le colluvionnement est le processus qui conduit à la production et au transport de colluvions. L'intensité, la fréquence et la durée de ce phénomène érosif ne sont pas homogènes sur l'ensemble d'un territoire. L'intensité du colluvionnement est directement liée à la valeur de la pente et à la densité du couvert végétal (figure 2.2). Elle dépend par ailleurs du type de facteur qui en est responsable :

- **Le facteur climatique** aboutit à une érosion dite normale, sans perte trop importante de sol car la vitesse d'érosion est inférieure à la vitesse d'altération de la roche mère sous nos climats tempérés (Rosique, 1994).
- **Le facteur anthropique** s'exerce par le biais de l'utilisation du sol. Celle-ci exacerbe souvent l'érosion, le sol subissant une pression plus forte (déforestation, défrichage, labour, surpâturage, etc.) par comparaison à l'érosion dite « normale » sous un couvert végétal naturel. Dans cette configuration, la vitesse d'érosion est largement supérieure à celle de l'altération de la roche mère, provoquant une « squelettisation du sol » (Roose, 1994).

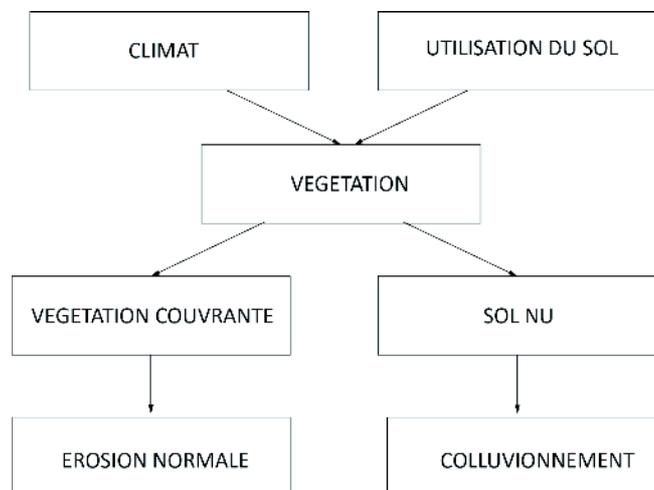


Figure 2.2 : Influence du couvert végétal sur la production de colluvion ; Source : Lucie Froehlicher

2.1.3 Les processus de colluvionnement

D'après Kwaad et Mùcher (1975) ou Auzet (1987), plusieurs types de processus contribuent à la formation des colluvions :

- **Le transport par les eaux de ruissellement :**

Le ruissellement diffus (figure 2.3) correspond à « la dispersion de l'écoulement en une multitude de filets d'eau très ramifiés, jamais profonds, sur des pentes de très faibles valeurs. Lui correspond une érosion de type aréolaire » (Wackermann, 2005). En fonction de l'intensité et de la durée de ce ruissellement, « la terre mélangée à l'eau prend une consistance boueuse et les éléments grossiers se séparent des plus fins [...] ces derniers sont entraînés, sinon ils se déposent à leur tour et forment des dépôts lités caractéristiques [...] : les croûtes de battance » (Lozet et Mathieu, 1990). Celles-ci se subdivisent en croûtes sédimentaires, qui résultent d'un transport et sont litées, et en croûtes structurales qui se forment par lissage de la surface du sol en place (cf. infra, effet splash). En fonction du nombre de dépôts et de la quantité déposée, de vraies lamines (sédiments déposés en fines lames) peuvent être identifiées au sein de ces dépôts (Foucault et Raoult, 2005). Un exemple en est donné par les figures 2.3 et 2.5C.

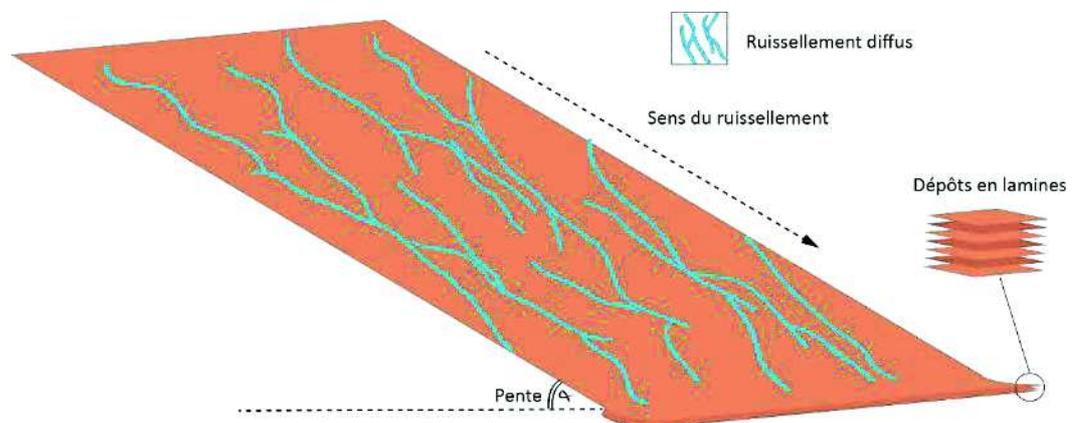


Figure 2.3 : Ruissellement diffus et formation de lamines ; Source : Lucie Froehlicher

Pour leurs parts, les coulées d'eaux boueuses sont une « masse visqueuse constituée d'un mélange d'eau et de débris, se déplaçant rapidement le long d'une pente, généralement à la suite de précipitations très abondantes. » (Antoine, 2008).

- **L'effet *Splash*** (figure 2.4) :

L'effet *Splash* correspond à un mouvement des particules détachées principalement sous l'impact des gouttes de pluie. Ce « terme anglais [traduit] une érosion par éclaboussure par le choc des gouttes de pluies sur l'agrégat. Il s'agit d'un rejaillissement consécutif à l'impact des gouttes de pluies sur le sol, les éclaboussures sont constituées d'eau et de particules de sol » (Lozet et Mathieu, 1990). Sur des sols en pente, les particules sont projetées plus loin vers l'aval que vers l'amont (figure 2.4). L'effet splash contribue donc au déplacement de terre vers le bas des pentes.

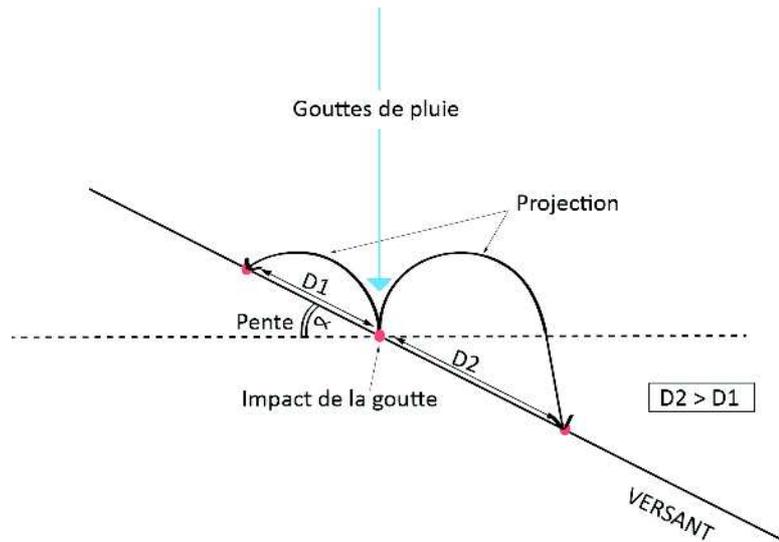


Figure 2.4 : Effet Splash ; Source : Lucie Froehlicher

- **Le déplacement vers l'aval des matériaux du sol par l'influence directe du labour** (Govers *et al.*, 1994). Le frottement de la charrue et le retournement du sol par son versoir provoquent un déplacement de terre. Comme pour l'effet *Splash*, le phénomène est dissymétrique sur les pentes, même si le labour est perpendiculaire à celle-ci. Il y a un déplacement privilégié vers l'aval. Ce phénomène est accentué quand le labour se fait dans le sens de la pente.

Des phénomènes tels que le fluage, la reptation ou *creeping*, la solifluxion sont en revanche très différents et ne seront pas développés ici.

2.1.4 Les coulées d'eaux boueuses

Dans une définition restrictive, les coulées d'eaux boueuses ne sont pas considérées comme une forme de colluvionnement. Dans un sens plus large, il s'agit aussi de phénomènes engendrés par les écoulements hydriques le long des versants, et, comme le colluvionnement diffus, elles peuvent concourir à la formation des rideaux de culture.

Antoine (2008) caractérise les coulées d'eaux boueuses comme une « masse visqueuse constituée d'un mélange d'eau et de débris, se déplaçant rapidement le long d'une pente, généralement à la suite de précipitations très abondantes ». D'après Lozet et Mathieu (1990), ces coulées peuvent se déplacer sur le versant avec une vitesse pouvant dépasser 1m/s. Ils localisent ce phénomène essentiellement « sous climat méditerranéen ou montagnard, surtout après déforestation ». Mais l'Alsace, et notamment les zones lœssiques ne sont pas épargnées par ce phénomène (Ritsema *et al.*, 1996 ; Van Dijk et Kwaad, 1996 ; Van Dijk et

Koller, 2015 ; Van Dijk *et al.*, 2009 ; Armand, 2009 ; Armand *et al.*, 2009 ; Auzet, 1987 ; Auzet *et al.* 1995). En dehors des caractéristiques climatiques générales, les facteurs importants générant des coulées d'eaux boueuses sont la pente, l'absence de couverture végétale, la faible stabilité structurale, une faible capacité d'infiltration de l'eau dans les horizons profonds et la répétition de pluies abondantes. Les paysages agricoles sur versants loessiques répondent parfaitement à ces conditions. Avec des sols à nu plusieurs mois par an, des labours parfois profonds, une activité pluviométrique intense et des caractéristiques pédologiques rendant le matériel vulnérable, ces espaces cultureux sont très sensibles aux coulées boueuses dont la masse et la fréquence évoluent en fonction des critères cités précédemment.

Les conséquences des coulées d'eaux boueuses en zone agricole loessique peuvent parfois être désastreuses et entraîner la perte d'une partie ou de la totalité de la production. Les produits arrachés sur le versant vont être entraînés jusqu'en bas de pente, par l'action du ruissellement : une zone de dépôt est observée (figure 2.5A). Le dépôt formé, la croûte sédimentaire (figure 2.5B) est caractéristique de cette zone de dépôt des coulées d'eaux boueuses en zone agricole. Le zoom sur ces croûtes sédimentaires, permet de détailler les différentes phases de ces coulées par la différenciation des lamines (figure 2.5C). La formation des lamines est liée à la ségrégation granulométrique lors du transport, et aux pulsations de l'intensité des pluies qui engendrent des variations dans la vitesse d'écoulement.



Figure 2.5 : Coulée d'eaux boueuses (A), Croûte sédimentaire(B) et lamines (C) en zone agricole ; Photos : D. Schwartz

2.1.5. La datation des colluvions

Les dépôts de pentes et les colluvions sont d'importantes archives sédimentaires pour les recherches paléoenvironnementales, puisqu'ils permettent de reconstituer les paysages du passé en lien avec les variations climatiques et les activités anthropiques (Fuchs et Lang, 2009). Mais pour tirer un profit maximum de ces formations, il faut pouvoir les dater. Plusieurs voies sont possibles à cet effet.

La méthode de datation OSL (*Optically Stimulated Luminescence*) est relativement nouvelle et connaît encore actuellement des développements méthodologiques. Elle sera développée dans la partie « Matériel et Méthodes » de cette thèse. Pour résumer, elle permet de dater directement la dernière mise au jour (et donc le dépôt) des colluvions, même sur des transports à courte distance (Fuchs et Lang, 2009).

Les datations ^{14}C s'appliquent soit à des charbons de bois transportés avec les colluvions (et dispersés dans la masse) ou recouverts par des dépôts (et alignés). Elles s'appliquent également à la matière organique des colluvions, sensée avoir un âge peu élevé au moment du transport, car provenant des horizons de surface des sols.

Enfin, la découverte d'artefacts archéologiques, transportés avec les colluvions ou recouverts par eux permet également un calage chronologique.

Toutes ces méthodes souffrent cependant de biais, liés à la nature même du matériau (les colluvions) et au mode de transport (cf. « matériel et méthodes »).

2.2 Définitions et formations des rideaux de culture

Le stockage des colluvions à l'amont de bandes végétales comme les haies aboutit à la formation de talus ou rideaux de culture qu'il nous faut caractériser précisément, car ceux sont eux qui constituent l'objet central de notre étude.

2.2.1. Définitions

Dans la littérature française, on ne trouve pas beaucoup de définitions pour le terme « rideau de culture ». Même dans les ouvrages spécialisés, ce terme pourtant très utilisé, aucune définition précise n'est proposée. D'après Aufrère (1929), le terme « rideau » apparaît en France un siècle auparavant (soit en 1830 environ) dans le vocabulaire des géographes et des géologues et correspond à « un talus fortement incliné, généralement rectiligne ou formé de segments rectilignes et nettement encadré entre deux arêtes angulaires se rejoignant à ses deux extrémités » ou encore à « une langue de terrain escarpé et en pente qui sépare deux héritages voisins ». D'autres spécialistes comme Soutter *et al.* (2007) offrent une définition toute aussi précise que celle d'Aufrère (1929), à savoir un « modelage progressif du terrain obtenu en effectuant les labours en suivant les courbes de niveau en versant toujours la terre vers l'aval [...] Le profil du terrain se développe en une série de champs moins pentus séparés par des décrochements ou rideaux. Ces talus non cultivés, reçoivent les pierres retirées des champs et voient se développer broussailles et arbustes ».

La figure 2.6 résume en 3 schémas successifs l'évolution d'un paysage caractérisant la définition de Soutter *et al.* (2007).

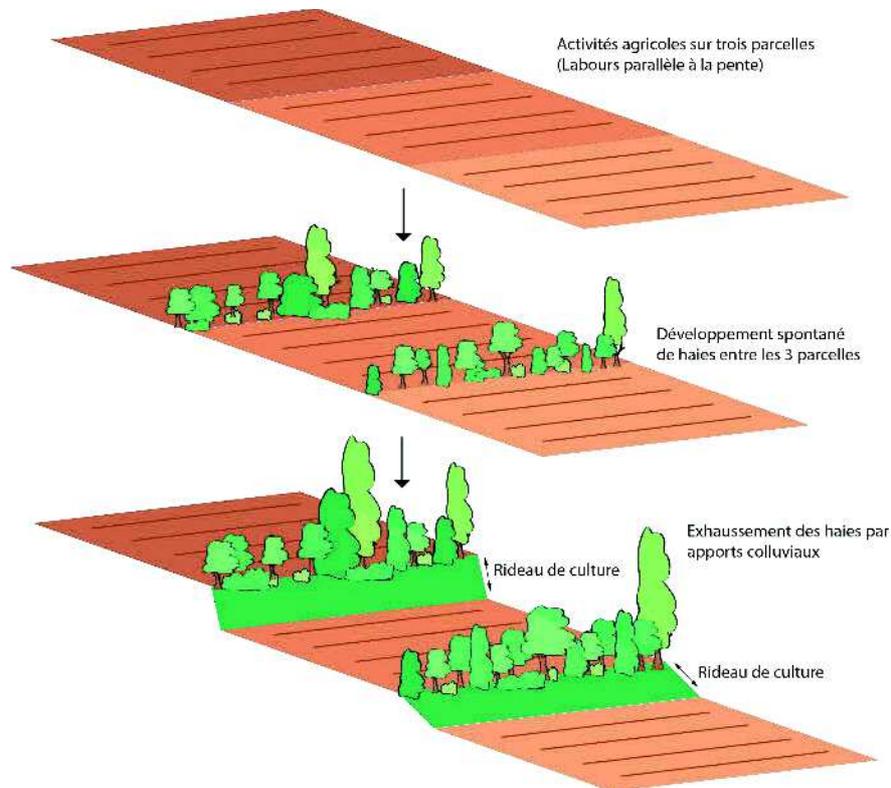


Figure 2.6 : Formation d'un rideau de culture d'après Soutter ; Source : Lucie Froehlicher

Ces définitions permettent de comprendre les grandes caractéristiques du rideau. Ce dernier, correspond à un talus linéaire avec une pente plus ou moins importante, délimitant deux entités structurales (champs, vergers, pâtures, ...). La présence initiale d'une haie n'est pas indispensable. De petits rideaux peuvent se former à la limite d'un champ, d'une clôture. Mais, clairement, la présence initiale d'une limite parcellaire de type haie, accélère le processus.

L'association du terme « de culture » à celui de « rideaux » renseigne quant à l'origine agraire de cette morphologie.

2.2.2 Formation des rideaux de cultures

D'après Aufrère (1929), les rideaux pourraient avoir deux origines différentes. La première résulterait d'actions naturelles, à savoir « l'action mécanique des eaux courantes, des phénomènes de dissolution, de l'activité sismique (fissures/diaclases), des eaux maritimes, des processus de décollements et de glissements de terrain ». Les rideaux d'origines

anthropiques résultent d'une activité érosive associée à des structures de maintien (types haies, muret, etc.) produisant un nivellement du paysage.

Il existe peut-être une confusion ici, en regroupant sous le terme de rideau des formes de reliefs très différentes. La tectonique, l'alternance de couches sédimentaires de duretés différentes peuvent en effet aboutir à la formation de talus, mais ces formations ne correspondent pas à des rideaux de culture, terme à réserver aux structures d'origine agraire.

Ainsi, en résumé, les rideaux de cultures sont les produits des activités agricoles associées à un ou plusieurs systèmes de haies. Ils correspondent à un bourrelet de terres agricoles, colluvionnées sur un versant et s'accumulant progressivement à l'amont des haies. Les paysages induits par ces structures agraires sont, d'après Allix (1931), des « paysages anthropogéographiques ».

La hauteur et la vitesse d'exhaussement des rideaux de cultures sont susceptibles d'évoluer en fonction de différents facteurs :

- Les facteurs climatiques naturels (intensité, fréquence et durée des pluies,...) amplifiés par l'action humaine jouent sur l'intensité de l'érosion (Bryan, 2000) ; (Comino *et al.*, 2015) et par conséquent sur la vitesse de formation des rideaux ;
- La sensibilité à l'érosion des sols, fonction en particulier de leur stabilité structurale et de leur caractéristique granulométrique (Duchaufour, 1997 ; Bryan, 2000 ; Van Dijk *et al.*, 2010) ;
- Les pratiques agricoles (Govers *et al.*, 1994 ; Lindstrom, 2002 ; De Alba *et al.*, 2004 ; Wang *et al.*, 2015). En fonction du type de labour, l'épaisseur de la semelle de labour n'est pas la même. Ainsi, le volume de terre potentiellement érodable n'est pas le même.
- La valeur de la pente en amont de la haie (Follain, 2005) : plus la pente est forte, plus le processus de colluvionnement est intense.
- La distance entre deux haies successives. La quantité de matériel disponible, ainsi que l'énergie et la vitesse du ruissellement, augmentent avec l'écartement des haies, influençant la hauteur potentielle des talus.
- Le type de cultures (céréales, légumineuses, ...), qui joue à la fois sur la stabilité structurale du sol et sur la durée pendant laquelle le sol est à nu.
- Le type de haie présent sur le versant (avec ou sans fossé/muret, fosses, bandes enherbées...) (Baudry et Jouin, 2003).
- L'énergie du ruissellement, lui-même lié à l'écartement entre les haies et la valeur de la pente.

- La durée pendant laquelle l'activité érosive s'est exercée. Toutes conditions égales par ailleurs, la hauteur des rideaux est une fonction du temps.
- L'épaisseur du sol et la nature du substratum géologique.

Un schéma général de formation des rideaux de culture est synthétisé par la figure 2.7.

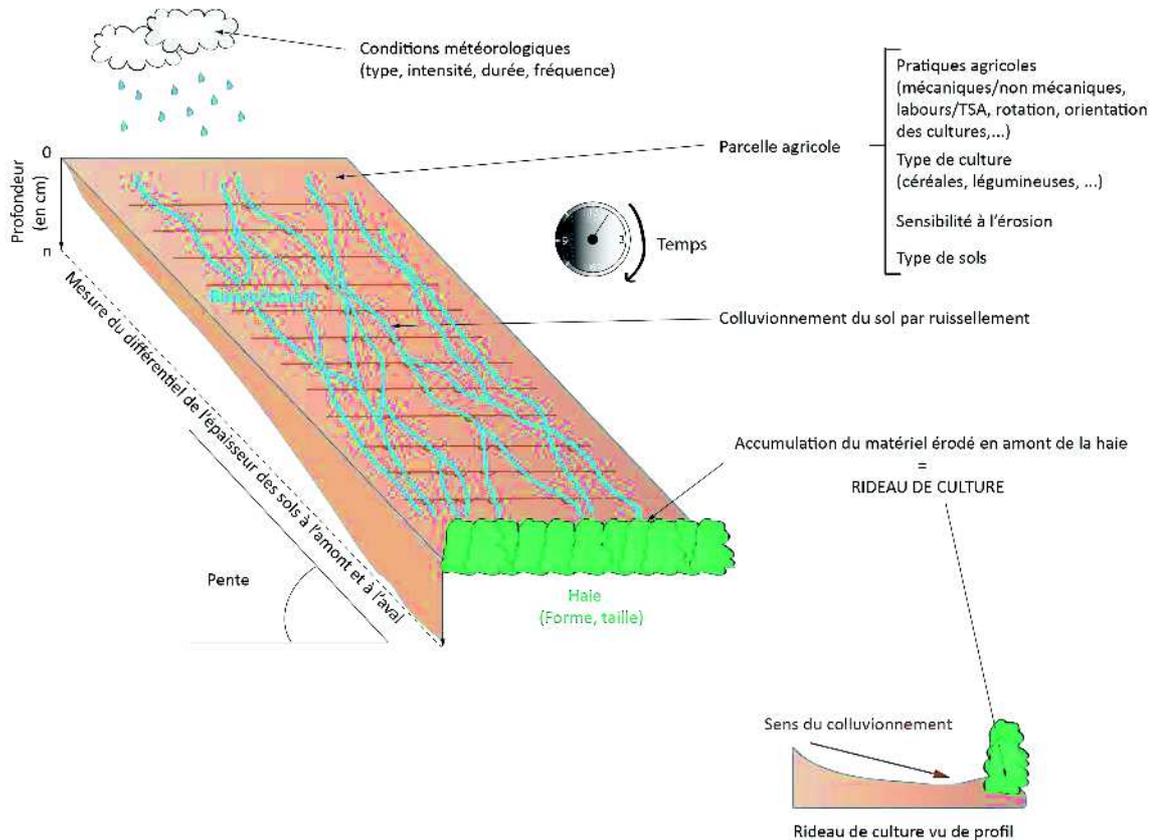


Figure 2.7 : Principe de formation d'un rideau de culture, Auteur: Lucie Froehlicher

2.2.3 Différenciation rideaux de culture / terrasses.

Les terrasses agricoles correspondent, contrairement aux rideaux, à une modification volontaire du relief pour faciliter le travail du sol et/ou pour freiner l'érosion. Les terrasses s'obtiennent par décaissement de l'amont de la pente, le matériau déblayé servant à construire le remblai de la partie à l'aval (figure 2.8). En absence de muret, il est parfois difficile de distinguer les rideaux de culture des terrasses, la morphologie pouvant en être très semblable (figure 2.9). L'observation sur coupe ou à l'aide de tarières permet de conclure. En effet, dans le cas des terrasses, on observe très clairement qu'une partie des horizons du sol est tronquée latéralement à la limite de la zone décaissée, tandis que le remblai est relativement homogène, ou au contraire avec des mélanges de matériaux différents mais sans organisation

pédologique cohérente. A l'inverse, sous les rideaux de culture, les horizons de sols inférieurs sont continus et l'horizon supérieur, d'origine colluviale, est épaissi (figure 2.8 C).

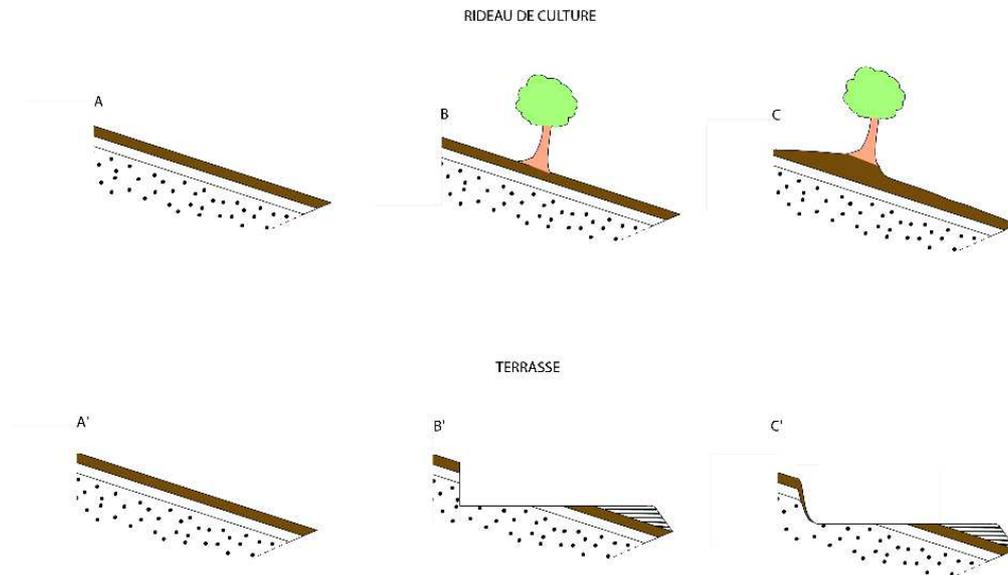


Figure 2.8 : Différenciation Rideau de culture VS Terrasse ; Auteur : Lucie Froehlicher

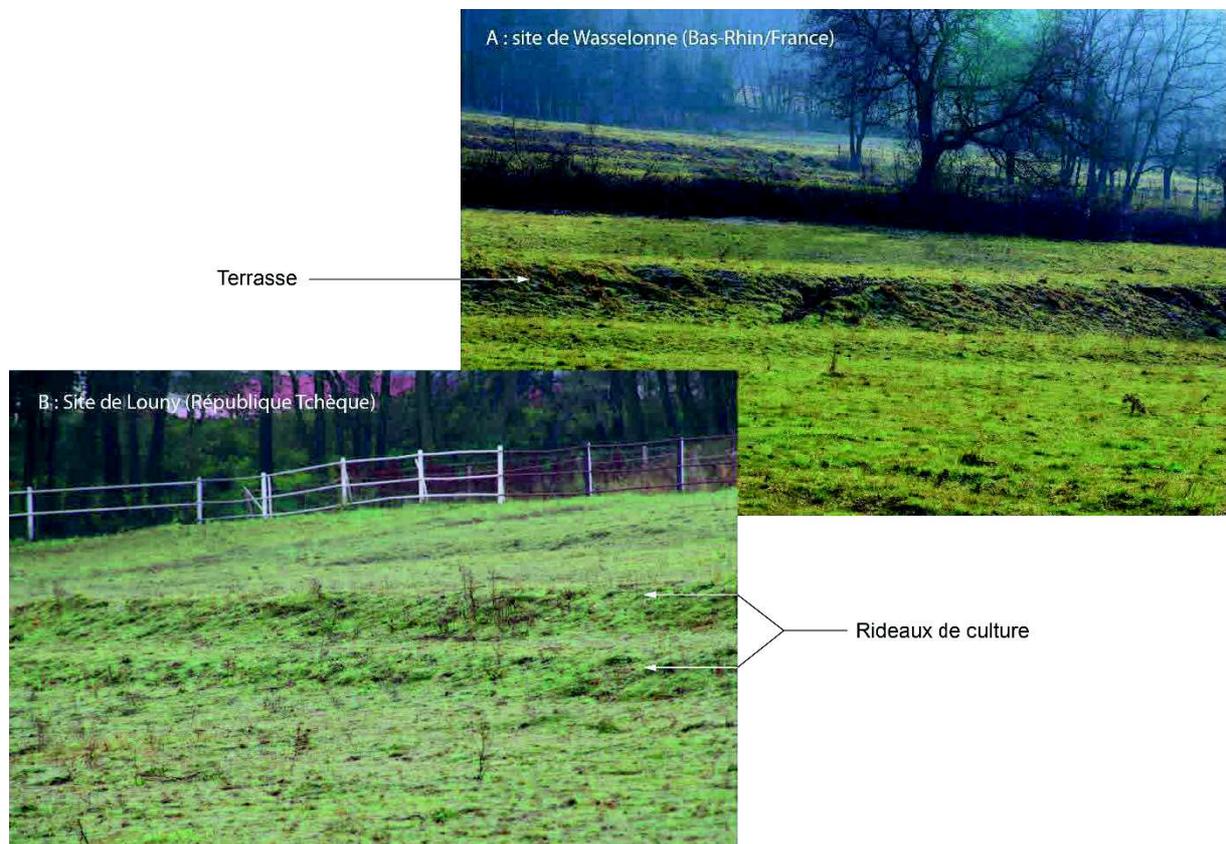


Figure 2.9 : A : Terrasse du secteur de Wasselonne (Alsace) et B : rideaux de culture (Louny/République Tchèque) ; Photo : Dominique Schwartz

2.3 Organisation des sols de rideaux de culture

Sur un versant, les haies perpendiculaires à la pente constituent une barrière au colluvionnement. Elles sont à l'origine d'une différenciation toposéquentielle de l'organisation des sols (figure 2.7). En effet, on observe en général un épaissement du sol de l'amont vers l'aval d'une parcelle entre deux haies. Dans la pratique, les situations réelles sont encore plus complexes. Les études de Carnet (1979), Carnet *et al.* (1979) et de Follain (2005) en sont de bons exemples.

2.3.1 Typologie des sols de haies : études de cas

2.3.1.1 Etude de cas n°1 : Organisation des sols en milieu bocager (Follain, 2005)

Les travaux de Follain (2005), offrent une grande visibilité quant à l'organisation des sols en milieu bocager, à Montours (Bretagne, 48°26'N, 1°19'O). L'analyse 2D qu'il réalise dans un premier temps permet de décrire leur organisation à l'échelle du versant, en amont et en aval de haies sur talus. Pour cette étude, l'auteur a fait le choix de réaliser des tranchées de 2 m de haut sur 25 m de long, afin d'avoir une vision continue de l'ensemble de la toposéquence. Ainsi, il lui a été possible de comprendre plus précisément les relations entre l'organisation du sol, le substrat et la topographie associée au bocage (figure 2.10).

Les sols sont relativement variés. Ils correspondent pour l'essentiel à des luvisols, à profil A/E/BT et à des alocrisols à profil LA/S selon les toposéquences. Ainsi la toposéquence W1.1 correspond principalement à des luvisols (sols bruns lessivés) alors que la toposéquence E1 est constituée d'alocrisols (sols bruns acides). On notera que la façon dont se termine l'horizon BT de la toposéquence W1.1 à la jonction entre le talus et le chemin creux laisse supposer un surcreusement anthropique. Dans certains cas (W2.1), les colluvions qui recouvrent le luvisol se sont différenciées au point de former un alocrisol (A/S). La toposéquence E2 est particulièrement complexe. L'organisation des horizons profonds du sol laisse supposer des remaniements anthropiques. On notera une constante sur toutes les toposéquences : l'épaississement des horizons superficiels A juste à l'amont des haies.

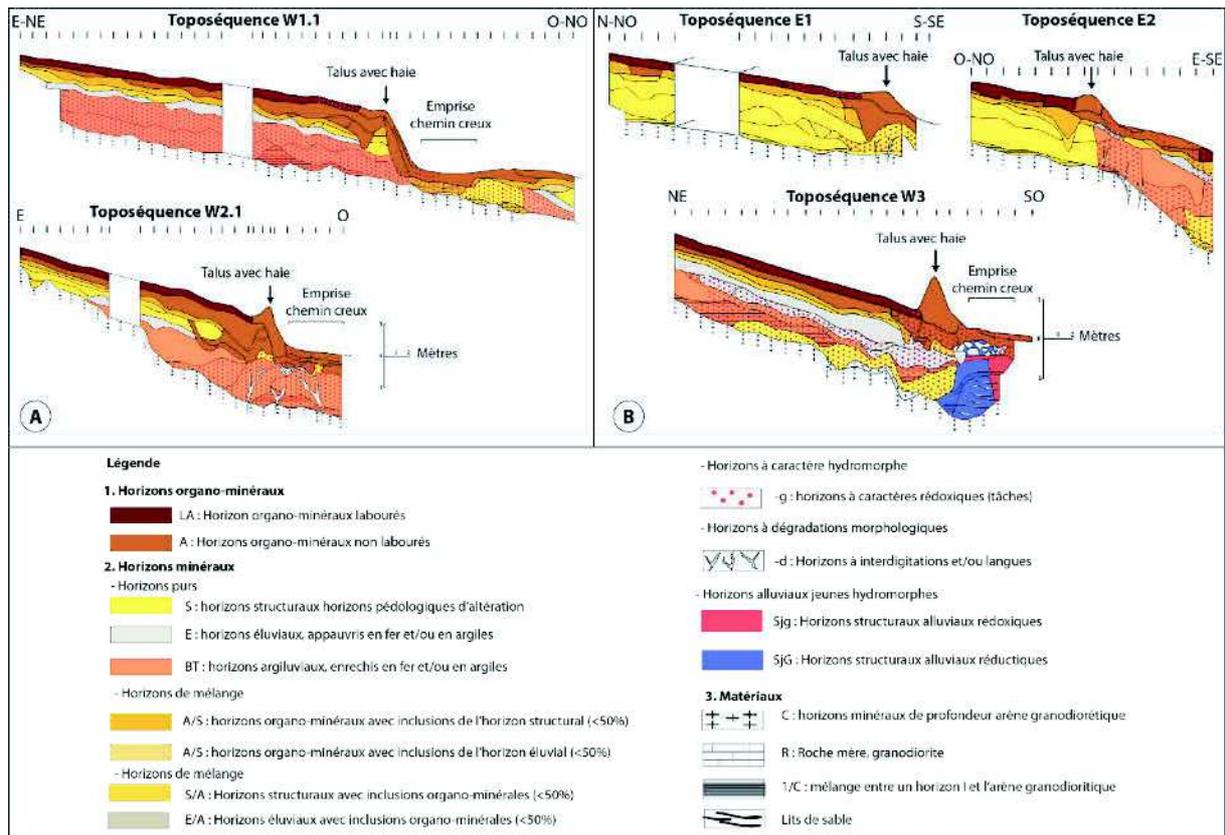


Figure 2.10 : Schéma composite de l'organisation des sols des toposéquences étudiées par Follain, 2005 à Montours (35)

2.3.1.2 Etude de cas n° 2 : Etude de réorganisation des sols à proximité d'un talus (Carnet et al, 1979)

Les travaux de Carnet *et al.* (1979) offrent un regard différent de celui de Follain (2005). L'étude qu'ils réalisent sur l'organisation des sols de haies est centrée sur le talus lui-même, et non sur une séquence de sols. Ils traitent plus précisément de l'évolution de la différenciation des horizons de part et d'autre du talus. De ce fait, une grande partie de l'information est manquante, ce qui rend les interprétations difficiles voire impossibles sur la quantification du phénomène érosif, sur l'origine et le devenir des produits de l'érosion.

La figure 2.11 reprend les situations décrites par Carnet *et al.* (1979) sur quatre talus différents. Au-delà des descriptions et interprétations données par les auteurs, il nous faut constater que ces talus procèdent d'une histoire complexe, nécessitant une réinterprétation. Ainsi, sur la figure 2.11 A, un paléosol est partiellement conservé entre les deux fossés observés par les auteurs. Ces fossés sont empierrés. La situation initiale pourrait avoir été celle d'une haie sur pierrier ou d'une haie douve (voir chapitre 1), avant le comblement des deux fossés, peut-être suite à un embroussaillage, puis à la formation du talus. La figure 2.11 B montre la

troncature des horizons sous la partie amont du talus. Cette troncature est sans doute liée au décaissement de la pente pour créer un chemin, observé par les auteurs. Une haie s'est sans doute installée sur le talus du chemin, provoquant son exhaussement pour former le talus actuel, tandis que l'ancien chemin creux, devenu inutilisé à un moment donné, se comblait. La figure 2.11 C montre un amoncellement de pierres sous le talus actuel. Il pourrait s'agir d'un pierrier à l'origine d'une haie spontanée, elle-même responsable de la formation du talus actuel, derrière lequel les colluvions se sont accumulés sur près d'un mètre d'épaisseur. On notera au passage les ressemblances entre cette situation et celle de la séquence W3 de Follain (2005). Pour sa part, la figure 2.11 D est la plus simple. Elle représente sans doute un vrai rideau de culture, surplombant un fossé comblé.

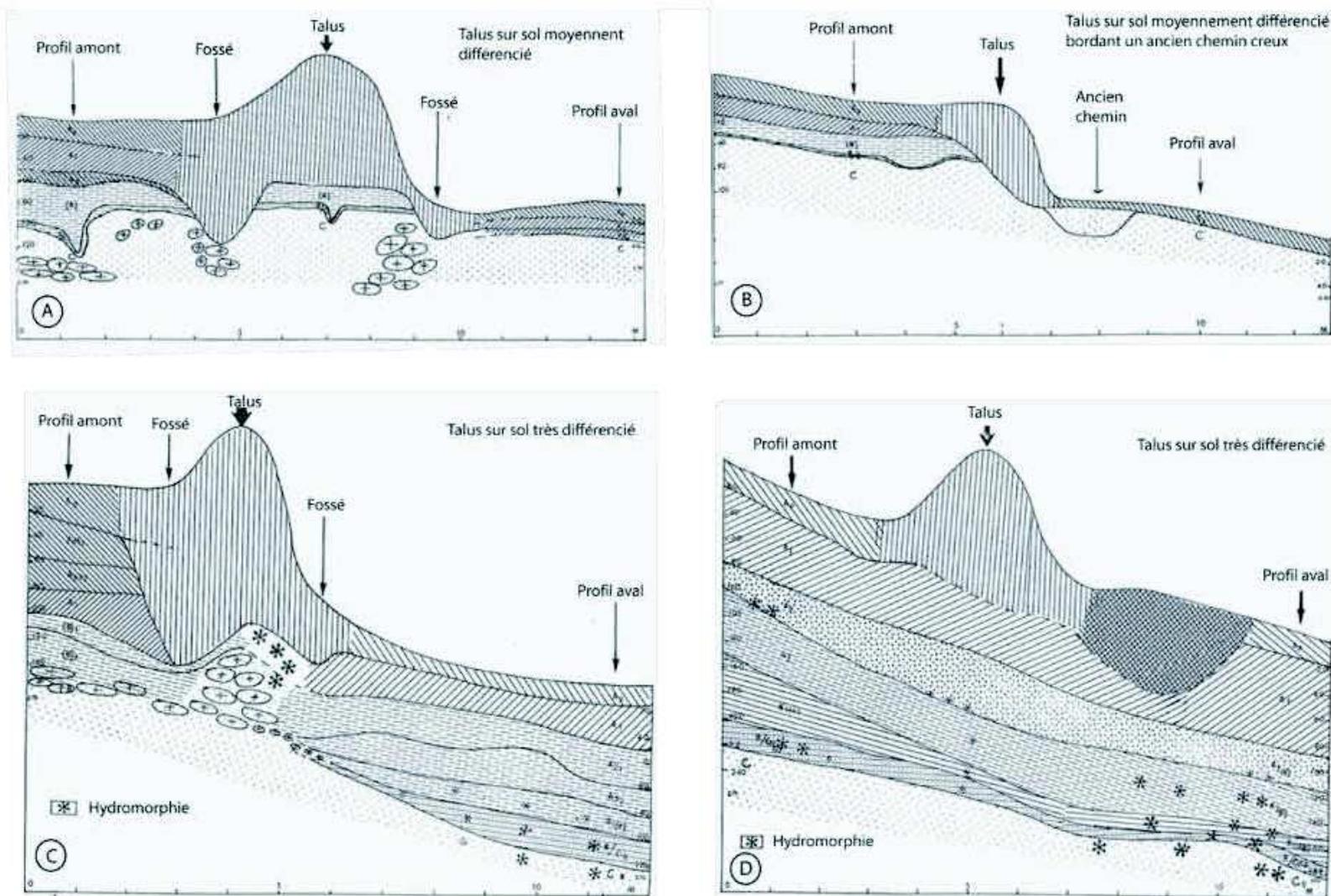


Figure 2.11 : Schéma composite des situations décrites par Carnet et al. (1979). Légende redessinée par Lucie Froehlicher

2.3.2 Bilan de l'organisation des sols de haies

Les études de cas développées ci-dessus sont, à notre connaissance, les seules analyses relativement détaillées sur les sols de haies en France. Il est délicat de généraliser à partir d'un nombre aussi réduit d'études. Toutefois, certains points sont clairement mis en évidence. En premier lieu, la diversité des situations, qui ne permet pas d'établir des généralités. La seule constante est l'épaississement quasi systématique des horizons de surface à l'amont des talus. La pente apparaît donc comme un facteur important dans la différenciation des horizons des sols de haies. Il n'est cependant pas le seul. La réinterprétation des sols décrits par Carnet et al. (1979) montre bien que les talus résultent d'une histoire complexe, faite de modes d'occupation du sol différents et/ou de successions de types d'utilisation du milieu. Ces usages différents entraînent des perturbations du sol initial, des barrières au transfert des colluvions (voir figure 2.12) qui peuvent également exercer une action sur la genèse des talus.

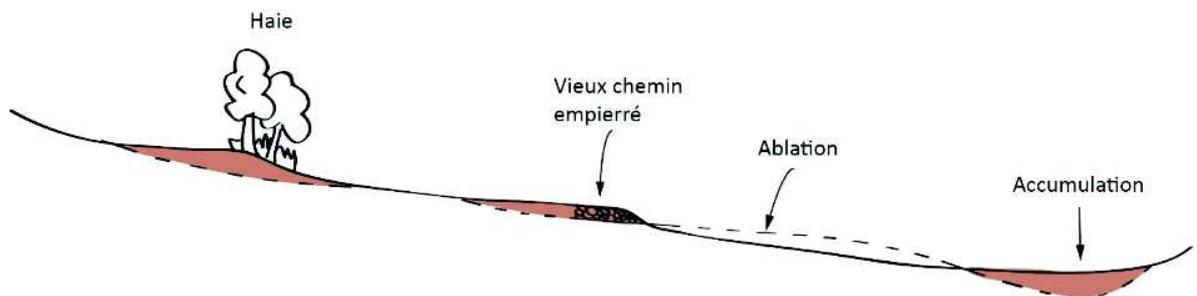


Figure 2.12 : Localisation des zones d'accumulation de la terre par colluvionnement sur un versant d'après Baize et Jabiol (2011) p. 11 ; DAO : Lucie Froehlicher

2.4 Conséquences agronomiques de la présence des rideaux de culture

La formation de rideaux de culture entraîne une modification de la morphologie des paysages et de leur fonctionnement. Ces transformations, rapides ou progressives, ont aussi de nombreuses conséquences sur les pratiques agronomiques :

- Tronçonnage de l'érosion : après le développement d'une haie, les colluvions sont bloquées à l'amont. Le transfert de la terre ne s'effectue plus sur l'ensemble du versant.

- Le transfert de terre entre l'amont d'une parcelle et l'aval marqué par une haie se traduit par un nivellement de cette parcelle sur le long terme, le sol ayant tendance à se surélever à l'aval.
- Ce transfert et le nivellement qui suit se traduisent par des modifications pédologiques : l'épaisseur des sols diminue à l'amont et augmente à l'aval, traduisant une évolution du stock de terre et de carbone organique le long de la pente.
- Modification du cycle hydrologique : le nivellement de la parcelle et le raccourcissement de la longueur de pente induisent un ralentissement du flot, donc moins de ruissellement et plus d'infiltration.
- Les talus constituent une contrainte au travail du sol d'autant plus forte que la dénivelée et la pente du talus sont importantes. Dans ce cas, sauf à faire des travaux de remembrement et de nivellement, les rideaux de culture fixent donc le parcellaire.

2.5 Evolution des structures de type rideaux de culture

Selon Robert (2003), « la transformation des formes ne doit pas être appréhendée comme une transmission linéaire dans le temps et dans l'espace mais comme le résultat de processus mettant en œuvre différentes échelles et différents réseaux ».

En d'autres termes, l'évolution des rideaux dépend de nombreux facteurs. Dans les zones où la culture et le labour sont encore pratiqués, leur évolution est grandement conditionnée à la présence ou non de haies. Lorsque celles-ci sont actives et denses, le talus peut continuer à s'aggraver. En absence de haies, ils vont à l'inverse avoir tendance à s'araser. Ce phénomène est particulièrement accentué lorsque des parcelles sont regroupées. Le labour par-dessus les rideaux vont les faire disparaître en un temps relativement court (quelques dizaines d'années). A l'inverse, sous système pastoral ou après une colonisation forestière, les rideaux seront stabilisés, figés, pendant un laps de temps très long (parfois plusieurs milliers d'années). Ainsi, en fonction des critères de formation et de l'état de conservation des rideaux de culture, on va pouvoir interpréter des paysages agricoles anciens et modernes et leur associer ou non des systèmes de haies disparues, reliques ou toujours présents.

Un schéma général de Defontaine (1998) (figure 2.13), présente un modèle assez simple quant à l'interprétation, la compréhension et la lecture des paysages que l'on peut appliquer au cas particulier des haies et rideaux associés. En fonction des pratiques culturelles et des techniques

utilisées, associées aux caractéristiques du site (sol, climat, pente, etc.), la signature de ces structures agraires dans le paysage ne sera pas la même.

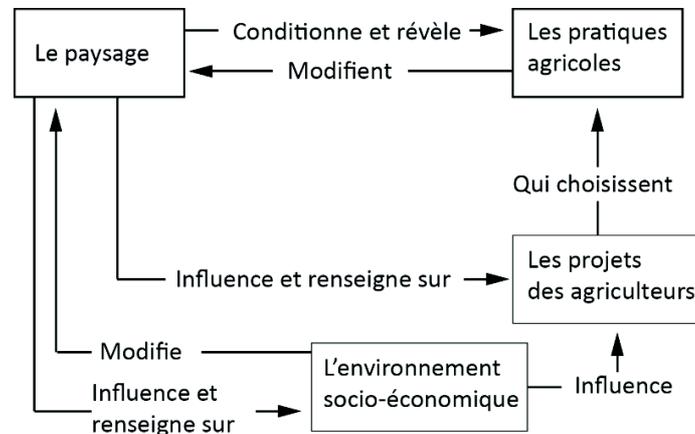


Figure 2.13 : Schéma de l'analyse paysagère (Deffontaines, 1998).

2.5.1 Evolution des pratiques agricoles

Avec les grandes politiques de remembrement des années 1960, la France a vu disparaître très rapidement une grande partie de ses paysages de haies (Giraudel, 2002). Arrachées, nivelées, etc..., les haies et leurs structures associées ont rapidement périclité avec le poids prépondérant des nouvelles politiques économiques où le rendement et la mécanisation ne laissent plus d'avenir aux petites parcelles agricoles délimitées par des haies qui cisailent le paysage. Hormis les documents géohistoriques et autres plans/cartes disponibles, permettant d'établir un historique sur la division des sols (chronologie d'implantation des haies) (Aufrère, 1929) et de les situer dans l'espace, peu de documents permettent de révéler l'ampleur spatiale de ces haies, surtout quand les structures qui leur sont associées (talus/rideaux de culture) sont détruits.

Pour se rendre compte de l'ampleur de l'extension spatiale des haies, les prospections de terrain associées à des images LIDAR (cf. chapitre IV) apparaissent comme la solution idéale (figure 2.14). Une image LIDAR révèle la microtopographie du sol et fait parfaitement ressortir les reliefs des rideaux de cultures bien marqués (souvent anciens) et/ou gommés par le passage des machines agricoles depuis l'arrachage des haies et/ou le remembrement de ces parcelles. Ainsi, des haies même disparues, laissent grâce aux rideaux de culture qui leur sont associés une empreinte plus ou moins pérenne dans le sol, matérialisant les parcellaires anciens.

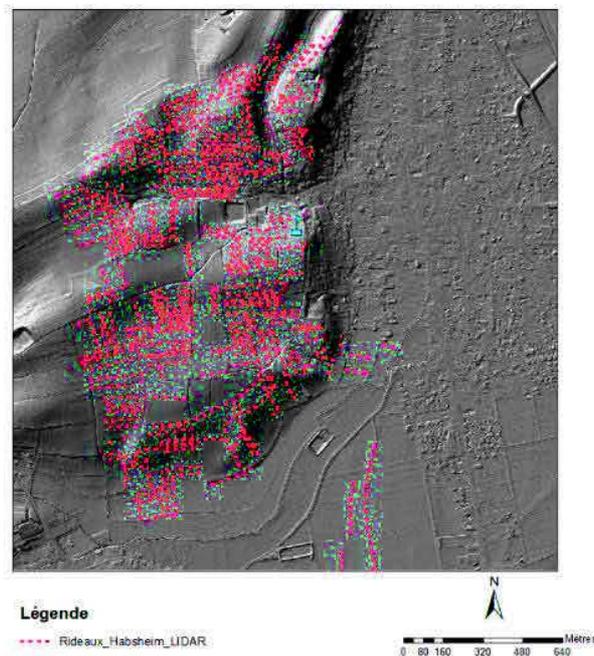


Figure. 2.14 : Digitalisation des rideaux de cultures dans le secteur d'Habsheim (68) ; Source LIDAR : CG68

Pour attester de la présence des talus associés à des haies à ces emplacements, une étude pédologique caractérisant l'organisation des horizons de ces espaces est indispensable, ne serait-ce que pour différencier les talus associés à des terrasses de ceux associés à des rideaux (voir fig. 2.8).

2.5.2 Enregistrement d'anciens rideaux de culture

Le discours sur la disparition des rideaux de culture peut être illustré par l'étude de cas de Follain (2005). La présence d'anciens talus est enregistrée sur 3 toposéquences (N3, W1.2 et W2.2 ; fig. 2.15). Une fois nivelés, ils sont imperceptibles en surface. L'horizon de labour (LA) présent sur les toposéquences W1.1 et W2.2 rend cette détection encore plus difficile puisqu'il recouvre l'ensemble du transect. Quand l'horizon colluvial (A) est encore affleurant bien que nivelé, cette détection est plus aisée. En ce qui concerne les horizons plus profonds du talus, ces derniers semblent bien en place, et leur épaisseur (niveau de conservation) varie en fonction de l'activité érosive post-nivèlement/arasement du talus.

Figure 2.15 : Exemple de toposéquences extraites de la thèse de Follain (2005) page 41 : « Géométrie des horizons pour les toposéquences N3, W1.2 et W2.2 intersectant d'anciens talus » (Follain, 2005).

Comme on peut le voir dans cette étude de cas, l'évolution du rideau de culture après le nivellement de sa partie sommitale est très claire, avec des configurations d'évolution différentes :

- Le talus est arasé, mais l'horizon colluvial est toujours perceptible en surface (Toposéquence W1.2). Cette configuration est possible quand la disparition du talus est récente et que les horizons de labour (LA) n'ont pas eu le temps de venir recouvrir le talus.
- Le talus est arasé et les horizons plus profonds sont recouverts par l'horizon de labour (LA) (W1.2 et W2.2)
- Le talus et tous les horizons d'accumulations sont arasés jusqu'au socle (érosion importante), aucune trace pédologique du talus.

2.6 Conclusion

A l'issue de ce panorama, quelques points forts apparaissent nettement. Tout d'abord, il est difficile de donner des lois générales concernant l'organisation et le type d'horizonation des sols de rideaux de culture, mis à part l'épaississement systématique des horizons A par le colluvionnement. En effet, cette organisation dépend de l'organisation initiale des sols à l'échelle de la toposéquence, mais aussi de l'état d'érosion qu'ils ont atteint au moment de l'installation d'une haie. Il s'en suit qu'il est difficile de prédire l'état des sols des rideaux. A chaque fois, des observations par fosses ou tarières sont nécessaires.

D'autre part, il est fortement souhaitable d'enrichir les méthodes de descriptions classiques des pédologues par les approches géoarchéologiques, à la fois pour tenir compte de la présence d'artefacts archéologiques pouvant enrichir la dimension chronologique, mais aussi pour prendre en compte l'existence éventuelle de structures agraires associées comme les murgers, les crêtes de labour, les terrasses agricoles ou encore les champs bombés.

Chapitre 3 : Lœss, sols de lœss et comportement du carbone stocké dans les sols de haies.

3.1 Le lœss : caractéristiques

D'après Leplat (1968), l'étymologie du mot « lœss » est à attribuer aux habitants de la vallée du Rhin. Après bon nombre de désaccords quant à l'origine de ces dépôts, Von Richthofen (1878) démontre son origine éolienne, aujourd'hui validée par tous (Leplat, 1968).

3.1.1 Définition, mise en place et composition

3.1.1.1 Définition

Le lœss est une « *formation limoneuse d'origine éolienne, qui s'inscrit, en Europe, dans un cycle morphogénétique de climat froid et aride dont les modalités varient en fonction des conditions climatiques régionales... Un qualificatif peut être ajouté pour préciser la province paléoclimatique ou le processus dominant : lœss nivéo-éolien, limons lités, lœss ruisselé et lœss soliflué, lœss flotté. Le lœss est surtout constitué de quartz, de feldspaths, de carbonate de calcium. Ces fractions très fines libèrent par altération des éléments échangeables, ce qui rend ce matériau très fertile pour l'agriculture. Le lœss recouvrant le Nord de la France, la Moyenne Belgique et l'Allemagne date des glaciations de Riss et Würm et constitue donc un dépôt périglaciaire.* » (Lozet et Mathieu, 1990). Notons que les lœss sont en majorité carbonatés. Foucault et Raoult (1984) complètent cette définition en les désignant aussi comme des limons de plateaux, pouvant atteindre plus de 10 m d'épaisseur (Figure 3.1). D'après Lucius (1961), ces dépôts sont propres aux steppes herbeuses composées de graminées. La stratigraphie complète d'Achenheim (Alsace/67) est considérée comme la plus belle stratigraphie de lœss en France (Sommé, 1986 ; Lautridou, 1985 ; Heim *et al.*, 1982 ; Fink, 1969 ; Leplat, 1968 ; Wernert, 1957).

La composition granulométrique de ces dépôts, décrite par Smalley *et al.* (2011), indique un matériel limoneux (2-50 μm) en prédominance avec des pourcentages variant de 40 à 70 %.

La figure 3.1 présente des dépôts de lœss épais de plusieurs mètres, séparés les uns des autres par des paléosols peu développés, sur le site de Reiningue (Alsace/68).



Figure 3.1 : Coupe de lœss ; Fouilles INRAP/PAIR à Reiningue (bordure du Sundgau) ; Photo : D. Schwartz

3.1.1.2 Mise en place des lœss : période et mécanisme

La mise en place de ces placages de lœss couvre une bonne partie de la dernière ère glaciaire (Würm). Ils sont d'après Smalley *et al.* (2011), les formations les plus répandues de cette période. Les périodes interglaciaires présentent des flux éoliens de lœss moins importants (Thompson et Mosley-Thompson, 1981 ; Lambert *et al.*, 2008).

L'origine de cette phase de dépôt éolienne est à mettre en relation avec le contexte environnemental. En contexte périglaciaire, l'augmentation de la fréquence et de l'énergie des vents, la baisse des précipitations et le gel entraînent une raréfaction de la végétation et une absence de protection du sol. Ce phénomène exacerbe l'érosion éolienne, le transport de particules fines qui se déposent dans des pièges à sédiments (Smalley *et al.*, 2011). Le schéma présenté sur la figure 3.2 décrit très bien ce processus. Le dépôt de lœss est toujours d'après les mêmes auteurs, un phénomène mondial avec néanmoins quelques exceptions (notamment les zones équatoriales).

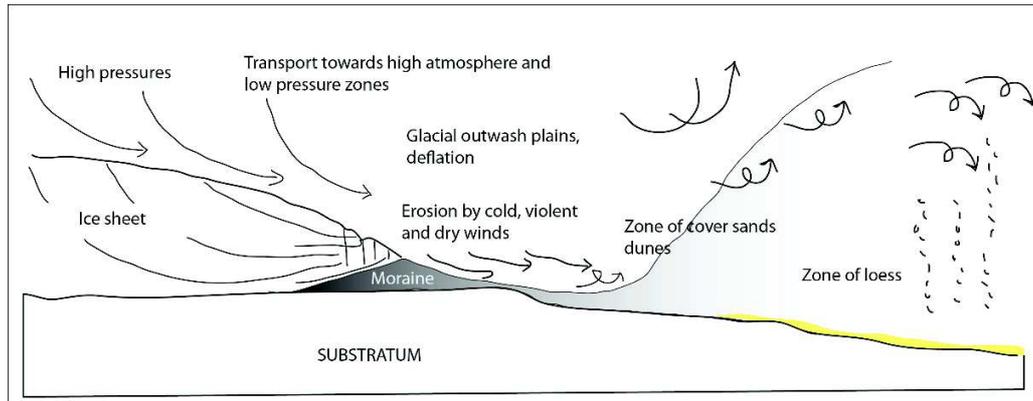


Figure 3.2 : Dépôt des loëss éoliens ; redessiné par L. Froehlicher de Andersen et Borns (1997) cités in Delage et al., 2005

D'après Vogt (1992), les conditions de dépôts du loëss se répartissent en fonction des critères suivants :

- La dissection du relief : Le loëss va se poser là où il peut être piégé. L'existence de reliefs est en ce sens importante, car leur présence ralentit les vents qui perdent une partie de leur énergie. Les limons peuvent alors se poser, le plus souvent sur les versants sous le vent.
- L'existence de zones pouvant fournir des matériaux transportables dans les zones de déflation.

Ainsi, trois types de morphologies de dépôts peuvent être présentées en lien avec l'environnement de dépôt et le type de pièges présents (Rousseau *et al.*, 2013) :

- Les couvertures de loëss (« cover loëss ») sont caractérisées par une épaisseur relativement constante sur la zone de plaquage, un faciès homogène et une période de dépôt continue du Pléniglaciaire Supérieur au Tardiglaciaire (~30-15 ka BP).
- Les dépôts de pente, d'épaisseur variable et d'extension spatiale très localisée, se trouvent dans les vallées en fonction de leur orientation et de la direction des vents.
- Les dunes éoliennes. Connues sous le nom de « loëss Greda », cette morphologie se caractérise par des dunes allongées sur plusieurs kilomètres. Elle est décrite en Europe Centrale et également sur la rive droite du Rhin près de Heidelberg (Rousseau *et al.*, 2013 ; Antoine *et al.*, 2001a ; Léger, 1990).

3.1.1.3 Caractéristiques chimiques et physiques du loess

Les loess sont constitués pour l'essentiel de limons calcaires et sont donc très riches en carbonate de calcium (CaCO_3), qui est l'un de leurs constituants principaux. D'après Leplat (1968), les loess présentent une concentration en silice de l'ordre de 60 % en moyenne, accompagnée d'un fort pourcentage de chaux et d'alumine. Enfin, la présence de fer et autres métaux alcalins apparaissent aussi comme un critère de base de la composition chimique des loess. Toujours d'après l'auteur, en Alsace les loess sont plus riches en Ca et en Mg par rapport aux autres grandes régions loessiques.

Souvent décrit comme un sédiment éolien homogène, le loess possède en réalité des caractéristiques diverses en lien avec son âge, sa provenance et les caractéristiques topographiques et climatiques du site de dépôt (Rousseau *et al.*, 2013 ; Pye, 1995). Selon ces auteurs, les principales caractéristiques du loess sont :

- Sa composition granulométrique, avec des pourcentages de l'ordre de 20 % d'argiles, moins de 15 % de sables et un pourcentage de limons allant de 40 à 70 %.
- La fraction limoneuse (2 à 50 μm) est responsable de la faible stabilité structurale du loess qui explique « une perte de porosité, de perméabilité, une prise en masse, un état de dispersion et par une croûte de battance » (Lozet et Mathieu, 1990).

3.1.1.4 Loess et fertilité dans les sols

La pédogenèse des loess aboutit à la formation de sols considérés comme les plus fertiles du monde (Smalley *et al.*, 2001). Même si des exceptions existent, il est vrai que les sols loessiques ont de tout temps subi des pressions anthropiques assez fortes du fait de leur fertilité. Ainsi, à l'échelle européenne, une relation très nette a été établie entre la répartition des sols sur loess (luvisols et chernozems) et la densité des habitats du Néolithique Rubané (Schwartz *et al.*, à paraître). En Alsace, le Kochersberg est surnommé « le grenier à blé de l'Alsace » (Schwaab, 1984).

3.1.2 Les grandes zones loessiques en Europe

Les travaux de Rousseau *et al.* (2013), Haase *et al.* (2007) et Antoine *et al.* (2001b) offrent une bonne vision de la répartition des loess en Europe à une échelle de 1 : 2 500 000 (figure 3.3). La

concentration la plus importante de placages de loëss est localisée en Europe de l'Est au Nord et Nord-Ouest de la Mer Noire. Plus précisément, une partie de la Russie, de l'Ukraine, de la Moldavie et de la Roumanie apparaissent comme des sites importants en termes de placages de loëss supérieurs à 5 m d'épaisseur. L'Europe centrale présente aussi des zones de placages importantes. Il s'agit de la République Tchèque, de la Hongrie, de l'Autriche et de la Slovaquie où l'on reconnaît plusieurs épaisseurs de placages et de types de loëss. Lorsqu'on se déplace vers l'ouest, de grandes zones de placages sont localisées en Pologne, puis en Allemagne. Enfin, dans le nord de la France et en Belgique, les derniers dépôts sont observés.

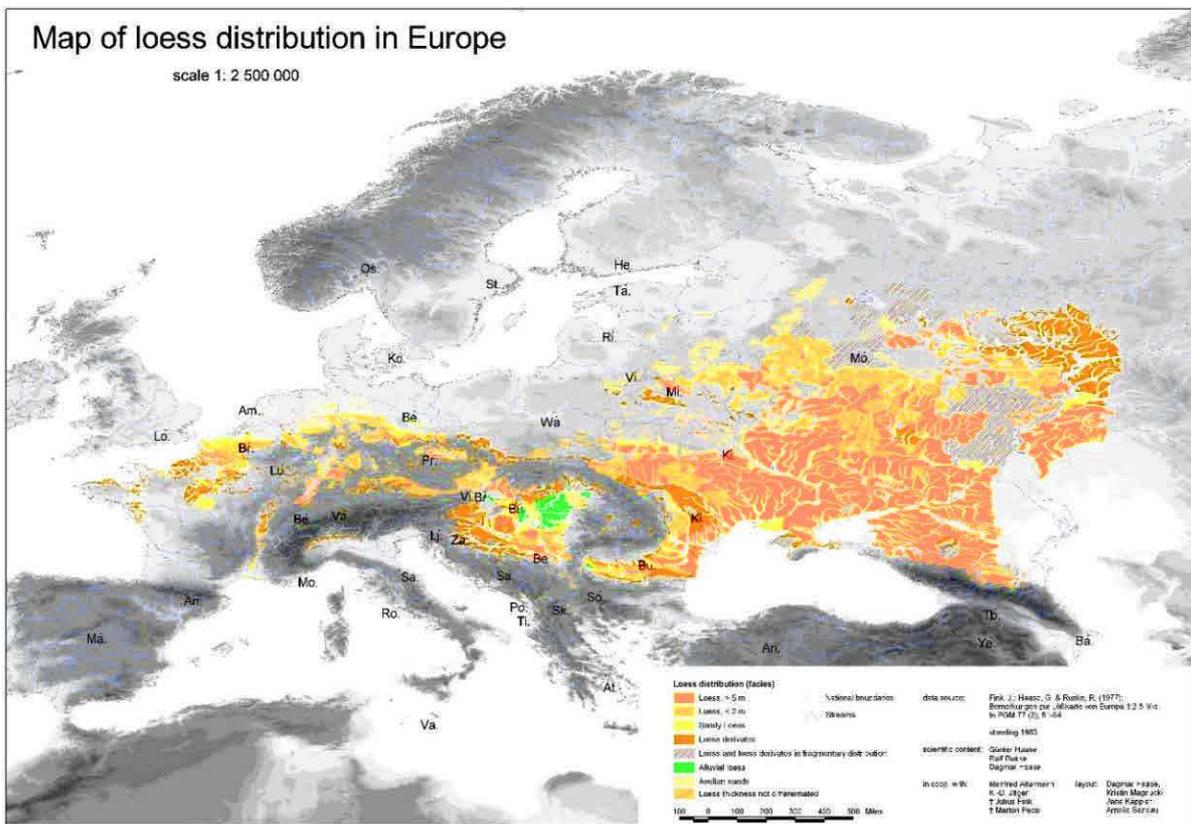


Figure 3.3 : Répartition des placages des loëss en Europe ; Source : Haase et al., 2007

3.1.3 Les grandes zones loëssiques en Alsace

Assez difficile à observer sur la carte de Haase *et al.* (2007), l'espace rhénan présente des zones de placages de loëss assez importantes. Pour avoir une idée précise de la répartition des loëss

3.1.4 Age et datation des lœss

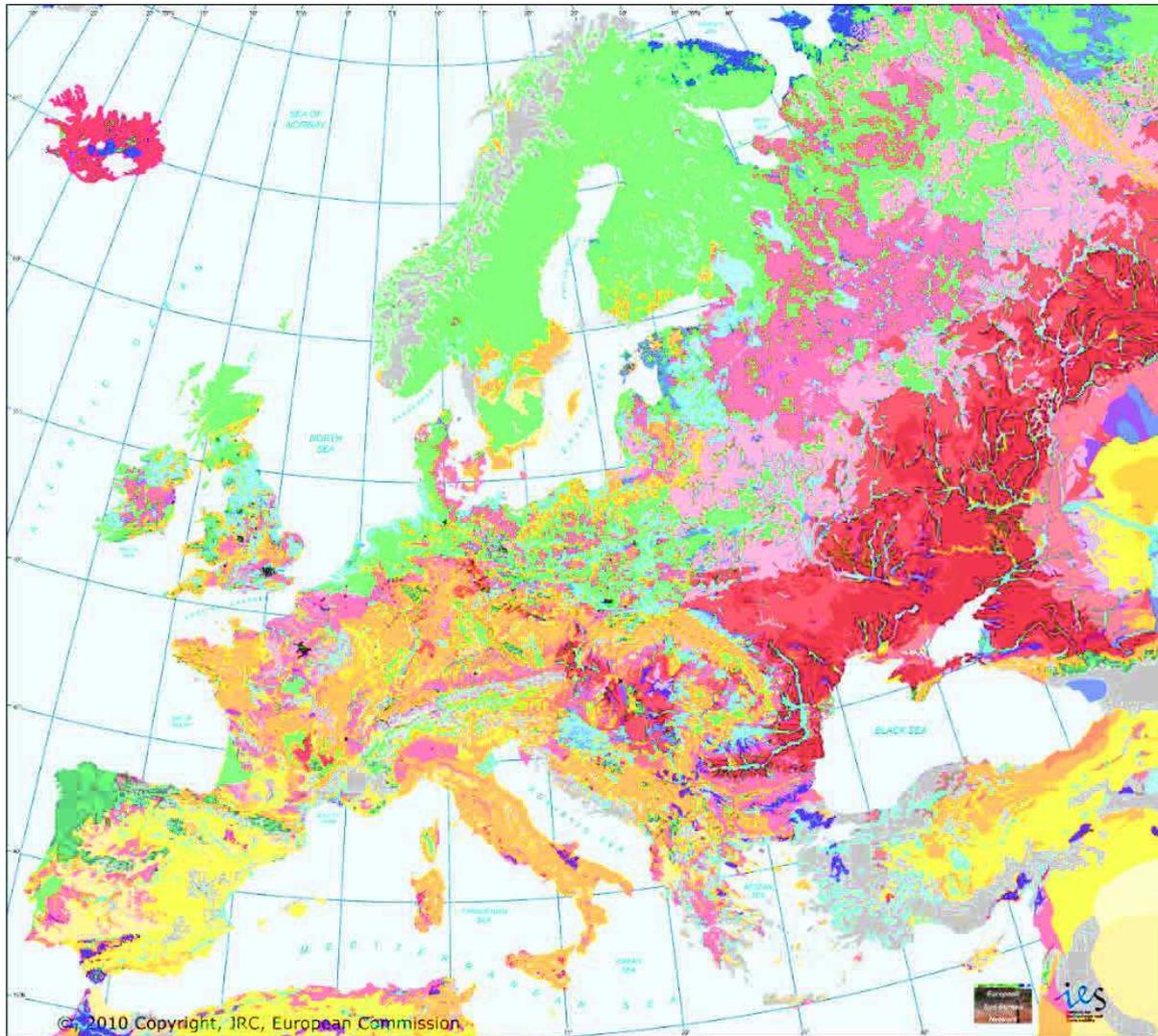
L'avis général sur le calage chronologique des dépôts de lœss a été pendant longtemps assez négatif. Les difficultés à dater ces dépôts ne sont pas liées au mécanisme de dépôt lui-même, mais aux remaniements qui affectent leur conservation post-dépositionnelle : « partant du principe que chaque dépôt de lœss représente une période glaciaire, et que chaque zone lehmiifiée (=sol brun rubéfié) correspond à une période interglaciaire, il devrait être possible de reconstituer à travers les séries lœssiques, toute l'histoire climatique du Quaternaire. Mais ceci suppose l'existence de coupes complètes, donc l'absence de lacunes de sédimentation ou d'érosion » Leplat (1968),

Néanmoins, en France et en Allemagne le sujet est bien renseigné et cela grâce à la présence d'un « complexe lœssique ancien » Leplat (1968), (Rousseau *et al.*, 2013 ; Wernert, 1957 ; Sommé *et al.*, 1986 ; Antoine *et al.*, 2001a et b).

Les méthodes de datation récentes, par la luminescence, sont devenues les plus utilisées pour établir la chronologie entre les placages de lœss et les dater. Ces méthodes incluent à la fois la Thermoluminescence (TL), l'« *Optically Stimulated Luminescence (OSL)* » et l'« *Infrared Stimulated Luminescence (IRSL)* » (Rousseau *et al.*, 2013 ; Fuchs et Lang, 2009 ; Preusser *et al.*, 2008). Ainsi, Buraczynski et Butrym (1984) ont daté les lœss d'Achenheim grâce à la thermoluminescence (TL). Ces auteurs différencient ainsi les lœss anciens (saaliens) et récents (vistuliens).

3.2 Les sols développés sur matériaux lœssiques

D'après Duchaufour (1997), en climat tempéré humide, les principaux sols qui se développent sur les matériaux lœssiques sont les chernozems et les sols bruns lessivés (figure 3.5).



- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> Albeluvisols: Acid soils with bleached topsoil material tonguing into the subsoil Arenosols: Soils developed in quartz-rich, sandy deposits such as coastal dunes or deserts Cambisols: Young soils with moderate horizon development Cryosols: Soil influenced by permafrost or cryogenic processes Gleysols: Soils saturated by groundwater for long periods Histosols: Organic soils with layers of partially decomposed plant residues Andosols: Young soils developed in porous volcanic deposits Calcisols: Soils with significant accumulations of calcium carbonate Chernozems: Dark, fertile soils with organic-rich topsoil Fluvisols: Stratified soils, found mostly in floodplains and tidal marshes Gypsisols: Soils of dry lands with significant accumulations of gypsum Kastanozems: Soils of dry grasslands with topsoil that is rich in organic matter | <ul style="list-style-type: none"> Leptosols: Shallow soils over hard rock or extremely gravelly material Luvisols: Fertile soils with clay accumulation in the subsoil Phaeozems: Dark, moderately-leached soils with organic rich topsoil Vertisols: Heavy clay soils that swell when wet and crack when dry Podzols: Acid soils with subsurface accumulations of iron, aluminium and organic compounds Regosols: Young soils with no significant profile development Solonchaks: Soils with salt enrichment due to the evaporation of saline groundwater Solonetz: Alkaline soils with clayey, prismatic-shaped aggregates and a sodium-rich subsurface horizon Stagnosols: Soils with stagnating surface water due to slowly permeable subsoil Technosols: Soils containing significant amounts of human artefacts or sealed by impermeable material Umbrisols: Young, acid soils with dark topsoil that is rich in organic matter Planosols: Soils with occasional water stagnation due to an abrupt change in texture between the topsoil and the subsoil than impedes drainage |
|---|---|

Figure 3.5 : Répartition des sols en Europe ; Source : European Commission, 2010

Les cycles d'évolution de ces sols sur limons éoliens doivent être mis en parallèle avec les trois grandes phases de dépôts du Riss, du Würm et Post Würm. Ainsi, en fonction de l'âge du dépôt et donc de la durée d'évolution, les profils de sols vont être plus ou moins évolués (figure 3.6).

Période de dépôt	Durée d'évolution	Type de profil	Type d'évolution
1. Würm III-IV	10 000 ans	Sol brun lessivé	Sol récent (cycle court)
2. Würm I	60 à 80 000 ans	Sol lessivé acide (ou glossique)	Sol ancien
3. Riss	150 000 ans	Sol lessivé glossique	Sol polycyclique

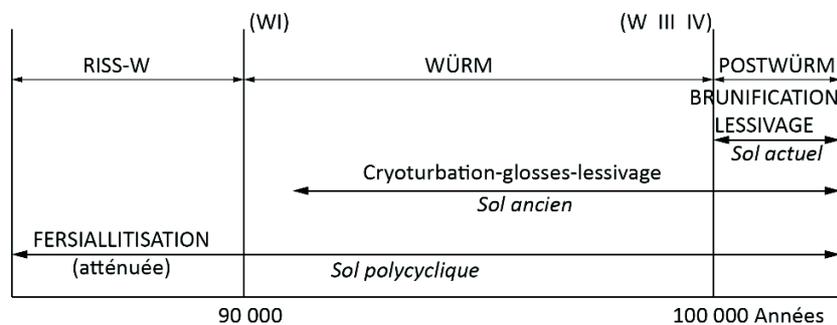


Figure 3.6 : Cycles de pédogénèse sur limon en climat tempéré ; repris de Duchaufour, 1997

3.2.1 Les sols bruns lessivés (luvisols)

Les sols bruns lessivés (CPCS 67) ou luvisols (RP 98) sont des sols que l'on retrouve essentiellement dans les régions tempérées humides (figure 3.6). Leur développement se produit sur des roches sédimentaires meubles du type limons. Trois grands processus successifs définissent la formation des luvisols (Legros, 2007 ; Duchaufour, 1997) :

- **La décarbonatation**, qui se caractérise par la dissolution du carbonate du matériau originel grâce au gaz carbonique dissous dans l'eau du sol. La formule chimique de ce processus est $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{Ca}(\text{CO}_3)$. Une fois solubilisés, les carbonates sont évacués hors du profil de sol par divers processus hydriques ou reprécipitent en profondeur, sous forme de pseudomycelium ou de poupées de loess.

- **La brunification** du sol « correspond à une altération ménagée des minéraux primaires de la roche mère dans un milieu faiblement acide » (Aubert *et al.*, 2016). Plus précisément, le brunissement général provient de l'extraction du fer (Fe^{2+}) et de son oxydation au contact de l'oxygène de l'air (Legros, 2007).
- **Le lessivage** d'argiles est « un processus d'entraînement mécanique, par les eaux de gravité, des argiles fines et des hydroxydes de fer qui leur sont associés, depuis les horizons supérieurs (éluviaux : appauvris et décolorés) vers les horizons profonds » (Aubert *et al.*, 2016). Ainsi, dans les luvisols, ce processus va entraîner des argiles brunes liées au fer d'un horizon E vers les horizons plus profonds, BT, où elles vont se stocker sous forme de revêtements en surface des agrégats ou dans les pores (Legros, 2007). Grâce à l'observation de lames minces il est possible d'identifier précisément l'organisation et de ces argiles dans les horizons BT puisque cette accumulation en couches successives dans les pores a une forme bien particulière (figure 3.7).

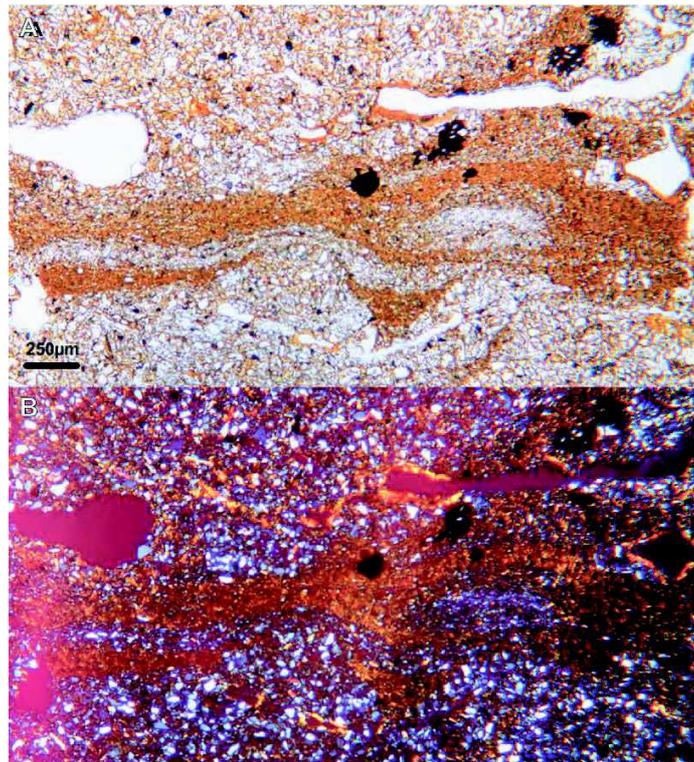
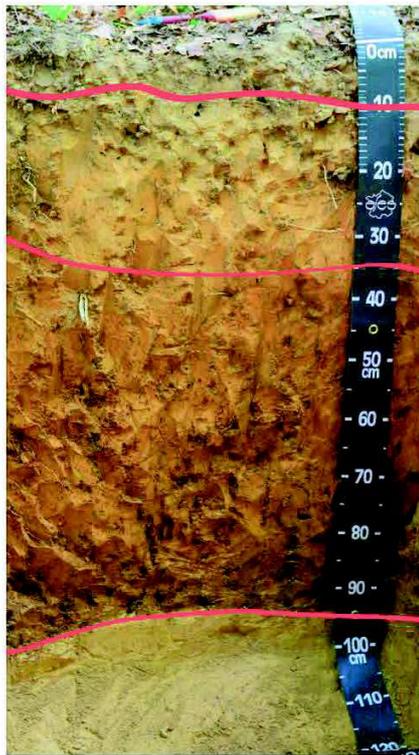


Figure 3.7 : Clichés d'argiles poussiéreuses dans une porosité refermée, sédiment tassé et remanié.
A : Lumière naturelle, B : Lumière polarisée ; Source : Anne Gebhardt

En fonction de la vitesse et de l'intensité de ces processus et des conditions intrinsèques du sol, différents types de sols bruns lessivés peuvent être distingués (Duchaufour, 1997). Le plus commun est caractérisé par la succession d'horizons A/E/BT/C (Legros, 2007 ; Duchaufour, 1997), illustrée par la figure 3.8.



A : Horizon mixte contenant un mélange de MO (moins de 30 %) et de matière minérale, de couleur foncé

E : Horizon appauvrie en MO et en argile (lessivage) ; souvent de couleur claire ; transition avec BT généralement très nette.

BT : Horizon caractérisé par une accumulation en argile, en lien avec le lessivage des argiles de l'horizon E, l'horizon BT se comporte comme le «ventre d'argile» du profil (Legros, 2007)

C : Loess ; matériel originel.

Figure 3.8 : Sol brun lessivé d'Alsace (Mulhouse/68) ; Photo : Dominique Schwartz

Le luvisol représenté sur cette figure est remarquablement pédagogique par le développement de l'ensemble des horizons. Mais dans la réalité, ces sols sont très sensibles à l'érosion s'ils ne sont pas recouverts de végétation (Van Dijk et Kwaad, 1996). Ainsi, en zone agricole sur loess, les luvisols d'origine ont largement été tronqués, parfois jusqu'au loess (profil L/C), ou, plus souvent jusqu'à une partie du BT (profil L/BTtronqué/C) (Schwartz *et al.*, 2009 ; Froehlicher *et al.*, 2016). Pour en revenir au sol de la figure 3.8, son état de conservation exceptionnel est lié à la présence continue depuis plus de 500 ans d'un couvert forestier.

3.2.2 Les chernozems

Développés dans le même matériel carbonaté (lœss) que les luvisols, les chernozems sont des sols noirs très riches en MO. Leur formation est en lien avec des facteurs bioclimatiques précis, à savoir un climat continental, froid et sec l'hiver et une végétation de steppe composée de graminées (Vysloužilová, 2014). La figure 3.5 donne la localisation de ces sols en Europe. Ces derniers sont essentiellement répartis en Russie, en Ukraine et en Moldavie. Par comparaison avec la carte de répartition des lœss (figure 3.3), ces zones correspondent bien à des zones géographiques où les plaquages sont significatifs.

Les chernozems typiques se caractérisent par une succession d'horizons assez simples du type A, A/C, C. La figure 3.9 présente un exemple de chernozem avec un horizon A très développé, divisé en 3 sous-ensembles et un horizon de transition A/C.

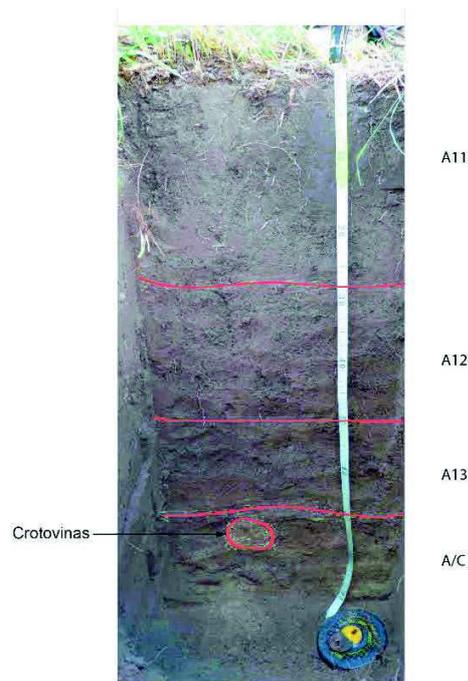


Figure 3.9: Chernozem (République Tchèque) ; Photo : Dominique Schwartz

3.2.3. Un mot sur la fertilité des luvisols et chernozems

D'après Bras *et al.* (2013), la richesse et la fertilité des sols dépendent de nombreux critères : L'origine géologique du matériau (minéraux favorables au développement des plantes), la teneur et la qualité des argiles (meilleures rétentions de l'eau et des minéraux, etc), l'âge du matériau (plus les dépôts sont récents, moins les processus de lixiviation et autres processus de migration appauvrissent le sol), les apports externes en lien avec la couverture végétale (humus) en surface et les apports anthropiques permettant un enrichissement (engrais, amendements.). Or, les sols développés sur loess comme les luvisols et les chernozems, sont des sols dont les caractéristiques répondent à ces critères permettant ainsi de les ranger parmi les sols les plus fertiles du monde (Mathieu, 1999). Cette grande fertilité est liée à la fois à la grande épaisseur de ces sols, à leur très bonne capacité de rétention en eau, à leur richesse minérale, à l'absence de pierrosité et à la facilité de travail.

L'implantation des populations humaines en Europe, et cela dès le Rubané dans ces espaces loessiques témoigne d'ailleurs de cette fertilité (Cupillard et Richard, 2000). En Alsace, différentes études ont largement conforté cette idée (Mathieu, 1983 ; Jeunesse et Schnitzler, 1993 ; Pétrequin et Jeunesse, 1995 ; Lefranc, 2007 ; Lefranc *et al.*, 2010), même si des exceptions existent, par exemple sur alluvions (Lefranc, 2001). Les travaux de Schwartz *et al.*, (à paraître), vont plus loin et montrent qu'à l'échelle de toute l'Europe, la quasi-totalité des 6000 habitats Rubanés pris en compte dans leur étude est sur les sols de loess.

3.3 Le Carbone organique (C_{org})

3.3.1 Composition et évolution du carbone organique des sols

Par définition, le carbone organique est le constituant majoritaire de la matière organique des sols (MOS) à une hauteur d'environ 56 %. Il est en quasi-totalité d'origine végétale ou microbienne. Pour passer du pourcentage de MOS à celui du C_{org} la formule $MO = 1.73 * C$ est souvent appliquée (Vigot, 2012), même si Duchaufour (1977) estime que dans les sols forestiers un coefficient de 2 serait plus approprié.

Afin de bien comprendre l'origine et le fonctionnement du carbone, la figure 3.10, adaptée de Vigot (2012) et de Chenu et Balabane (2001), décrit de façon synthétique les fonctions de ces MOS, au sein desquelles le C_{org} est intégré.

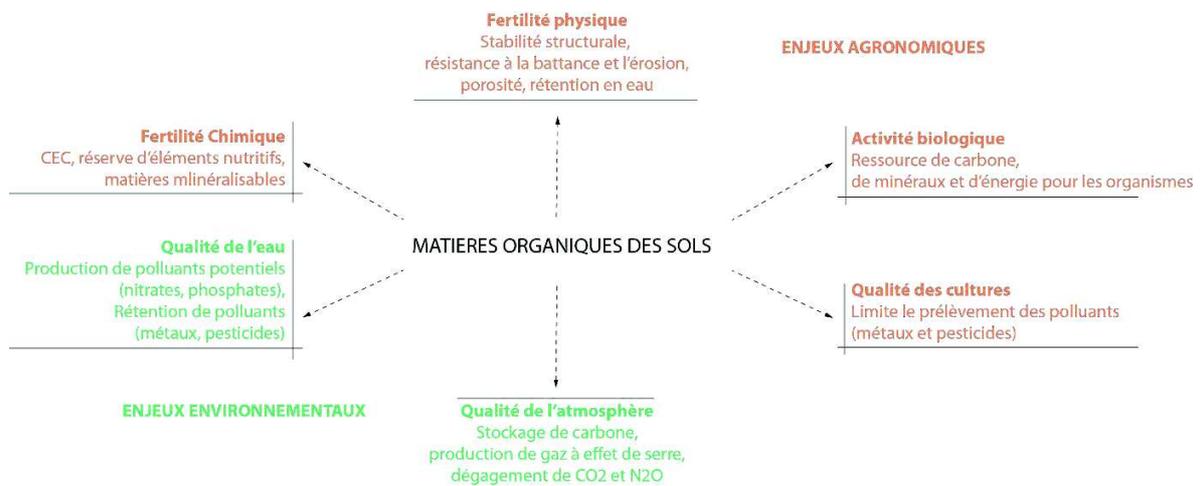


Figure 3.10 : Les rôles de la matière organiques des sols ; Repris et redessiné d'après de Vigot, 2012 et Chenu & Balabane, 2001

Ainsi, on comprend ici que les MOS constituent différents enjeux à la fois environnementaux et agronomiques. Parmi les enjeux agronomiques, on distingue le rôle des MOS dans la fertilité des sols, essentiel pour l'activité agricole ; mais aussi leurs rôles essentiels pour assurer une activité biologique et une qualité des cultures. Au niveau des enjeux environnementaux, les MOS remplissent plusieurs fonctions. Ainsi, elles permettent d'assurer à la fois une certaine qualité de l'eau par la rétention de certains polluants et la qualité de l'air par le stockage du carbone à l'origine de la production des gaz à effet de serre. Les caractéristiques des MOS étant définies, il est possible à présent de s'intéresser au composant majoritaire de la MOS : le carbone organique (C_{org}). Le schéma repris de Bernoux et Chevallier (2013) illustre les dynamiques du carbone organique dans le sol (figure 3.11) :

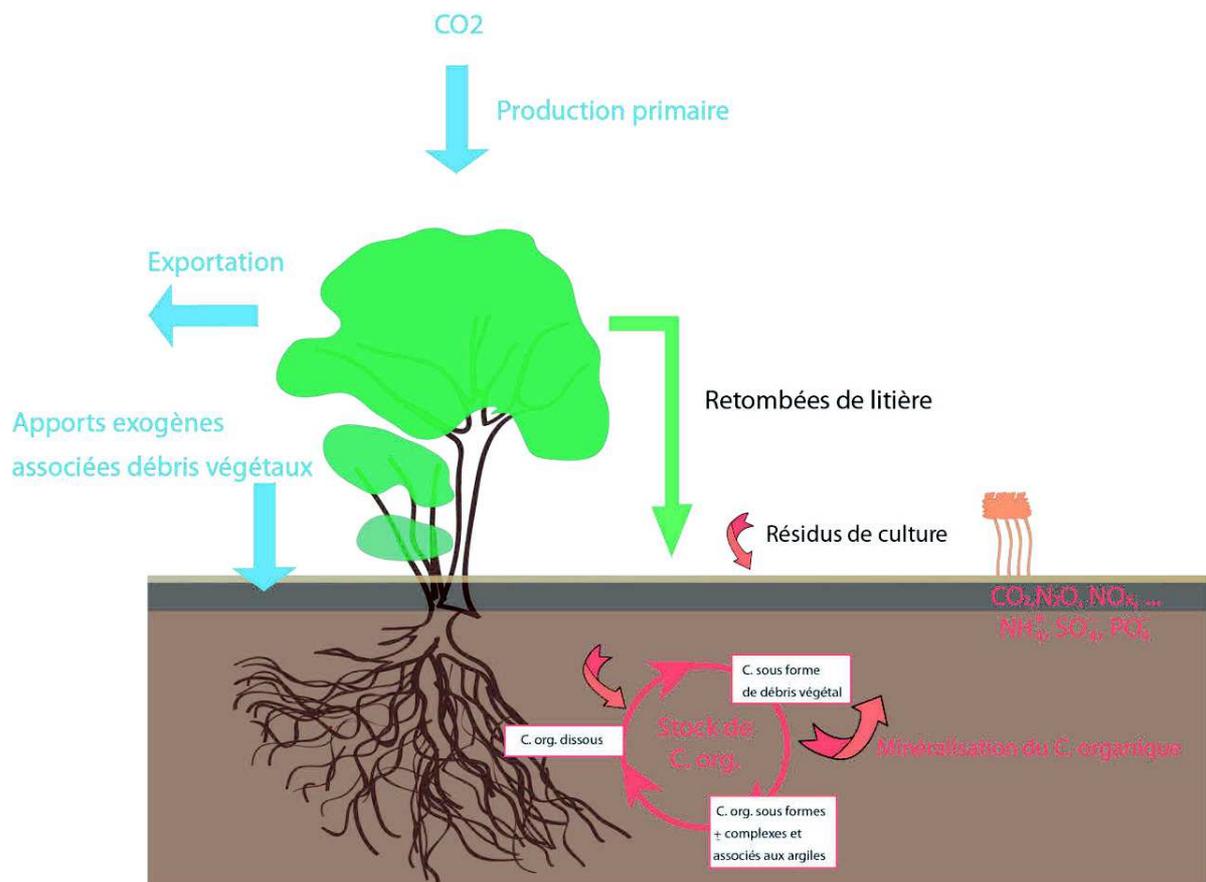


Figure 3.11 : Comportement du carbone organique dans le sol ; A partir de Bernoux et Chevallier , 2013

Selon les caractéristiques des sites (environnementales, climatiques, etc.), et les divers types d'entrée de la MO dans le système-sol, d'origines naturelles ou anthropiques, la MO évolue de différentes façons (ADEME, 2014). Ainsi, après le dépôt au sol des MO, presque exclusivement végétales, le processus de décomposition de ces éléments commence. Une partie de la MO est décomposée et minéralisée puis directement relâchée dans l'atmosphère sous forme de gaz carbonique (CO_2). Une petite partie va être dissoute et transportée plus ou moins loin par l'eau. Dans certains cas, l'érosion éolienne viendra elle aussi piocher dans cette ressource qu'elle transportera ailleurs. Pour la MO qui est intégrée au sol, le C_{org} qu'elle contient continuera à évoluer sous des molécules biochimiques simples ou plus complexes en lien avec les argiles (figure 3.11).

3.3.2 La stabilité/récalcitrance/protection de la MOS dans les sols

Le comportement de la matière organique dans les sols (MOS) se caractérise par un renouvellement constant. La vitesse de ce renouvellement varie en fonction de nombreux critères intrinsèques aux sols et à leur environnement, à savoir l'ensemble des transferts de matière dans les sols (brassage biologique, lessivage, lixiviation, ruissellement, infiltration, restitution de MOS, colluvionnement, acidité, minéralisation, etc.) (Balesdent et Guillet, 1982 ; Schwartz, 1991 ; Gobat *et al.*, 2010 ; Schwartz, 2012), mais aussi les conditions climatiques qui conditionnent elles-même l'activité biologique, ou encore la teneur en argile et en fer, responsables de la stabilité du complexe argilo-humique. En raison de son renouvellement constant, il n'est pas possible d'attribuer un âge absolu à la MOS à une profondeur donnée. Schwartz (2012) exprime très bien cette idée : « Dans les sols, le temps est un temps mélangé, moyenné, dont il est souvent difficile d'établir les règles ».

Plus précisément, ce renouvellement se traduit par le fait que l'âge des matières organiques du sol est une espérance de vie, entre leur entrée dans le sol par décomposition des matières organiques fraîches et leur sortie par minéralisation des matières organiques humifiées. Ce concept se traduit par le terme de temps moyen de résidence (TMR) de la matière organique dans les sols (Guillet, 1979 ; Bonneau et Souchier, 1994, 1979 ; Schwartz, 2004 ; Schwartz, 2012 ; Vigot, 2012).

Ce TMR augmente avec la profondeur (figure 3.12) (Schwartz, 2004). Cela s'explique par la répartition de la matière organique, selon un modèle bi-compartimental (Balesdent et Guillet, 1982 ; Schwartz, 1992). En surface prédominent les MOS labiles, dont le renouvellement est très rapide (TMR de quelques années à quelques dizaines d'années). En raison de leur durée de vie courte, celles-ci ne peuvent migrer en quantité en profondeur, où dominent donc les MOS récalcitrantes à la minéralisation. Le TMR de celles-ci peut atteindre plusieurs milliers d'années. En raison de cette grande durée de vie moyenne, ces matières organiques ont une répartition bien plus homogène dans l'ensemble du profil, car elles sont soumises pendant très longtemps au brassage biologique (en orange sur le graphique de la figure 3.12). La proportion relative entre ces compartiments varie avec la profondeur, expliquant l'augmentation du TMR du haut vers la base du profil. La réalité de ce modèle bi-compartimental a pu être démontrée en utilisant le ^{13}C comme marqueur (Schwartz, 1992).

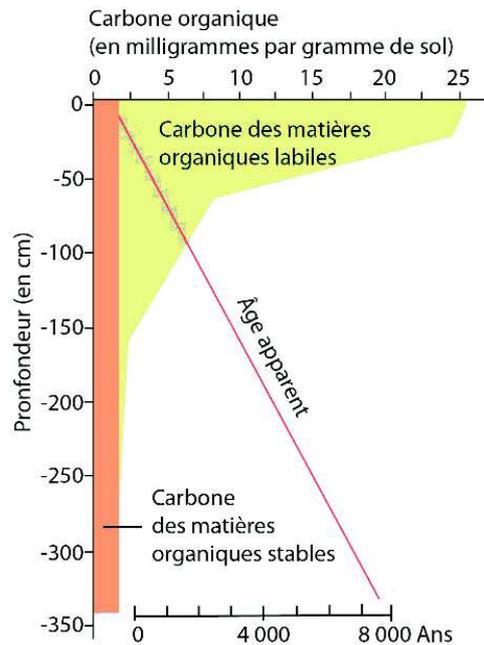


Figure 3.12 : Evolution de l'âge apparent de la MOS avec la profondeur ; repris de Schwartz, 2004

D'après Guillet (1979), le gradient d'augmentation de l'âge avec la profondeur est de l'ordre 150 à 600 ans par tranche de 10 cm, selon le type de sol. Par ailleurs, le terme « d'âge apparent » (Schwartz, 2004) prend tout son sens, car l'âge moyen de la MOS ne va pas augmenter avec le temps (figure 3.13). Il y a là la même différence qu'entre l'espérance de vie d'une population (relativement stable) et l'âge d'un individu de cette population (qui augmente régulièrement). Le TMR des matières organiques, résultant d'un équilibre dans le sol entre les flux d'entrée et les flux de sortie de ces MOS reste constant. Ainsi, un TMR d'une cinquantaine d'années ne suggère en rien la jeunesse d'un sol. Il y a des millénaires, dans le même sol, le TMR des horizons de surface était le même et il le sera dans 10000 ans, à l'inverse de l'âge d'un charbon de bois, qui lui va augmenter régulièrement (figure 3.13).

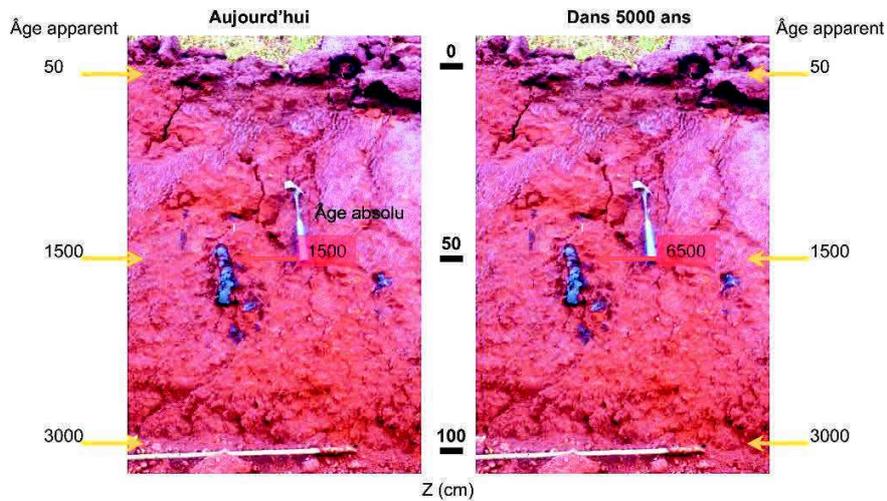


Figure 3.13 : Différence entre le TMR de la MOS et l'âge absolu de charbons de bois : le premier reste stable au cours du temps (TMR) et le second augmente (charbons) ; repris de Schwartz (2012)

Si l'on zoome sur le TMR des sols bruns lessivés et des chernozems, le gradient d'évolution de l'âge avec la profondeur est similaire et les valeurs sont de l'ordre de 6 000 à 7 000 ans après 1 mètre de profondeur (Scharpenseel, 1972 in : Guillet, 1979) (figure 3.14).

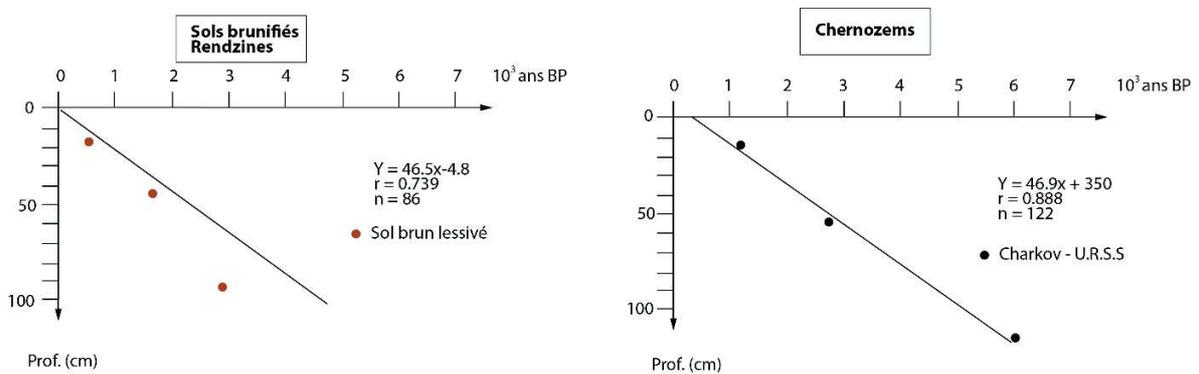


Figure 3.14 : Evolution du TMR dans les sols bruns lessivés et les chernozems ; repris et modifié de Guillet, 1979.

Notons que l'utilisation de la nomenclature « ans B.P. » n'a pas réellement de sens pour les TMR, ceux-ci n'évoluant pas avec le temps (cf. supra). Elle est pourtant communément employée.

Une caractéristique des MO humifiées est leur plus ou moins grande capacité à résister à la biodégradation (Dungait *et al.*, 2012), appelée récalcitrance. Cette récalcitrance est, d'après de nombreux auteurs, influencée par des facteurs environnementaux et biologiques. Plus précisément, trois grands types de facteurs interviennent (Soussana, 2012 ; BRGM, 2014 ; Eldor, 2015) :

- La récalcitrance chimique, en lien avec les molécules qui ne peuvent pas être dégradées par l'action microbienne (minéralisation) ;
- La récalcitrance physique, en lien avec la teneur en argiles des sols qui va influencer les liaisons entre les molécules de carbone et de sols (complexe argilo-humique) ;
- Un facteur mixte, physique et chimique, induisant au sein des argiles une certaine stabilité des composés organiques.

On comprend ici que le niveau de protection des MOS est multifactoriel (Lefèvre, 2015). Ainsi, en fonction de l'origine des MO, de leur nature, de l'activité biologique (décomposeurs-minéraliseurs : abondance/diversité) et l'accessibilité des MO aux décomposeurs, le niveau de récalcitrance et de protection des MOS ne seront pas les mêmes (figure 3.15). En fait, de nombreux débats ont lieu actuellement dans la communauté scientifique, concernant les rôles respectifs de la nature biochimique des constituants organiques et de la protection physique quant à la stabilité des matières organiques (Kleber et Johnson, 2010).

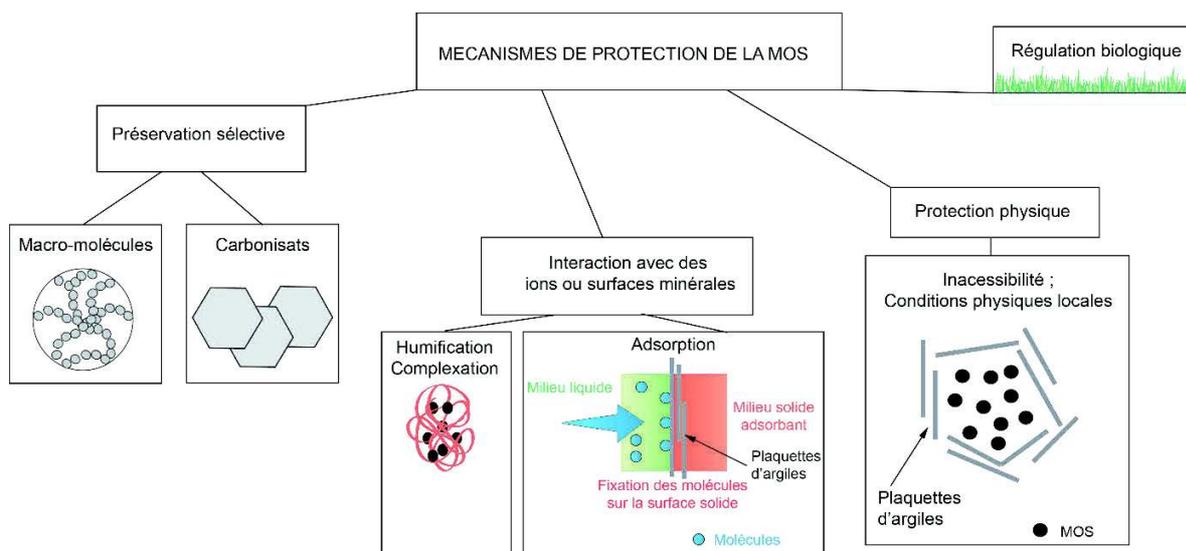


Figure 3.15 : Mécanismes de protection des MOS ; Redessiné et modifié d'après Chenu *et al.*, 2009

3.3.3 Le stockage du carbone organique dans les sols agricoles

Comme énoncé précédemment, la stabilité des MOS dépend de multiples facteurs à la fois physiques, chimiques et mixtes. En association avec les caractéristiques propres de la MO (types, quantité, etc.) et de l'environnement (sol, climat, etc.) la propension de la MOS à la récalcitrance reste très variable, ce qui va par conséquent influencer le stockage du carbone organique dans les sols. En milieu agricole, cela est d'autant plus vrai que les pratiques sont multiples (Labour, Technique Sans Labour = TSL, restitution des résidus de culture ou non, apport d'engrais, amendements, etc...). En raison de cette grande variabilité du comportement des MOS à tendre ou non vers une récalcitrance à la biodégradation, les comportements en terme de stockage de carbone ne sont pas les mêmes (Bernoux *et al.*, 2011). Ainsi, il est indispensable de garder à l'esprit que, lorsqu'on cherche à quantifier des stocks de carbone organique, un bon nombre de données multifactorielles sont à prendre en compte.

3.3.3.1 Le stockage du carbone dans les sols agricoles : une volonté politique

L'agriculture est d'après le GIEC, le troisième plus grand producteur de gaz à effet de serre anthropiques au niveau mondial (Hamon *et al.*, 2009). Réduire les Gaz à effet de serre (GES) d'origine agricole n'est donc pas anecdotique mais d'une nécessité absolue si l'on veut limiter les conséquences du réchauffement climatique dont les effets se font déjà sentir aujourd'hui. D'après le GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat) la préservation du stock de carbone dans les sols constitue la « principale contribution possible de l'agriculture à la lutte contre le réchauffement climatique » (ADEME, 2012). Au cours des derniers *Sommets pour l'environnement* (Johannesburg, Rio +20, COP 21), de nombreuses solutions ont été proposées. Certaines d'entre elles prévoient entre autres de favoriser le stockage du carbone dans les sols, comme le protocole de Kyoto en 1997, la conférence internationale de Copenhague en 2009 (Hamon *et al.*, 2009).

Les raisons de cette volonté de stockage sont liées aux multiples bénéfices qui en découlent (Milne *et al.*, 2015). Ces bénéfices se traduisent à la fois par une meilleure stabilité structurale du sol, une meilleure perméabilité et une meilleure activité microbienne. L'ensemble de ces bénéfices permettront d'avoir un impact positif sur la lutte contre le réchauffement climatique au niveau planétaire en favorisant le piégeage du CO₂ limitant ainsi les gaz à effets de serre.

Aujourd'hui, cet engouement pour la séquestration du carbone dans les sols est devenu un enjeu planétaire dans la lutte contre le réchauffement climatique (Milne *et al.*, 2015 ; Monforti *et al.*, 2015 ; Chenu *et al.*, 2014 ; Meersmans *et al.*, 2013 ; Arrouays et Saby, 2003 ; INRA, 2003, 2002 ; Arrouays *et al.*, 2002 ; ECCP, 2001). La séquestration du carbone en milieu agricole est l'une de ces solutions : « *Restoring, increasing and protecting soil organic carbon (SOC) should therefore be a global priority* » (Milne *et al.*, 2015).

Ce stockage et/ou cette préservation du stock de carbone est rendu possible par diverses adaptations dans le maintien du paysages agricoles en place comme :

- Limiter l'érosion agricole pour assurer un maintien et une séquestration du carbone en profondeur par la modification/évolution des techniques agricoles : passage du labour (L) aux Techniques Sans Labour (TSL).

- Limiter l'érosion agricole par l'implantation de structures barrières comme les fascines, les haies, favorisant le stockage des colluvions pour limiter la perte de CO₂ dans l'eau/atmosphère (Lenka *et al.*, 2012 ; Follain *et al.*, 2007).

Ce dernier point nécessite quelques explications. Les conséquences de l'augmentation du CO₂ dans l'atmosphère sont bien connues et attestées aujourd'hui (augmentation des gaz à effet de serre induisant un réchauffement climatique généralisé), nous nous ne étendrons donc pas sur le sujet. Néanmoins, la séquestration du carbone dans les océans, bien que positive pour l'atmosphère, induit des conséquences catastrophiques pour les océans et leurs écosystèmes (récifs coralliens, etc...). La dissolution du carbone dans les océans se traduisent par une acidification généralisée des océans fatale pour les écosystèmes marins et par une augmentation des températures (Hoegh-Guldberg, 2007 ; Burnell *et al.*, 2013).

Aujourd'hui, ces alternatives ont déjà montré une partie de leur potentiel (Gregorich *et al.*, 1998). La séquestration du carbone dans le sol, vu ici comme « un puits de carbone » (Freibauer *et al.*, 2004 ; Arrouays et Saby, 2003 ; Arrouays *et al.*, 2003 ; Arrouays *et al.*, 2002 ; Balesdent, 1996), est possible et permet ainsi de limiter l'impact d'un excès de CO₂ dans l'atmosphère.

3.3.3.2 Stock et teneur : deux informations différentes

Lors de l'analyse bibliographique sur la thématique du carbone et de sa séquestration, deux notions quantitatives ressortent fréquemment : le stock et la teneur. Une confusion est parfois faite autour de ces deux notions. Ainsi, il est indispensable de bien les définir.

La teneur correspond à la concentration de C_{org} dans le sol, souvent exprimée en g/kg, ou en g/g, ou en ‰. Le stock est, quant à lui, un indicateur de quantité. En science du sol, le stock est généralement exprimé en t/ha ou en kg/m², en fonction de l'échelle d'étude. Ainsi, notre étude, nous privilégierons l'étude de l'évolution des stocks de carbone organique exprimés en kg/m².

La formule utilisée pour calculer les stocks de carbone organique est :

$$Q = \sum_{i=1}^k \rho_i \times P_i \times D_i \times (1 - S_i)$$

avec :

- Q = Quantité totale de carbone (Mg.m⁻²)
- ρ_i = Densité apparente (Mg.m⁻³)
- P_i = Teneur en carbone (g/g)
- D_i = Epaisseur de la tranche i (m)
- S_i = Proportion d'éléments grossiers

Ainsi, on comprend bien ici que le stock et la teneur ne produisent pas les mêmes informations, puisque les données d'entrées ne sont pas les mêmes. D'autre part, comparer ces données entre elles n'a pas non plus de sens. L'exemple de la mesure d'un sol avant et après labour illustre bien cette idée, puisque souvent, les gens déduisent de la diminution de la teneur en carbone que la quantité (stock de carbone) diminue aussi, ce qui n'est pas démontré si la densité apparente (DA) augmente par exemple.

3.3.3.3 Les données disponibles sur le carbone organique.

De nombreuses bases de données sont disponibles sur le stockage du carbone en France (Vigot, 2012 ; Swiderski *et al.*, 2012 ; Lemercier *et al.*, 2006 ; Laroche *et al.*, 2014). Les plus connues sont présentées dans le tableau 3.1.

Tableau 3.1 : Bases de données traitant du stockage du carbone en France ; Source : Lucie Froehlicher d'après Vigot, 2012 ; Swiderski et al., 2012 ; Lemerrier et al., 2006 ; Laroche et al., 2014

Base de données	Nom complet	Organismes qui gèrent les BD	Lien
RRP	Référentiel Régional Pédologique	Programme IGCS / INRA	http://acklins.orleans.inra.fr/programme/igcs/rrp.php
BDAT	Base de Données des Analyses de Terre	GisSol / INRA	https://www.gissol.fr/le-gis/programmes/base-de-donnees-danalyses-des-terres-bdat-62
DoneSol	DoneSol	INRA	https://dw3.gissol.fr/login

Comme base de données régionales propres à l'Alsace, on citera celle de l'ARAA (Association pour la Relance Agronomique en Alsace). De nombreuses critiques peuvent être faites sur ces bases des données car « la matière organique [donc le carbone organique] est l'un des caractères des sols les plus variables au sein de surfaces de l'ordre d'un hectare » (Arrouays et al., 2003), ce qui implique une grande prudence lors de l'utilisation de ces bases (par exemple, une mesure ponctuelle de C_{org} ne doit pas être extrapolée à l'échelle d'une parcelle). De plus, l'absence de données indispensables pour les calculs de teneurs et de stock fragilise la validité des mesures de stock de carbone. Les problèmes les plus fréquents pour les calculs de stocks sont :

- L'absence de mesure des densités apparentes ;
- L'absence de correction de l'humidité à 105°C ;
- La non homogénéité dans les méthodes de prélèvements en lien avec les outils, le type de sol, la méthodologie appliquée, les personnes qui prélèvent... Le point le plus crucial est sans aucun doute, même dans les sols cultivés, l'épaisseur du prélèvement : les valeurs de la teneur en carbone entre 0 et 5 cm, ou entre 0-10 ou 0-20 cm ne sont pas les mêmes, faussant la représentativité d'un prélèvement censé caractériser un horizon ;
- L'absence de renseignement sur les amendements organiques récents et les pratiques culturales en général ;
- La localisation spatiale du prélèvement : représentativité du site ? l'échantillon est-il un échantillon moyen ou non ?

- L'absence de données en profondeur ; trop souvent, les calculs se limitent aux horizons de surface/labour, soit 30 cm maximum.

Ces points rendent délicats toute tentative de comparaison.

Ces restrictions faites, le point sur les connaissances de l'évolution des réserves organiques des sols en France établi par Balesdent (1996) met en avant une baisse générale du taux de matière organique dans les sols agricoles pour les dernières décennies. Cette baisse est mise en relation avec l'intensification des pratiques agricoles et la diminution des zones de pâtures/fourrages/jachères... Dans son étude, Balesdent (1996) fait le constat que « les terres labourables sont celles qui stockent le moins de carbone » en comparaison avec le sol avec une végétation pérenne. Cette baisse serait, toujours d'après l'auteur, à mettre en relation avec la baisse des quantités de matière organique fraîche restituée au sol lorsque le couvert végétal était plus dense. Néanmoins, ce constat est à nuancer car l'étude ne s'appuie que sur des mesures de carbone faites sur les 30 premiers centimètres des sols. Or le stockage du carbone ne se limite pas à cette épaisseur de sol qui ne représente en réalité que l'horizon de labour pour les sols agricoles. Ainsi, le carbone organique a pu migrer en profondeur en lien avec les processus de pédogénèse ou de bioturbation.

En fonction du type de sol, de la topographie, du climat, de l'environnement les conditions de stockage sont bien différentes d'un sol à l'autre. Ainsi, des processus physiques et chimiques divers peuvent intervenir dans la séquestration du carbone dans les sols et ce jusqu'au substrat (Rhizodéposition (Balesdent *et al.*, 2011), complexe argilo-humique, lixiviation et formation de complexes organo-métalliques, lessivage, érosion,...).

En Alsace, l'étude réalisée par Swiderski *et al* (2012) sur l'évolution des teneurs en carbone organique dans les sols cultivés montre « une évolution significative des teneurs en carbone organique pour 28 % des cantons (dont 18.5 % en diminution) » sur une période allant de 1990 à 2009.

Pour cette étude, de nombreux paramètres sont pris en compte : l'indice de sensibilité à l'érosion des sols (ARAA), les teneurs initiales en C_{org} , le taux d'argile, surfaces en prairies/vignes, charge en Unité Gros Bétail par hectare. Néanmoins, les paramètres sources et les métadonnées de la BDAT ne sont pas renseignés par les auteurs. Ainsi, beaucoup de questions restent sans réponse ici :

- Sur quelle profondeur/horizon du sol l'évolution des teneurs en carbone organique est-elle mesurée?
- Quelles sont les méthodes de calcul des teneurs sur les 20 ans de données ? Sont-elles homogènes ?
- Quel est le maillage utilisé pour les prélèvements ?

Là également, il est difficile de passer de l'évolution de la teneur en C_{org} à celle du stock. L'utilisation et l'interprétation de ces résultats sont donc limitées. Ainsi, l'ensemble des données apportées par les bases de données, sont à utiliser avec prudence.

En revanche, les mesures de teneur en C_{org} par la méthode de Walkley et Black ou d'autres protocoles (annexe 7 (S)) disponibles dans les bases de données permettent des comparaisons utiles, dont nous nous servons dans l'exploitation de nos données. La tendance qui se dégage du tableau (annexe 7 (S)), montre que les horizons de surfaces (A, A₁ ou Ah, A_p, L, LA) des sols limoneux présentent des taux de C_{org} variant entre 1 et 7 %. L'horizon E (= A₂ dans les anciennes publications) présente des taux de C_{org} compris entre 0.19 et 1.35 %. Dans l'horizon BT, enrichi en argile, les taux de carbone mesurés sont compris entre 0.16 et 0.7 %. Enfin, les taux de C_{org} dans le matériel parental, varient entre 0.07 et 0.4 %.

3.3.4 Haies et stockage du carbone organique dans les colluvions agricoles

En termes de caractéristiques chimiques et physiques, les colluvions accumulées en bas de pente reflètent la composition des horizons superficiels érodés. Ainsi, les teneurs en carbone organique devraient être constantes sur l'ensemble des horizons colluviaux, si les pratiques agricoles sont restées identiques et en absence de minéralisation. Si l'on suit Revel *et al.* (2002), « dans les zones d'accumulation la matière organique enfouie n'est pas soumise à une minéralisation active » ; les teneurs en C_{org} dans le sol devraient donc rester stables même après enfouissement. Dans la réalité on observe cependant que ce modèle n'est pas forcément respecté. D'ailleurs, Revel *et al.* (2002) note lui-même dans le même texte que la teneur en carbone des colluvions est généralement « plus faible que celle de l'horizon de labour ». Toutefois, en fonction de l'intensité érosive du territoire en question, les teneurs en carbone dans les colluvions sont parfois supérieures aux teneurs des horizons de surfaces normalement les plus riches. Cela s'explique d'après Revel *et al.* (2002) par une activité érosive très intense empêchant un enrichissement des nouveaux horizons de labour contemporain. On peut

envisager aussi que l'érosion est sélective, et entraîne prioritairement la matière organique et les particules fines du sol comme le notent de nombreux auteurs (Roose et Godefroy, 1977 ; Roose, 1980, 1994, 2004 ; Armand *et al.*, 2009 ; Armand, 2009).

3.3.5.1 L'influence des haies dans la séquestration du carbone organique dans les sols agricoles

De par son rôle de barrière antiérosive, la haie entraîne une réorganisation des caractéristiques du sol. La séquestration du C_{org} est l'une de ces conséquences. En fonction du type de sols, de l'activité érosive et des pratiques agricoles, l'évolution des stocks ne suit pas un modèle type mais dépend de nombreux paramètres. En France, l'étude du rôle des haies dans la séquestration du carbone organique dans les sols s'est bien développée ces dernières années. Les résultats révèlent que le potentiel de stockage du C dans les sols agricoles par des changements de pratiques (TSL, agroforesterie, installation de haies, etc.) est réel et très significatif sans remise en cause des productions (Pellerin *et al.*, 2014 ; Chenu *et al.*, 2014) et que les enjeux sont multiples. Ainsi, de nombreux travaux comme ceux de Chenu *et al.* (2014), Pellerin *et al.* (2014) ou encore Follain (2007, 2005) nous permettent de faire un bilan sur le rôle et la valorisation des sols agricoles/haies dans le stockage du carbone. La figure 3.16 présente au niveau national sur un an, le potentiel de stockage en C_{org} des sols agricoles associés à des modifications de pratiques comme l'implantation de haies. Arrouays *et al.* (2002) ont même suggéré des flux annuels nets de l'ordre de $0.1t C_{org}/ha/an$ pour 100 m linéaire de haies par hectare (cité *in* Hamon *et al.*, 2009).

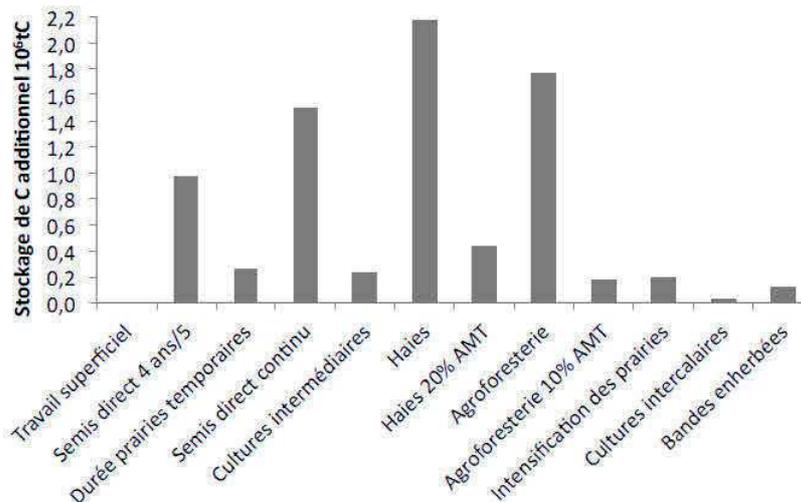


Figure 3.16 : Graphique du potentiel de stockage de C additionnel pour la France métropolitaine/an ; Source : Chenu et al., 2014 (N.B. : AMT = Assiette Maximale Technique, à savoir « la surface sur laquelle l'action pourrait être développée, en tenant compte de critères pédologiques, agronomiques et environnementaux »)

Les travaux de Follain (2005) et Follain *et al.* (2007), réalisés à une échelle plus locale, présentent quant à eux les résultats d'analyse du potentiel de stockage du carbone organique des haies au sein d'un paysage agricole en Normandie. Sur le versant étudié d'une superficie de 8.4 ha à Montours, les auteurs décrivent des teneurs en carbone organique variant de 0.1 à 10.3 % sur un total de 1162 mesures (une partie des résultats provient d'une interpolation réalisée à partir des données mesurées). La distribution spatiale de ces teneurs va changer en fonction de la profondeur à laquelle la mesure est réalisée. Ainsi, sur les 5 premiers centimètres du sol, les teneurs en carbone les plus faibles sont majoritairement situées au sommet de la parcelle. Les teneurs les plus fortes pour ces mêmes profondeurs sont quant à elles localisées sous et le long des haies (jusqu'à une distance de 20 m et même plus loin si le sol est mince). De 10 à 15 cm de profondeur, une baisse générale des teneurs de carbone est observée, mais la distribution spatiale des teneurs faibles/fortes est la même que celle de surface. Les plus grands changements sont enregistrés à partir de 40-55 cm de profondeur.

Cette analyse aura permis de montrer l'importance des structures paysagères de type haie dans la lutte antiérosive et le piégeage du carbone organique dans les sols. Ainsi, les sols sous les haies et ceux situés à proximité présentent bien des stocks de C_{org} plus importants que sur le reste du versant. Mais cette tendance n'est pas homogène et doit être mise en lien avec les

caractéristiques pédologiques du sol, la profondeur, les conditions topographiques, climatologiques et environnementales.

3.3.5.2 L'apport du réseau racinaire dans le stockage du carbone

Chenu *et al.* (2014) ainsi que Balesdent *et al.* (2011) décrivent l'importance du transfert du carbone de la plante au sol via le réseau racinaire, « la rhizodéposition ». Ce processus de dépôt constitue à la fois « une perte de carbone organique pour la plante, [...] un flux d'intrant pour le compartiment de carbone organique du sol et il alimente la microflore du sol » (Balesdent *et al.*, 2011).

Cet apport de carbone et son évolution sont difficilement quantifiables pour le moment et l'on note « de nombreuses incertitudes sur l'ordre de grandeur des flux, la nature du carbone rhizodéposé, son devenir à long terme, la préservation sélective de la dégradation microbienne, par rapport aux matières végétales aériennes, son impact sur le carbone préexistant du sol » (Balesdent *et al.*, 2011).

3.3.5 Le cas particulier du stockage du carbone organique dans les colluvions loessiques

L'étude de Wang *et al.* (2013) montre que l'érosion des sols a une influence directe sur les dynamiques du carbone dans les sols loessiques de Belgique. Ainsi, les auteurs mettent en avant une augmentation des stocks de carbone dans les zones d'accumulation des produits de l'érosion et soutiennent l'idée que le colluvionnement favorise la séquestration du carbone. La figure 3.17, tirée de leur travail, montre l'évolution en parallèle de la teneur en C_{org} du sol d'accumulation et du sol érodé. L'analyse de ces résultats met en avant des teneurs en C_{org} beaucoup plus importantes dans la zone de dépôt en comparaison au sol érodé (ratio de 2 à 3) pour le sol en profondeur. En surface, sur les 30 premiers centimètres, la différence est beaucoup plus faible.

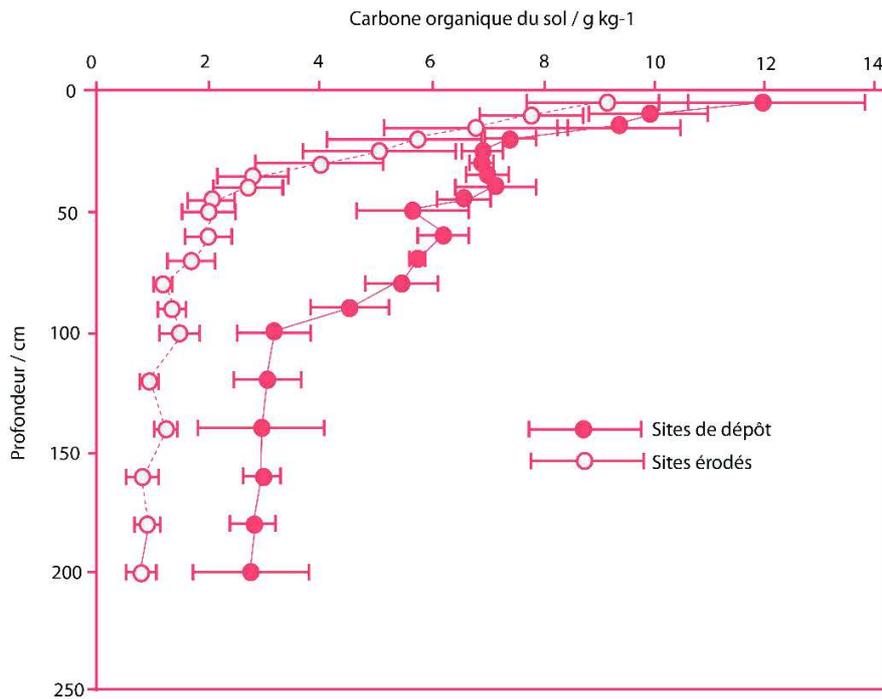


Figure 3.17 : Evolution de la teneur (g kg⁻¹) de carbone organique dans les profils de sol érodé et d'accumulation ; Repris de Wang et al., 2013

Une fois stocké en profondeur dans les colluvions, le devenir de ce carbone reste flou. Ainsi, Wang *et al.* (2013) admettent que la stabilisation du carbone après le dépôt présente de nombreuses inconnues.

3.4 Conclusion

Cette synthèse sur les sols développés dans les loëss clôt l'éventail des pré-requis nécessaires à notre étude. Elle a permis de mettre en avant des caractéristiques dont il faudra tenir compte : mise en place et sensibilité des sols limoneux à l'érosion, ... mais aussi les inconnues qui règnent dans certains domaines, comme la dynamique du carbone dans les horizons profonds et l'évolution des teneurs au cours du temps (récalcitrance/stabilité des MOS).

Deuxième partie
Matériels et méthodes

Chapitre 4 : Matériels et méthodes

Ce chapitre a pour objet de présenter l'ensemble des méthodes et des outils utilisés dans nos travaux. Ces méthodes et ces outils tiennent de plusieurs domaines rattachés soit à la spatialisation (cartographie, SIG,...), à la chronologie (calage via des documents anciens, ...), à la caractérisation commune et poussée des sols (analyses pédologiques), à la datation des systèmes (^{14}C , OSL), ou encore à des calculs de stock et de flux de matières (quantités de terre, de stocks de carbone, ...).

4.1 Les Systèmes d'Information Géographique

Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) permettent de structurer l'information géographique en organisant différents types de données spatialisables au sein d'un système géoréférencé. Ces données, qui renseignent des caractéristiques d'occupation du sol à un instant t , sont de deux types : les données raster (mode matriciel caractérisé par des pixels) et les données vecteurs (mode matriciel caractérisé par des données vectorielles du type ligne, point, surface).

Les données raster comprennent tous les plans, cartes, etc, scannés, les images satellitaires, les photos aériennes, les orthophotos. Elles se caractérisent par un ensemble de pixels décomposables en lignes et en colonnes. A chacun de ces pixels est associée une résolution spatiale et une valeur (intensité du point). Les données vectorielles quant à elles, se caractérisent par l'ensemble des couches ou *shapefiles* (= fichier de formes) traduisant des informations spatiales comme la localisation et la forme de l'entité digitalisée. Ces vecteurs sont de formes ponctuelles (point), linéaires (ligne) ou surfaciques (polygones). A chacune de ces entités vectorielles (traits, points, polygones) est associée une table attributaire, au sein de laquelle sont décrites les caractéristiques (champs) de chaque donnée graphique (exemple : nom de l'entité, superficie, population, ...). Le choix de la forme des vecteurs utilisés dépend de l'information à digitaliser. Pour une information ponctuelle, isolée et de petite taille, il faudra choisir le point. Pour une information linéaire mais non surfacique ou trop petite pour être représentée par un polygone, on opte pour le *shapefile* ligne, comme pour les cours d'eau. Pour les entités de grande taille (parcelles, communes, etc.) ce sont les polygones qui sont le plus adaptés.

Pour cette étude, les SIG nous permettront de représenter l'évolution diachronique des paysages de nos différents sites d'études. Ainsi, à partir de diverses données rasters détaillées *infra* (chapitre 4.2), nous produirons des données vectorielles afin de comparer à la fois l'évolution diachronique surfacique du couvert végétal (labours, vergers, vignes, etc.) et l'évolution diachronique linéaire des réseaux de haies et des rideaux de culture.

Pour mener à bien ces travaux d'étude de l'évolution diachronique du couvert végétal de nos paysages nous avons travaillé avec le logiciel ArcGis® 10.1 et 10.3. Différentes étapes sont nécessaires avant la production de cartes sur le bilan des évolutions diachroniques :

- Le géoréférencement est une méthode de calage/rattachement de données raster du type cartes, plans, photos, ... au sein d'un système géographique de référence associé à un système de projection donné (WGS84). Plus précisément, ce géoréférencement se caractérise par la détermination de points d'ancrages (points facilement reconnaissables sur les données à géoréférencer et sur le support du calage) qui permettront la juxtaposition des données.
- La digitalisation systématique d'une partie des informations en lien avec l'occupation du sol. Dans cette étude nous nous sommes intéressée aux couvertures végétales (*shapefiles* polygones) et aux systèmes de haies et rideaux de culture (*shapefiles* linéaires).
- La production de cartes diachroniques en superposant l'information à partir des différents *shapefiles* produits au sein du SIG.

4.2 Les outils des approches cartographique et diachronique

Pour l'étude de l'évolution diachronique des systèmes de haies, différents types de documents ont été utilisés : données spatiales numériques comme le LIDAR, photos aériennes de 1930 à l'actuel (IGN), orthophotos, plans et cartes anciennes. Les résultats des extractions manuelles ou automatiques des rideaux de cultures et des haies ont été produits à travers un SIG. D'autres données comme les iconographies et les musées ont permis de constituer une base de données non spatialisables mais permettant tout de même de traiter des évolutions diachroniques sur l'évolution des réseaux de haies.

4.2.1 Le LIDAR

L'étude à partir du LIDAR constitue dans notre étude la première étape dans la sélection des sites. Le LIDAR présente un potentiel exceptionnel pour la matérialisation des reliefs et des microtopographies. Ainsi, il a permis une localisation rapide des rideaux de cultures, et cela en faisant abstraction du bâti et des couvertures végétales au sol (champs, arbres, etc.). L'ensemble des données LIDAR utilisées proviennent du Conseil Général du Haut-Rhin.

4.2.1.1 Définition et caractéristiques

Le LIDAR ou Light Detection and Ranging est une méthode de mesure de distance dont le principe est basé sur l'émission d'un faisceau lumineux renvoyé vers un émetteur. Plus précisément, un laser est embarqué à bord d'un avion. En fonction du délai enregistré entre le moment de l'émission du signal et son enregistrement (effet Doppler), il est possible de donner une distance entre les deux objets (émetteur <-> sol) puisqu'on connaît la vitesse de la lumière. Avec le référencement GPS de l'appareil grâce à une station au sol et la centrale inertielle de l'avion qui permet de corriger les défauts liés à la trajectoire irrégulière de l'avion, la précision des points relevés est centimétrique (figure 4.1).

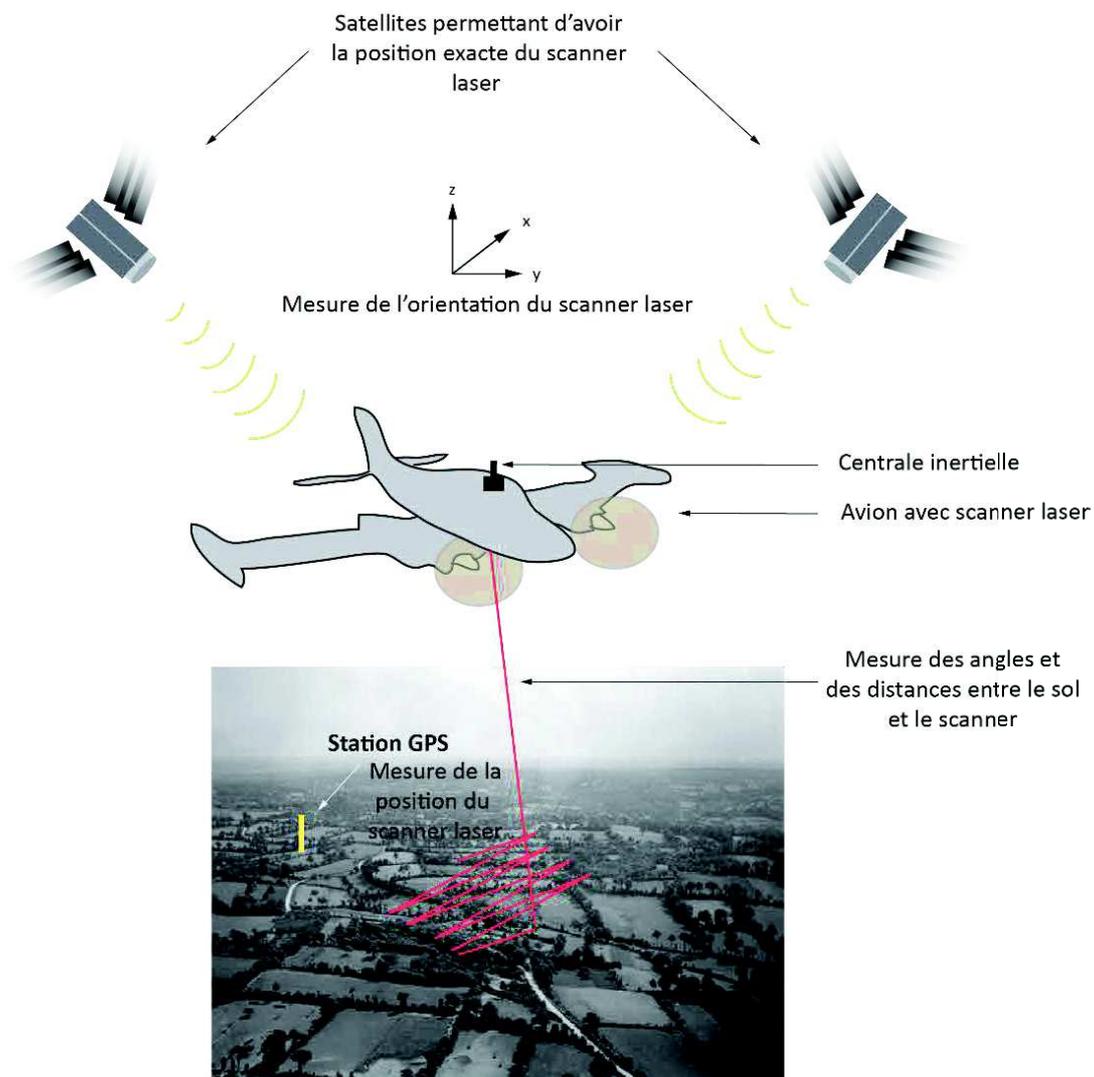


Figure 4.1 : Fonctionnement de l'analyse LIDAR ; Source : Lucie Froehlicher d'après Benoit Sittler (ppt non daté)

Les données produites par l'analyse LIDAR sont de deux types : DSM (Detailed Surface Model = Modèle Numérique de Surface) et DTM (Detailed Terrain Model = Modèle Numérique de Terrain). L'image DSM (figure 4.2) correspond à une donnée raster caractérisant les différences d'élévations des points de la surface du sol par rapport au zéro marin en incluant les objets au sol comme le bâti, les arbres, etc. L'image DTM se caractérise quant à elle par un lissage des objets au sol et va aussi renseigner les différences d'altitude de la surface scannée mais sans inclure aucun objet (figure 4.2).

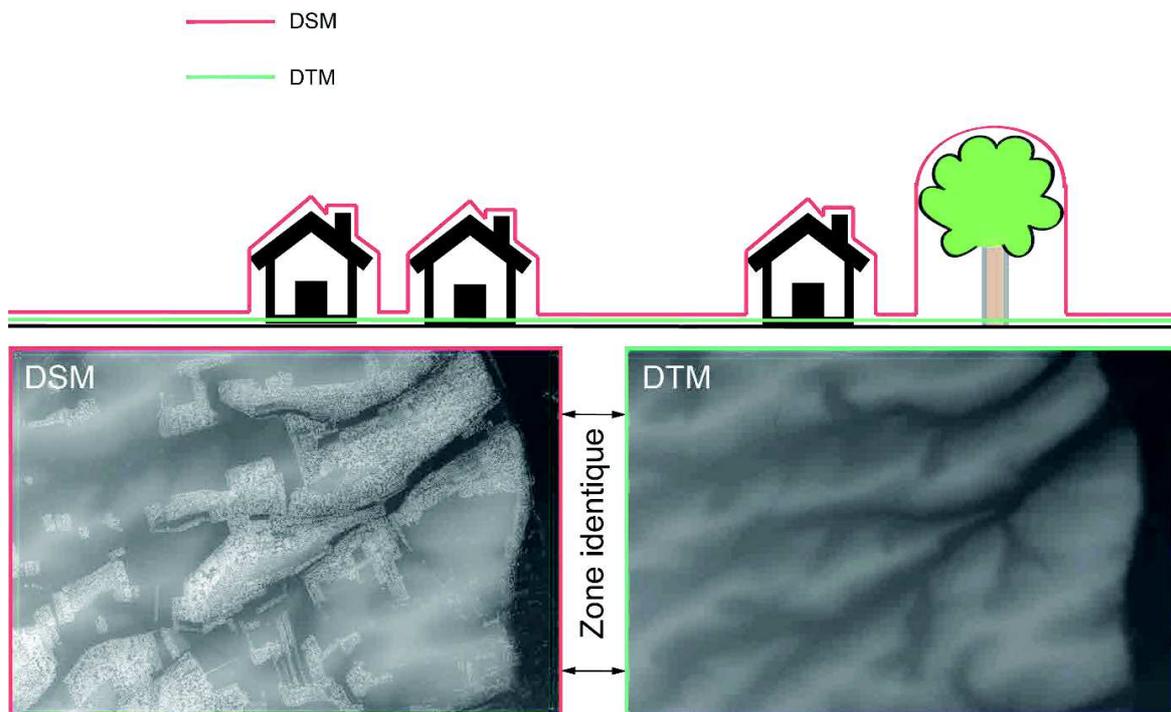


Figure 4.2 : Différence entre DSM et DTM ; Source : Lucie Froehlicher dans ArcGis 10.1 à partir des données brutes du CG68

Pour l'extraction sur le LIDAR, des rideaux de culture, nous travaillerons sur l'image DTM. A partir de la fonction *hillshade* (ombrage) du logiciel ArcGis 10.1, l'image sera exploitée sous différents ombrages pour faire ressortir l'ensemble des sites potentiels. Ainsi, il sera possible de faire varier l'azimut (direction angulaire du soleil allant de 0 à 360°) et l'altitude qui caractérisent la position du soleil par rapport à l'horizon de 0 à 90° (figure 4.3). En fonction de la position des versants, cette variation des ombrages permettra de faire ressortir un maximum de structures de type rideaux de culture.

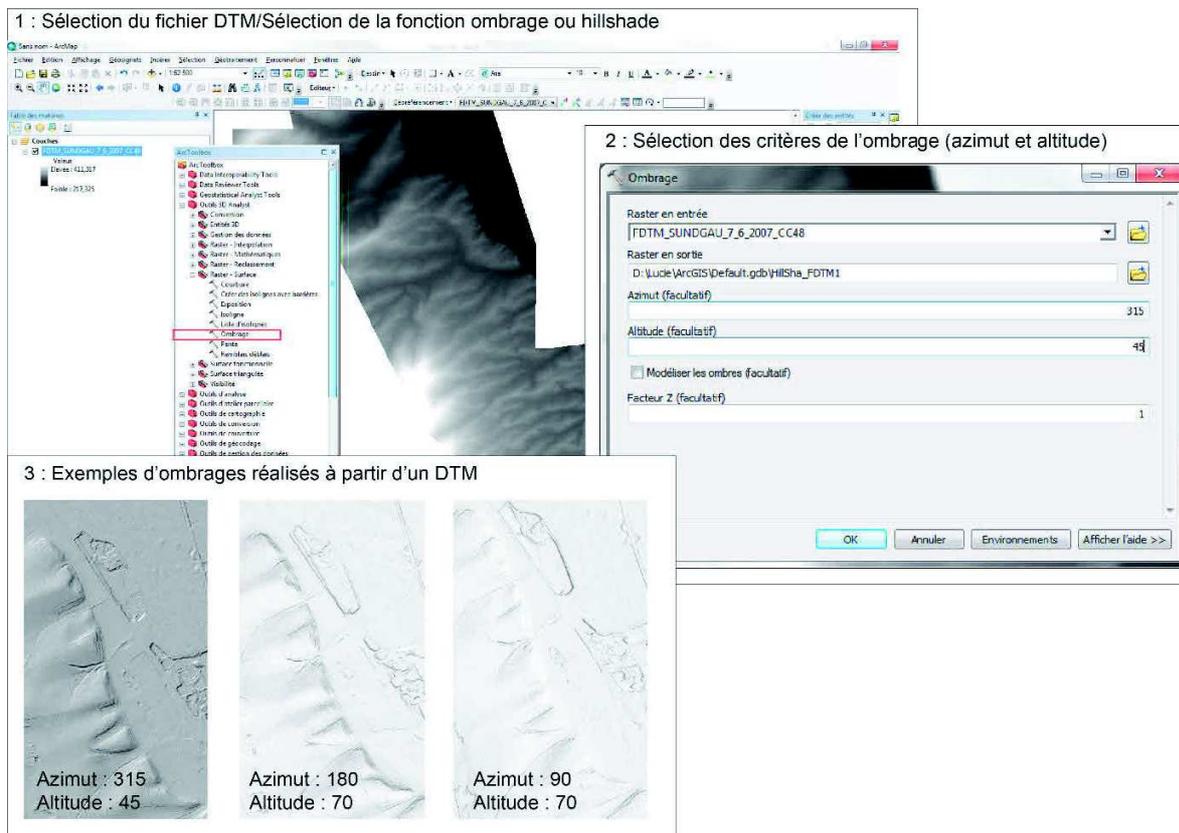


Figure 4.3 : Modification des ombrages sur un fichier DTM ; Source : Lucie Froehlicher dans ArcGIS 10.1 à partir des données brutes du CG68

En ce qui concerne la détection des rideaux de cultures, deux méthodes ont été utilisées, le relevé manuel et le relevé automatique *via* un algorithme adapté à la détection des structures agraires de type rideaux de culture.

4.2.1.2 Le relevé manuel des rideaux de culture

Le relevé manuel consiste à relever toute les structures linéaires correspondant à des talus de plus de 5 m de long et d'environ 50 cm à plusieurs mètres de haut à partir de la couche DTM ombragée (figure 4.4).

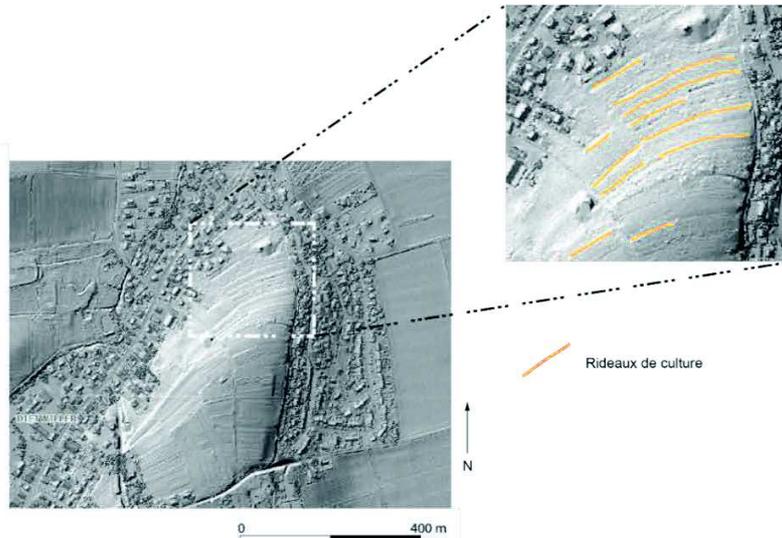


Figure 4.4 : Détection manuelle (non exhaustive) de rideaux de culture sur une image LIDAR de la commune de Dietwiller (Alsace/Haut-Rhin) ; Source : Lucie Froehlicher sur ArcGis 10.1 à partir des données brutes du CG68.

D'autres fonctions apportent une aide à la détection manuelle des rideaux de culture, comme la fonction 3D Analyst qui permet la réalisation de coupes topographiques à partir du fichier brut DTM. La figure 4.5 en donne un exemple. Ainsi, les pentes et les ruptures au sein d'un paysage sont facilement mises en avant, notamment en exagérant le relief (échelle verticale).

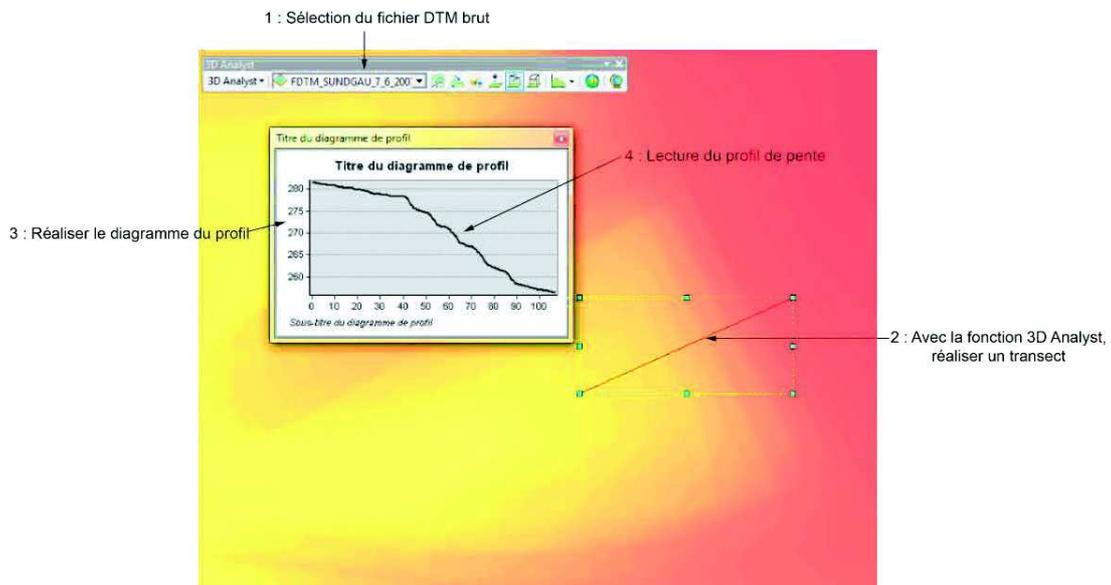


Figure 4.5 : Réalisation de coupe topographique avec la fonction 3D Analyst ; Source : Lucie Froehlicher sur ArcGis 10.1 à partir des données brutes du CG68.

La représentation 3D avec ArcScene TM 10.1 à partir du fichier DTM (figure 4.6), permet de mettre en relief un fichier lisse à la basse. Ainsi, les zones de reliefs sont rapidement identifiables, ce qui est un atout quand on travaille sur les formations de pentes.

Figure 4.6 : Mise en 3D d'un fichier DTM. Ici , dalle DTM du Sundgau (Haut-Rhin/Alsace) représentant une frange des zones collinaires du Sundgau ; Source : Lucie Froehlicher dans ArcScene TM 10.1 à partir des données brutes du CG68.

Ce travail de relevé manuel est effectué dans un premier temps sur une partie du territoire

4.2.2 Les cartes anciennes et archives géohistoriques

En parallèle des études réalisées à partir des images LIDAR, des données géohistoriques permettent de préciser l'évolution des différentes occupations du sol disponibles sur les sites d'études. Ainsi, nous avons croisé les données LIDAR avec des données décrivant les lieux sélectionnés (Habsheim, Uffheim-Sierentz) comme les orthophotos, les cartes topographiques, les photos aériennes et des documents historiques comme les plans et cartes anciennes.

4.2.2.2 Les photos aériennes

Les photos aériennes (IGN) anciennes disponibles dès les années 1930 permettent d'établir une étude sur l'évolution de l'occupation du sol jusqu'à l'époque moderne (figure 4.7). Ainsi, à partir de ce type de document, il nous est possible de réaliser une étude diachronique sur l'évolution des systèmes de haies en Alsace, et plus précisément sur les communes d'étude. L'ensemble des photos disponibles sera intégré dans un projet SIG où les photos seront géoréférencées à partir d'une orthophoto de 2012. Puis, différents *shapefiles* seront réalisés, un par carte correspondant à une année, permettant ainsi de rendre visible l'évolution spatio-temporelle des systèmes de haies. Les métadonnées associées à ces photos et aux *shapefiles* sont présentées en annexe 8 (T).

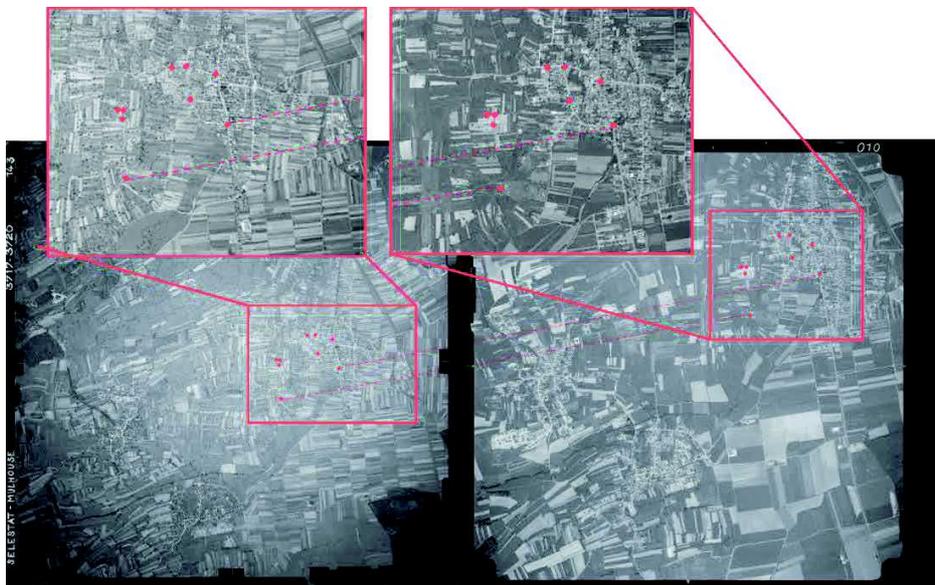


Figure 4.7 : Exemple de photos aériennes de 1951 (à gauche) et 1973 (à droite) du secteur d'Habsheim (68) ; Source : Lucie Froehlicher à partir des photos IGN. Les points rouges sont donnés pour faciliter la comparaison

4.2.2.3 Les plans et cartes anciennes

Les cartes et les plans auxquels nous accordons une attention doivent répondre à un critère important : renseigner l'occupation du sol à l'échelle du parcellaire. Ainsi, l'échelle du document doit être assez grande pour pouvoir caractériser ces espaces. Les documents retenus dans notre étude se composent :

- De plans de finage de 1760-1762 ;
- De cartes allemandes de la fin du XIX^{ème} siècle (entre 1880 et 1886)
- Du plan d'assemblage de Habsheim (1918) ;
- De plans cadastraux.

Les premières archives disponibles pour les sites d'études sont les plans de finage de 1760. Ces plans couvrent une grande partie du territoire alsacien à l'échelle 1/5200. Ils décrivent l'occupation du sol (vergers, prés de fauche, pâturages, forêts, vignes, terres labourables) de manière rigoureuse. Ils sont toujours associés à une légende décrivant pour chaque canton la superficie occupée pour chaque type d'occupation du sol. Parfois, quelques notes comme l'indication d'un mélange entre terres labourables et vignes viennent compléter ces légendes.

Les cartes allemandes, qui couvrent la fin du XIX^{ème} s. et le début du XX^{ème} s. en Alsace, constituent une base de données considérable à l'échelle du 1/50000. Les cartes sélectionnées décrivent de manière détaillée l'occupation du sol (cultures, vignes, prés, pâturages, forêts). Pour certaines de ces cartes, on retrouve même des détails très précis comme la présence de talus ou le type de forêt (feuillus, conifères, forêts mixtes).

Enfin, d'autres documents comme les plans d'assemblages des communes ou encore les cadastres anciens, offrent un niveau de description encore plus précis. Ainsi, à partir de ces documents, il est possible de retrouver les toponymes anciens souvent déformés à l'époque moderne (mauvaises traductions), mais aussi les limites des anciens parcellaires souvent remembrés après 1950.

L'utilisation de ces archives cartographiques est détaillée dans le chapitre 5 dans la description des différents sites d'études. Les métadonnées associées à ces documents sont décrites en annexe 9 (U).

4.2.3 Les bases de données iconographiques en ligne

L'analyse de l'évolution du paysage agricole rhénan depuis le XV^{ème} siècle nécessite de s'appuyer sur les modes de représentation des paysages disponibles aux différentes époques. L'étude des œuvres des peintres rhénans constitue le support principal de la période allant du XV^{ème} au XVI^{ème} siècle. Au XV^{ème} siècle, les peintures représentent principalement des personnages et des scènes bibliques. Dans le cas des œuvres réalisées pour les églises régionales, on part de l'hypothèse que ces peintures sont réalisées principalement par des artistes d'origine rhénane. Ceci n'est toutefois pas une garantie en ce qui concerne la réalité représentée. Ainsi, des scènes bibliques réalisées par des artistes rhénans, présentent des scènes connues comme *La Nativité* ou *La pêche miraculeuse* de Konrad Witz dans un décor alpin. Il est probable que des arrière-plans soient inspirés du cadre régional, alsacien ou schwarzwaldien, mais les sources d'inspiration peuvent aussi provenir de paysages extrarégionaux observés par les artistes lors de leurs nombreux voyages. Si l'on considère le choix des artistes rhénans de représenter des paysages rhénans (au sens large) sur des scènes bibliques comme une convention stylistique de l'époque, il est tout à fait imaginable d'établir une chronologie sur l'évolution des paysages entre le XV^{ème} et le XVI^{ème} siècle. Ainsi, la description précise des paysages agricoles représentés permettra de mettre en avant la présence ou non de haies, de mesurer la densité, l'homogénéité et la forme de ces structures. De plus, cette étude permettra de mettre en avant les phases de ruptures de représentation de ces systèmes en lien avec les autres outils de représentations.

Les gravures sur bois et sur cuivre, qui font leur apparition au XV^{ème} siècle dans notre étude chronologique apparaissent comme le deuxième outil de représentation le plus utilisé. Plus « réalistes », ces gravures représentent principalement des plans à vue de nombreuses villes rhénanes, de monuments (châteaux, églises,...). Le doute sur la validité et l'origine des représentations est quasiment impossible pour la quasi-totalité de gravures présentées ici. Ainsi, les paysages associés semblent correspondre à une réalité passée témoignant de l'évolution du paysage, et plus particulièrement des systèmes de haies.

Les dessins, les lithographies, les cartes postales et autres plans anciens complètent cette base de données. Ainsi l'établissement d'une chronologie plus longue est possible (jusqu'au XX^{ème} siècle) sans faire intervenir les données purement géographiques à savoir les cartes IGN, les photos aériennes, etc.

Les bases de données utilisées pour cette étude sont présentées dans le tableau 4.1.

Tableau 4.1 : Bases de données des cartes, plans, peintures, etc.

Base de données	Porté de la base	Types de données	Lien
Numistral (Bibliothèque Nationale et Universitaire de Strasbourg : BNU)	Nationale	Multiple source de données : cartes, plans, photos, peintures, gravures, dessins, ...	http://www.numistral.fr
Gallica (Bibliothèque Nationale de France : BnF)	Nationale	Multiple source de données : cartes, plans, photos, peintures, gravures, dessins, ...	http://gallica.bnf.fr
Enluminures (CNRS)	Nationale	Catalogue de 120 000 enluminures	http://www.enluminures.culture.fr/documentation/enlumine/fr/
Initiale (CNRS et IRHT)	Nationale	Catalogue de manuscrits enluminés du Moyen Age	http://initiale.irht.cnrs.fr/accueil/index.php
Mandragore (BnF)	Internationale	Enluminures de manuscrits (170 000 notices dont 80 000 accompagnées d'image).	http://mandragore.bnf.fr/
Videomuseum	Nationale	Toutes les œuvres numérisés de nombreux musées français.	http://www.videomuseum.fr/index.php#
Galerie Kiwior	Régionale (Alsace).	Peintures alsaciennes par des artistes du début du XIXème siècle à l'actuel.	http://www.galeriekiwior.com/fr/nouvelles-oeuvres-d-art

4.2.4 Les musées rhénans : des données plus locales

L'ensemble des bases de données iconographiques présentées précédemment sont très solides tant au niveau de la qualité que de la quantité des œuvres sélectionnées. Néanmoins, ces bases sont étendues au niveau national. Or, pour notre étude dont l'application ce fait à l'échelle du Rhin supérieur, il est important de centrer notre information à cette échelle plus restreinte. La prospection au sein des musées rhénans a été une alternative pour enrichir nos bases de données « locales », notamment pour les œuvres non numérisées et les collections privées indisponibles en ligne. Les musées prospectés en France, en Allemagne et en Suisse ont permis de compléter considérablement notre base de données (Tableau 4.2).

Tableau 4.2 : Musées prospectés en France, Allemagne et Suisse pour l'enrichissement des bases de données locales ; Source : Lucie Froehlicher

Musée	Ville/Pays	Artistes rhénans majeurs
Musée Unterlinden	Colmar/France	Hans HOLBEIN L'ANCIEN ; Matthias GRÜNEWALD Martin SCHONGAUER
Musée de l'Œuvre Notre Dame	Strasbourg/France	Conrad WITZ
Palais des Rohan	Strasbourg/France	Hans BALDUNG
Staatliche Kunsthalle Karlsruhe	Karlsruhe/Allemagne	
Augustinermuseum	Freiburg/Allemagne	
Kunstmuseum Basel	Basel/Suisse	Conrad WITZ ; Hans HOLBEIN LE JEUNE ; Meister Von Sierentz

Au fil de ces visites, des grands noms de peintres/graveurs rhénans ressortent au fur et à mesure. Il s'agit essentiellement de Conrad WITZ (Actif à Bâle entre 1430 et 1446†), Hans HIRTZ (Actif à Strasbourg entre 1421 et 1463), Jost HALLER (Actif à Strasbourg jusqu'en 1485), Martin SCHÖNGAUER (Actif à Colmar entre 1470 et 1491†), Hans HOLBEIN L'ANCIEN (Actif à

Augsbourg entre 1493 et 1524†), Hans LEU DER ALTERE (Actif à Zurich entre 1488 et 1507†) ou encore Der MEISTER VON SIERENTZ (Bâle), Der SCHWÄBISCHER MEISTER, ... pour la période du XV^{ème} s.

D'autres auteurs comme Albrecht DÜRER LE JEUNE (Actif à Bâle et Strasbourg entre 1492 et 1494), Hans HOLBEIN LE JEUNE (Actif à Bâle entre 1516 et 1526), Matthias GRÜNEWALD (Actif à Colmar dans les années 1500), Hans BALDUNG dit GRIEN (Actif à Strasbourg entre 1500 et 1545†) prennent la relève pour le XVI^{ème}. Surnommés les « Primitifs Rhénans », ces peintres rhénans des XV^{ème} et XVI^{ème}. travaillent essentiellement dans des villes telles que Strasbourg, Colmar, Freiburg, Bâle ou encore Karlsruhe mais n'hésitent pas à se déplacer pour des commandes (cf : *La pêche miraculeuse*, Conrad Witz, 1444. Cette œuvre, exécutée pour la cathédrale St-Pierre de Genève et censée représenter le Lac de Tibériade, reprend le paysage du lac Léman...). D'autres modes de représentation, comme les gravures sur bois qui illustrent la Cosmographie de Sébastien MÜNSTER (actif à Bâle entre 1505 et 1552†) nous donnent aussi des représentations de paysages périurbains locaux (par exemple Wissembourg, Colmar ou Rouffach).

Pour le XVII^{ème}, avec le changement de mode, seules les gravures nous permettent de renseigner l'évolution des paysages rhénans. Ainsi, des graveurs sur cuivre comme Matthäus MERIAN L'Ancien (actif à Strasbourg entre 1610 et 1615, puis à Bâle et dans tout l'espace rhénan proche jusqu'à sa mort en 1650) et son fils Caspar (actif à Francfort vers 1650) produisent de nombreuses œuvres paysagères.

Pour les lithographies, qui constituent la principale source de données régionales pour la période du XIX^{ème} siècle avec les gravures sur acier, on retiendra principalement Godefroy ENGELMANN (actif à Mulhouse de 1814 jusqu'en 1839†) et Jacques ROTHMULLER (actif à Colmar de 1820 à 1862†).

4.2.5 Conclusion sur l'approche diachronique

Avec une telle diversité d'outils disponibles pour l'étude de l'évolution spatio-temporelle des paysages du Rhin-supérieur, on comprend que ce travail sur l'approche historique n'est pas anecdotique. Avec des centaines de milliers d'enluminures, gravures et autres documents géohistoriques (cartes, plans, photos,...) dépouillés, cette étude permet de caler les différentes

phases clefs dans la représentation des systèmes de haies, tant à l'échelle de la parcelle, que du paysage rhénan, lui plus globale.

D'autre part, en fonction de l'échelle des documents, des juxtapositions d'informations sont possibles afin de conforter ou confronter des données d'un même site (figure 4.8). On notera aussi qu'il est parfois nécessaire de sortir de nos zones d'études pour avoir des outils de comparaisons intéressants. Ainsi, pour cette étude nous sommes allés jusqu'en République Tchèque pour chercher des comparatifs.

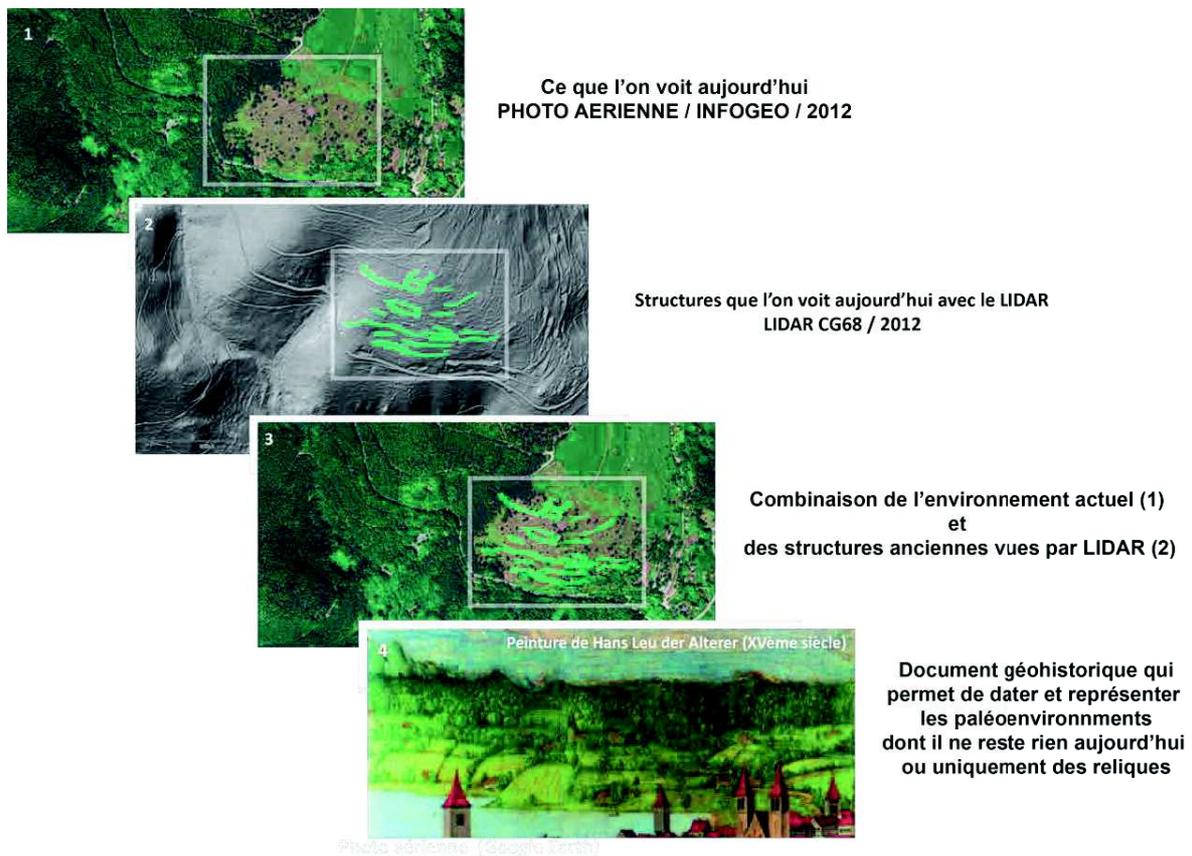


Figure 4.8 : Combinaison de différentes données spatio-temporelles ; Source : Lucie Froehlicher à partir des données : Infogéo68 ; CG68.

4.3 Les méthodes de datations : principes et protocoles

Dans cette étude, il nous a fallu déterminer les phases de la mise en place des paysages (grandes phases de colluvionnements,...). Ces dates permettront d'une part de caler la mise en place des systèmes de haies mais aussi de quantifier les flux de matières (tonnes/ha/an). A cet effet, nous

avons essentiellement utilisé les méthodes OSL et ^{14}C et plus ponctuellement la typochronologie archéologique, toutes méthodes appropriées à la datation de la mise en place de colluvions.

4.3.1 La datation O.S.L (Optically Stimulated Luminescence)

La méthode de l'OSL (Preusser *et al.* 2008), permet de déterminer « la dernière exposition des grains de feldspath et de quartz à la lumière et donc le temps depuis lequel les sédiments ont été déposés » (Fuchs et Lang, 2009). Plus précisément, lorsque des grains sont exposés à la lumière, cela apporte une énergie qui permet à des électrons de regagner leur position d'origine. Une fois ces grains enfouis, des désintégrations atomiques les déplacent de nouveau. Or, le nombre d'électrons déplacés et l'énergie qu'ils emmagasinent est proportionnel au temps. Ainsi, il est possible de mesurer le temps depuis la dernière exposition à la lumière. En laboratoire, on mesure cette énergie dans des conditions contrôlées. Ces conditions d'analyses impliquent d'une part la sélection seulement d'un échantillon prélevé et conservé à l'abri de la lumière. L'analyse elle-même se fait sous des lampes au sodium limitant ainsi la densité lumineuse (Mercier, 2008 , Preusser *et al.*, 2008).

Cette méthode est généralement utilisée pour dater les phases de dépôts sédimentaires d'origine éolienne comme le lœss, ou de dépôts alluviaux. Les analyses OSL peuvent-être du type monograin (âge déterminé grain par grain) ou multigrains (âges mesurés et moyennés sur plusieurs grains).

Les prélèvements ont été faits systématiquement à l'aide de tubes en PVC opaque à la base de chaque horizon colluvial (Figure 4.9). Lorsque les colluvions étaient épais, ces prélèvements ont été complétés par des prélèvements au sein de ces derniers. Les tubes, d'une longueur de 30 cm environ, ont été enfoncés horizontalement jusqu'à remplissage complet. Après extraction, les extrémités ont été sciées, puis scellées de façon à ce que le matériel ne puisse être perturbé lors du transport.

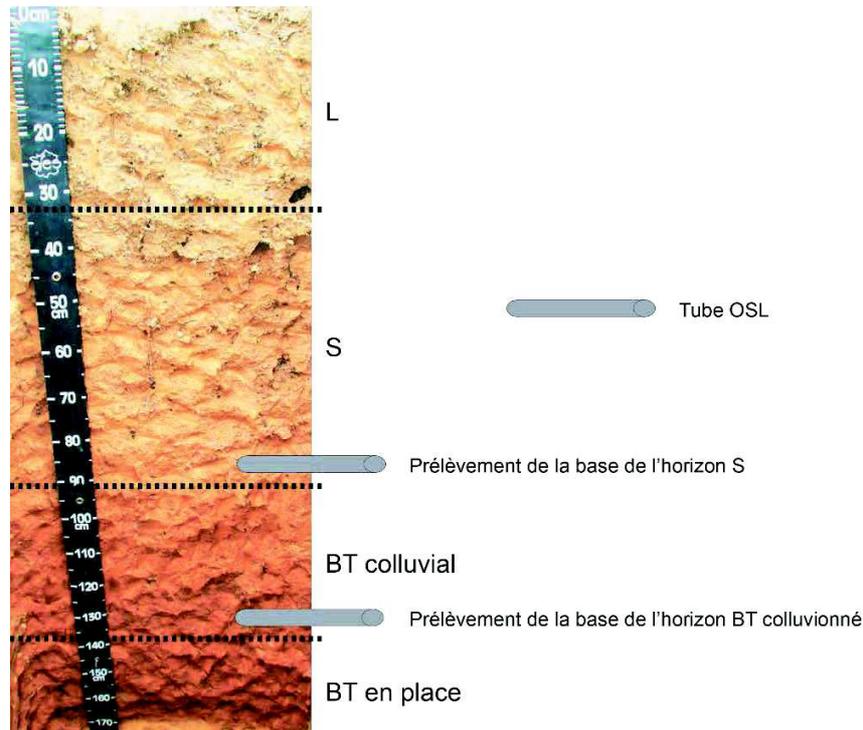


Figure 4.9 : Protocole de prélèvement pour les datations OSL appliqué au profil HABS 06 de Habsheim (68) ; Source : Lucie Froehlicher

Les datations ont été réalisées au *Luminescence Dating Laboratory de l'Institute of Physics*, Silesian University of Technology a Gliwice en Pologne. Il s'agit d'une analyse multigrains. Cette méthode est applicable même sur des dépôts après un transport à courte distance (Lang et Hönsscheidt, 1999) comme c'est le cas pour notre site. Il convient toutefois de noter qu'une partie des grains datés peut avoir été remise en surface du sol après leur dépôt, par bioturbation et/ou travail du sol (Krull *et al.*, 2006). Leur enfouissement définitif n'est pas forcément contemporain du colluvionnement, surtout si celui-ci est diffus. Dans ce type de matériau, il est donc prudent de considérer les âges obtenus comme des âges minimums et non comme des âges absolus.

4.3.2 La datation radiocarbone ^{14}C

Le principe de la datation ^{14}C est simple. Tant qu'un organisme est vivant, sa teneur en $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ reste identique à celle de l'atmosphère (Delibrias, 1979). Mais lorsque ce même organisme meurt, l'équilibre entre les végétaux et l'atmosphère disparaît et la teneur en ^{14}C décroît car cette dernière

n'est plus renouvelée. On sait qu'au bout de 5730 ans, 50 % du ^{14}C initial a disparu. Puis, 5730 ans plus tard, 50 % du ^{14}C subsistant (soit 75 % du ^{14}C initial) disparaît... et ainsi de suite. Cette décroissance suit une loi exponentielle (Delibrias, 1979). Ainsi, avec la loi : $Qt = Q0 * e^{-kt}$ (avec k = constante de désintégration), il suffit de mesurer la teneur actuelle en ^{14}C de l'objet à dater pour en déterminer l'âge (Evin, 1992 ; 2002). La limite d'âge que l'on peut atteindre avec le ^{14}C est de 40 000 ans environ.

Les âges déterminés par datation ^{14}C sont exprimés en BP (*Before Present*) et ne correspondent pas à un âge « calendaire » (Hadjas, 2008). D'autres part, la date référence (=0 BP) est 1950 (Libby, 1955). De plus, on sait qu'à cette même époque Libby avait établi un âge conventionnel où $T_{1/2} = 5568$ ans, remplacé par $T_{1/2} = 5730$ ans aujourd'hui. Depuis les années 1960, de nombreux écarts entre les âges ^{14}C et les âges réels ont été constatés, montrant que les années ^{14}C ne sont pas des années calendaires. Les écarts, positifs ou négatifs selon les époques, proviennent du fait que, contrairement à l'hypothèse de départ, les flux neutroniques responsables de la production du ^{14}C ne sont pas restés constants au cours des âges. Depuis les années 1980, des courbes de calibration ont été établies. Elles sont fondées sur des comparaisons entre les âges ^{14}C et les cernes de croissance des arbres, étudiés par dendrochronologie (Stuiver et Polach, 1977 ; Stuiver et Reimer., 1993 ; Pearson, 1993) ou ceux des coraux (Bard *et al.*, 1993). Les courbes de calibration actuelles permettent des corrections jusque vers 30000 BP. Les écarts entre âges ^{14}C et âge calibré dépassent parfois le millénaire. Les âges calibrés s'expriment en ajoutant le terme « cal » devant l'unité de temps (BC ou AD en archéologie, BP en géosciences). Notons qu'elles ne sont pas applicables aux matières organiques des sols, puisque les temps moyens de résidence représentent une moyenne pondérée d'entités extrêmement hétérochrones. D'autres facteurs naturels (cycle photosynthétique, incorporation de carbone d'origine volcanique, échanges de carbonates,...) ou anthropiques (effet Suess, modification des flux neutroniques par l'explosion des bombes atomiques,...) ont également un effet plus ou moins important sur les mesures d'âge (Suess, 1976).

Avec la méthode de datation radiocarbone, il est possible de dater des charbons, des os, de la MOS. Les interprétations possibles se font en fonction de la nature de l'objet (Delibrias et Evin, 1975 ; Evin, 1983). Dans notre étude, seuls des échantillons de MOS ont été datés. L'interprétation de l'âge dépend du type de sol, paléosol ou sol actif (Guillet, 1979). Ainsi, dans

les sols fonctionnels, l'âge mesuré correspond au TMR des MOS (cf . chapitre 3.3.2), tandis que dans les paléosols l'âge mesuré correspond à la somme du TMR au moment de l'enfouissement et de la durée de cet enfouissement (Delibrias, 1979 ; Guillet, 1979).

L'ensemble des datations ^{14}C a été réalisé au *Poznan Radicarbon Laboratory* en Pologne par le Prof. Dr. Hab. Tomasz Goslar, par la méthode AMS qui nécessite des quantités minimales de carbone (environ 10 mg).

4.3.3 Risques de biais et taphonomie

De nombreux biais sont possibles lorsqu'on utilise des méthodes de datations absolues telles que l'OSL ou le ^{14}C (Delibrias, 1979). Ces biais sont en lien le mode de mise en place des matériaux (vitesse et volume des dépôts) et leur origine. Le tableau 4.2 décrit ces biais et taphonomies possibles en fonction de l'objet à dater.

Tableau 4.3 : Biais et taphonomie en lien avec les datations OSL et ^{14}C

Méthodes de datations	Objets datés	Biais et taphonomie
OSL	Colluvions	Épaisseur des colluvions : Si les colluvions sont peu épaisses, des remaniements liés à la bioturbation sont possibles entraînant ainsi un rajeunissement. L'âge OSL est alors sous-évalué.
		Vitesse de dépôts des colluvions : Lors d'un colluvionnement brutal ou coulée d'eau boueuse, tous les grains ne sont pas forcément exposés à la lumière empêchant leur remise à zéro. L'âge OSL est alors surévalué.
^{14}C	MOS	Pas d'âge absolu pour la MOS : La datation ^{14}C sur MOS ne correspond jamais à un âge réel, mais à un âge moyen, contrairement à un ^{14}C sur un charbon ou un os.
	Charbons	Remaniement des charbons : Même si la datation ^{14}C des charbons est considérée comme une datation absolue, si ces derniers ne présentent pas de stratigraphie dite primaire, caractérisée par un alignement des charbons en lit, cela implique qu'ils ne sont pas en place. Dans ce cas, dater un charbon ne peut pas servir à dater la mise en place de colluvions...

Le bilan que l'on peut faire sur ces méthodes de datations (OSL et ^{14}C) est que la qualité des résultats dépend à la fois de la méthode de datation sélectionnée (fonction de l'objet), de l'objet daté lui-même (charbons, os, sédiment,...) mais aussi de la qualité des prélèvements (quantité, représentativité, moyen de prélèvement, conservation,...).

4.4 Caractérisation des sols : principes et protocoles

L'ensemble des analyses courantes décrites ici a été réalisé au sein du Laboratoire d'Analyses des Sols et des formations superficielles (LAS) (EOST-UMS830). Les traitements (préparations/mesures) de tous les échantillons moi-même à quelques exceptions réalisées par Martine Trautmann (Gestionnaire du LAS). Les analyses effectuées ont été réalisées à partir des différents appareils et produits mis à disposition par le LAS et le Laboratoire Image Ville Environnement (LIVE), à l'exception des datations, sous-traitées à l'extérieur.

4.4.1 Le pH

Le pH, abréviation de *potentiel Hydrogène*, est le cologarithme décimal de la concentration molaire en H_3O^+ . « [...] Le pH varie de -1 à 14, et suivant qu'il est inférieur, égal ou supérieur à 7, la solution est acide, neutre ou basique. [...] Aussi dans le sol, le pH de la solution varie habituellement de 4.5 à 9.5. [...], dans les sols bruns forestiers entre 5 et 6.5, dans les rendzines et les sols calcaires entre 7.5 et 8.5. » (Lozet et Mathieu, 1990).

La mesure du pH_{eau} suit ici la norme NF ISO 10390 (mai 2005, indice de classement X31-117). Cette mesure se réalise à partir d'un mélange entre 20 g d'échantillon séché à l'air (40°C) et tamisé à 2 mm avec 50 ml d'eau (Baize et Jabiol, 2011). Les résultats de la mesure du pH, déterminent à quelle classe d'acidité appartient l'échantillon. Pour cela, le Référentiel pédologique propose 7 classes (AFES, 1992; Baize, 1988) :

- $\text{pH} < 3.5$ hyper acide
- $3.5 \leq \text{pH} \leq 4.2$ très acide
- $4.2 \leq \text{pH} \leq 5$ acide
- $5 \leq \text{pH} \leq 6.5$ faiblement acide
- $6.5 \leq \text{pH} \leq 7.5$ neutre
- $7.5 \leq \text{pH} \leq 8.7$ basique
- $\text{pH} \geq 8.7$ très basique

Pour cette étude, la sonde de mesure utilisée est WTW pH-ElectrodeSentix41, le boîtier est WTW InoLab pH 7110.

4.4.3 Détermination de la présence de carbonates : Test HCl 10 %

Le test à l'HCl a pour but de déterminer la présence ou l'absence de carbonates dans un sol. La présence de carbonates se manifeste par une effervescence de l'échantillon carbonaté lorsque qu'il rentre en contact avec quelques gouttes de HCl dilué (10 %) (Baize, 2011).

Un sol est qualifié de carbonaté quand ce dernier contient plus de 5 % de calcite (CaCO_3) ou de dolomite $(\text{Ca,Mg})(\text{CO}_3)_2$ dans la terre fine, « caractérisé alors par une effervescence généralisée avec HCl à chaud ou à froid » (Lozet et Mathieu, 1990). Lorsqu'il s'agit de la dolomite, l'effervescence ne survient qu'à chaud.

4.4.4 La granulométrie laser

L'analyse granulométrique laser a pour but de mesurer la dimension des particules minérales du sol par diffraction et diffusion. Cette méthode de mesure très rapide (en comparaison aux méthodes de sédimentation à la pipette Robinson) permet grâce à un faisceau laser de mesurer la taille des particules mises en suspension à partir des différentes longueurs d'onde enregistrées par le récepteur en fonction des propriétés de la particule (forme, taille, etc.). Plus précisément, le faisceau projeté subit plusieurs types de phénomènes optiques, à savoir la réflexion, la réfraction, la diffraction et l'absorption. En fonction de la part de faisceaux déviés et leurs caractéristiques (angles), il est possible de mesurer la taille des particules. Grâce aux 132 détecteurs disponibles sur cette machine, un nombre énorme de fractions est disponible permettant de déterminer une gamme de mesure allant de $0.017 \mu\text{m}$ à $2000 \mu\text{m}$. (Trautmann, communication orale) (figure 4.10).

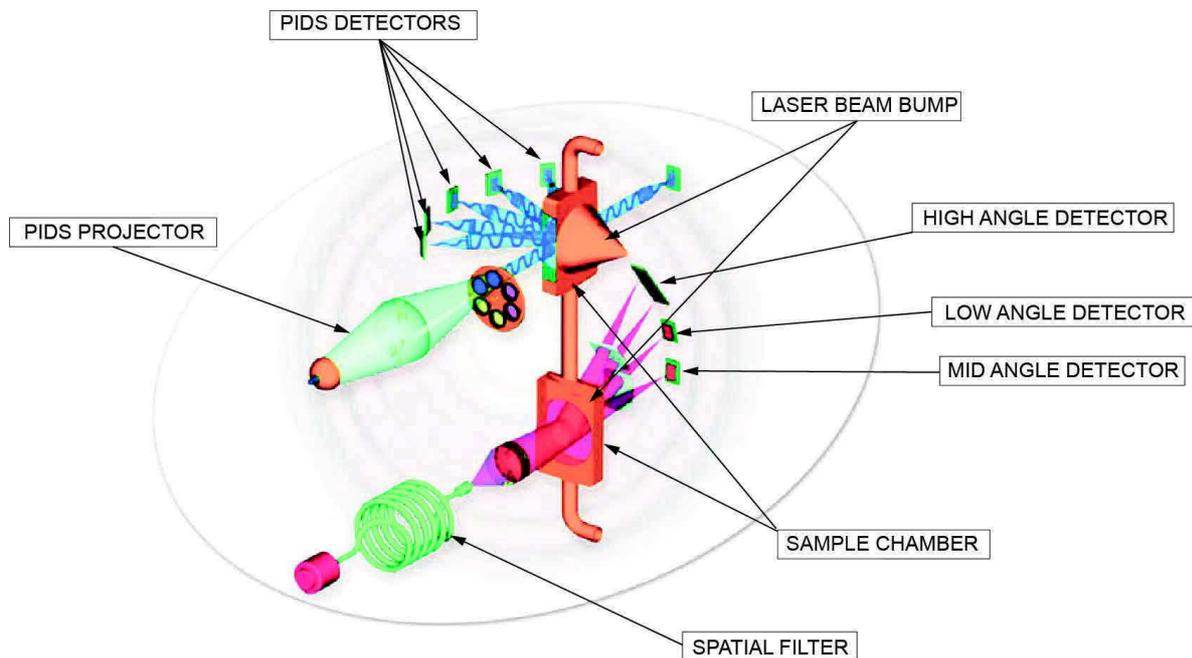


Figure 4.10 : Banc optique du granulomètre laser Beckmann Coulter LS 13320 Laser Diffraction Particle Size Analyser ; Repris et modifié de Beckman Coulter

Les mesures sont très reproductibles d'après des tests effectués au LAS, et la quantité d'échantillon nécessaire est faible (10 g).

Pour la terre fine, il est nécessaire d'éliminer la matière organique, les sels de calcium et de solubiliser les oxydes et hydroxydes de fer et d'alumine. L'échantillon doit donc être prétraité, successivement, à l'eau oxygénée (destruction de la matière organique), à l'acide chlorhydrique (si l'échantillon n'est pas calcaire) ou au chlorure de potassium (échantillons calcaires) pour la défloculation, et enfin à l'hexamétaphosphate pour la dispersion des argiles.

L'annexe 10 (V) décrit dans le détail la démarche à suivre pour la préparation des échantillons. L'ensemble de la préparation des échantillons a été réalisée au LAS par moi-même. La mesure a été réalisée avec le Granulomètre Laser Beckmann Coulter LS 13320 Laser Diffraction Particle Size Analyser par Martine Trautmann pour garantir une homogénéité et une qualité de données irréprochable (volume prélevé, représentativité, répétitivité de la mesure...).

Les résultats sont exprimés graphiquement sous la forme de courbes cumulées, auxquelles sont surimposées les limites des classes granulométriques (argile, limons fins, limons grossiers, sables fins et sables grossiers). Ces courbes permettent d'évaluer le degré du tri du matériau, les

quantités respectives de constituants des différentes classes et de comparer les échantillons entre eux.

4.4.5 La mesure d'humidité à 105°C

Le test de l'humidité à 105°C (% Hum) correspond à la perte de poids d'un échantillon entre un séchage à l'air (40°C) et un séchage à 105°C. Plus le pourcentage d'argile est important plus le pourcentage d'humidité résiduelle à 105°C est élevé (Baize, 1988).

$$\% \text{ Hum.} = \frac{\text{Pair} - P_{105^\circ}}{\text{Pair}} * 100$$

Cette analyse a pour but de vérifier à la fois la qualité du séchage à l'air, d'interpréter la perte au feu (PAF) et de corriger le résultat des analyses effectuées après séchage à l'air pour les exprimer en unités standardisées (séchage à 105°C). Un résultat du test d'humidité supérieur à 8 % indique un séchage à l'air « imparfait » (Baize, 1988).

4.4.6 La Perte Au Feu (P.A.F)

Par définition (Baize, 1988), la PAF correspond à la perte de poids d'un échantillon après calcination à 1100 °C, rapporté au poids initial (séchage à l'air).

$$PAF (\%) = \frac{\text{Pair} - P_{1100^\circ}}{\text{Pair}} * 100$$

D'après Baize (1988) la perte au feu (PAF) est une analyse permettant la destruction ou la « perte » de quatre éléments :

- l'humidité à 105 °C qu'il faut déterminer par ailleurs,
- l'ensemble des matières organiques qui brûlent,
- l'eau de constitution des minéraux argileux (4.6 à 13 % du poids de ces minéraux argileux selon leur nature minéralogique),
- le CaCO₃

A partir de cette analyse il est possible de déterminer la teneur en Matière Organique totale :

$$MO \text{ totale} = PAF - [\text{Hum.} + (0.44 * CaCO3 \text{ total}) + (y * A)]$$

Avec :

A : taux d'argile

Y : proportion pondérale d'eau de constitution (0.10)

Au LAS, cette mesure est effectuée par une combustion d'échantillons de sols placés dans de petites coupelles en porcelaine (le tout pesé avant combustion) pendant 16 h dans un four à moufle. Une fois la combustion terminée, les échantillons sont tout de suite placés dans des dessiccateurs avant la pesée postcombustion pour empêcher une ré-humidification des échantillons.

4.4.7 Le Carbone Organique (C_{org})

La mesure du pourcentage en carbone organique (C_{org}) suit le protocole de la méthode de Walkley et Black (1934) ; Walkley (1947) présenté dans le protocole de Dabin (1970) et de Soltner (1980). Ce protocole robuste a largement montré son efficacité et permet une comparaison assez large avec des données de références (Bachelier, 1968).

Le principe de cette analyse consiste à faire réagir « le sol avec un oxydant dont on dose l'excès inutilisé. On admet que l'oxygène consommé est proportionnel au carbone que l'on veut doser. L'oxydation se fait par le bichromate de potassium en milieu sulfurique. L'excès est dosé par le sel de Mohr en présence de diphénylamine et de fluorure de sodium qui forme avec les ions ferriques gênants un sel peu dissocié» (protocole ORSTOM Brazzaville) (figure 4.11).



Figure 4.11 : Manipulation de Walkley et Black pour la mesure du Carbone organique ; Source Photo : Dominique Schwartz

4.4.8 Mesures du Carbone Total (C) et de l'Azote (N)

La mesure des teneurs en carbone et en azote d'un échantillon est une analyse de base lors de la caractérisation pédologique des sols. Ces mesures sont faites sur un analyseur élémentaire de type CHN. Sur ce type d'appareil, la mesure du carbone correspond à la somme du carbone organique et du carbone des carbonates quand le sol est carbonaté. La mesure de l'azote total permet de calculer le rapport C/N à partir de la teneur du C_{org} mesuré par la méthode W&B (cf. *supra*).

Le principe de cette méthode est basé sur la combustion dite flash de l'échantillon à 1300°C. Le résultat de cette combustion va permettre la production d'Azote (NO_2), de gaz carbonique (CO_2), d'eau (H_2O) et d'oxygène (O_2). Après réduction, seul le NO_2 , le CO_2 et H_2O sont encore présents. H_2O disparaît rapidement grâce au piège à eau. Enfin, après un passage dans une colonne de chromatographie les 2 pics d'intérêts sortent : l'azote en premier et le carbone en deuxième, car le temps de fixation de ces molécules sur les grains poreux du tube de chromatographie est plus long (figure 4.12) (Chevallier, communication orale). Les analyses ont été effectuées sur l'analyseur élémentaire FLASH 2000 N et NC appartenant au LIVE en dépôt au LAS.

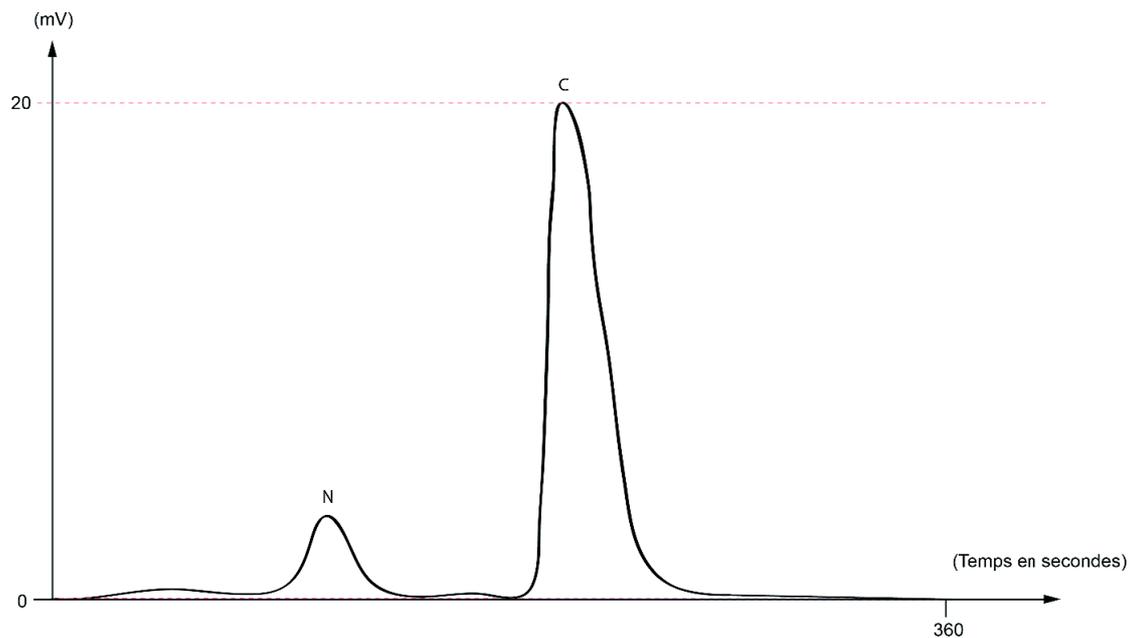


Figure 4.12 : Enregistrement des pics d'azote (N) et de carbone (C) avec l'analyseur élémentaire FLASH 2000 N et NC

4.4.9 Mesures de la Densité Apparente (D.A) des sols

La densité apparente (D_a ou Δa) est le rapport entre la masse d'un échantillon de sol et le volume du prélèvement (en g/cm^3 , kg/l , t/m^3). (Baize, 1988).

Soit :

$$D_a = \frac{\text{Masse de l'échantillon}}{\text{Masse d'un volume d'eau } V \text{ de référence}}$$

La connaissance de la D_a est indispensable pour calculer des stocks de terre ou de carbone par unité de surface. Pour réaliser cette mesure, il est important que les prélèvements soient réguliers, homogènes et réalisés par la même personne et avec les mêmes outils. Pour les horizons de surface, trois cylindres ont été prélevés sur des paliers tous les 10 cm jusqu'à 30 cm

de profondeur. Puis, on n'a plus prélevé que deux cylindres par palier (toujours tous les 10 cm) (figure 4.13). Le volume de chacun de ces cylindres est de 50 ml.

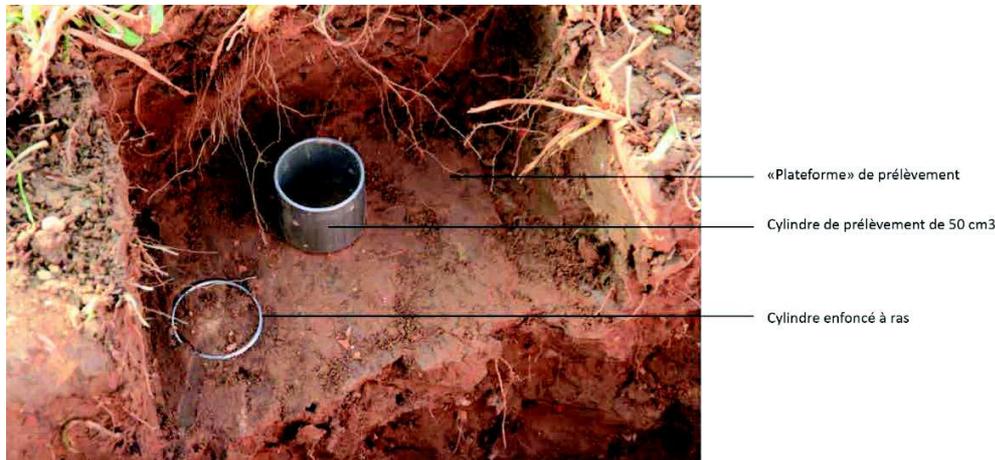


Figure 4.13 : Prélèvement des cylindres pour la mesure des densités apparentes ; Source : Lucie Froehlicher

Une fois les échantillons prélevés, ils sont séchés à l'étuve à 105°C pendant 48 heures. Le séchage terminé, l'échantillon est pesé et le calcul de la densité apparente peut alors être réalisé. Dans le cas où des éléments grossiers sont présents dans l'échantillon (galets, etc.) le volume et la masse de ces éléments doivent être ôtées du poids sec et du volume total de l'échantillon. Le calcul du volume des éléments grossiers se fait simplement à partir d'une burette graduée remplie d'un volume d'eau connu (V_1). En ajoutant les éléments grossiers dans cette burette, un nouveau volume peut être lu (V_2). En soustrayant V_1 à V_2 on obtient le volume des éléments grossiers.

4.5 La Spectroscopie Proche-InfraRouge (SPIR)

4.5.1 Principe de la méthode SPIR

Le principe de la SPIR repose sur la mesure de l'intensité de la réflectance (R) de la lumière en proche infrarouge (par un échantillon) (Cécillon *et al.*, 2008 ; Ertlen, 2009). Mesurée sur l'ensemble de la bande spectrale du proche infrarouge (1100 à 2500 nm) (figure 4.14) cette transmittance est ensuite transformée en absorbance (A) à partir de la formule :

$$A = \log\left(\frac{1}{R}\right)$$

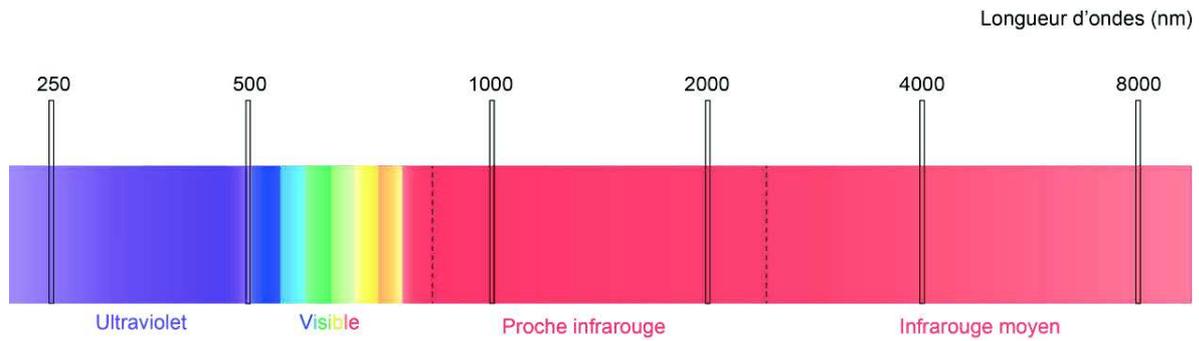


Figure 4.14 : Spectre électromagnétique ; redessiné d'après ERTLEN, 2009

Cette mesure, permet dans un premier temps d'obtenir un spectre brut (figure 4.15) comparable à une « empreinte » de l'échantillon analysé.

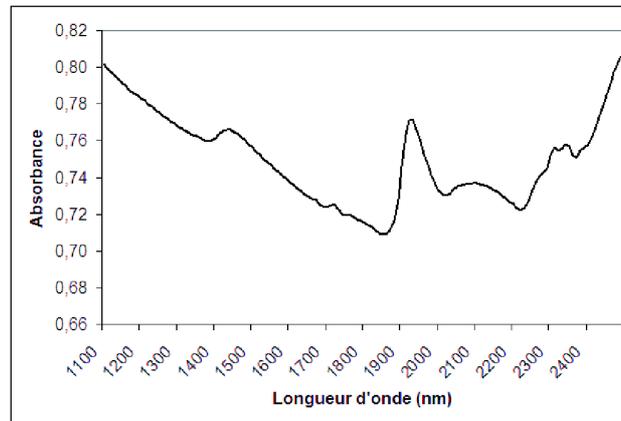


Figure 4.15 : Spectre acquis par la SPIR en absorbance ; Source : ERTLEN, 2009

Il est important de distinguer les deux approches possibles, quantitative (Cécillon *et al.*, 2008) ou qualitative (Ertlen, 2009). Dans les études paléoenvironnementales, la SPIR qualitative est une méthode visant à retracer la composante végétale des paysages du passé à partir de certaines archives pédologiques : la matière organique des sols (MOS). Les prédictions dites qualitatives se caractérisent par l'attribution d'un score à chacun des échantillons à caractériser,

permettant ainsi de le classer dans une des trois classes prédéterminées : prairie, forêt ou culture (Velasquez *et al.*, 2005 ; Awiti *et al.*, 2008 ; Ertlen, 2009 ; Froehlicher, 2012 et 2013).

La SPIR quantitative, plus répandue que la précédente, a pour principe de prédire les caractéristiques physico-chimiques du sol comme la granulométrie, le pH, le carbone total, le carbone organique, l'azote, etc. à partir de bibliothèques de référence comprenant des spectres de données de référence (Barthès *et al.*, 2006 ; Viscarra Rossel *et al.*, 2016)

4.5.2 Protocoles de la mesure SPIR

Dans un premier temps, l'analyse SPIR consiste après séchage à 40°C et tamisage à 2 mm des échantillons, en l'acquisition des spectres de la MOS de chaque échantillon à partir de quelques grammes de sols prélevés après quartage et disposé dans une cellule en verre transparente. L'échantillon est ensuite disposé dans la machine au-dessus d'une petite fenêtre par laquelle le laser va passer pour venir se réfracter dans l'échantillon. L'échantillon va tourner pendant plusieurs dizaines de secondes (centrifugeuse) afin d'effectuer plusieurs balayages paramétrés à l'avance. A la fin de l'acquisition, un spectre est produit, qui couvre une bande spectrale allant de 4000 à 10000 cm^{-1} . Ce spectre brut contient un grand nombre d'informations, à la fois qualitative et quantitative (figure 4.16A).

Après avoir acquis l'ensemble des spectres, nous leur avons appliqué des prétraitements mathématiques (Chang *et al.*, 2001). Différents types de prétraitements existent comme la standardisation (ou SNV) et les dérivées (1^{ère}, 2^{nde}). La standardisation permet de centrer sur zéro le spectre précédemment acquis en soustrayant l'absorbance moyenne de chaque bande (Shenk *et al.*, 2001 ; Ertlen, 2009). La standardisation est souvent associée à un « *detrend* » afin de corriger la curvilinéarité du spectre. Les dérivées (Coûteaux *et al.*, 2003) permettent d'exagérer l'amplitude de certaines variations difficilement visibles sur le spectre brut. L'ensemble de ces prétraitements sont réalisés avec les logiciels Unscrambler 10.3 et IBM SPSS 20 (figure 4.16B).

Les traitements statistiques multivariés (analyse discriminante) des spectres constituent l'étape suivante, les prétraitements mathématiques. Il s'agit ici de calculer un algorithme permettant de distinguer différentes classes de l'origine végétale des échantillons (1 : forêt 2 : prairie, 3 : culture) pour les échantillons de référence (figure 4.16C). Puis, cet algorithme est appliqué aux échantillons dont l'origine végétale demeure inconnue afin de lui attribuer des scores (fonction canoniques 1 & 2) permettant ainsi de les attribuer à une des trois classes (figure 4.16E).

Pour cette étude, la base de données des échantillons de références utilisée est constituée de 1343 échantillons provenant de France et de République Tchèque. (Ertlen, 2009 ; Ertlen *et al.*, 2010, 2015 ; Froehlicher, 2012, 2013 ; Vyslouzilova *et al.*, 2015). Les échantillons à classer proviennent quant à eux exclusivement de nos sites d'études (HABS, UFF, CIG, HABSREF, ZOO) pour un total de 186 échantillons.

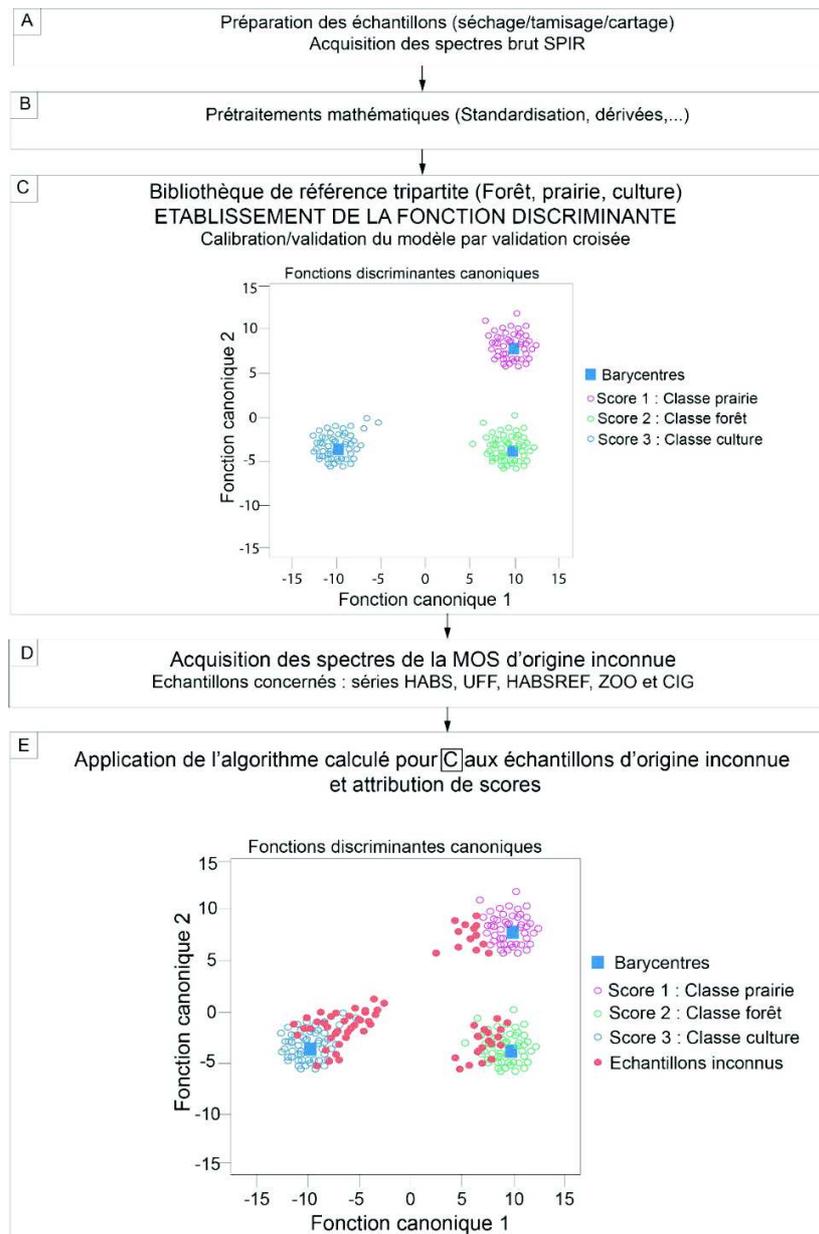


Figure 4.16 : Etapes de l'analyse SPIR ; Source : Lucie Froehlicher

4.6 L'analyse micromorphologique des sols

4.6.1 Principe de l'analyse micromorphologique

L'analyse micromorphologique des sols est une méthode d'analyse très fine dont le principe est basé sur l'observation de lames minces permettant « la reconnaissance des héritages sédimentaires et des transformations pédologiques » (Gebhardt, 2000). Plus précisément, elle a pour objet d'analyser et d'identifier au microscope polarisant les constituants du sol et leur organisation à une échelle microscopique, invisible à l'œil nu (Fedoroff, 1967). Cette étude va permettre de caractériser la matrice du sol, les composantes primaires et secondaires et tous les traits pédologiques. Ainsi, elle permet d'établir une chronologie relative entre plusieurs « évènements pédosédimentaires fossiles liés ou non à l'activité anthropique ancienne (agricole ou domestique) » (Gebhardt, 2000).

L'interprétation des images obtenues à partir de l'analyse au microscope polarisant est basée sur la reconnaissance et la forme, la taille, la connectivité des pores du sol ainsi que sur les compléments et leurs formes s'il y en a, au sein de ces pores. Ces pores peuvent être de différents types : de tassement, cavités, vacuoles, chenaux, chambres et fissures (Fedoroff, 1967 ; Fedoroff et Courty, 1994).

La terminologie utilisée lors de la description des lames minces de sols concerne les éléments suivants (Fedoroff, 1967 ; Calvet, 2003) :

- la structure, qui correspond à « l'organisation spatiale des particules primaires, secondaires et des vides » ;
- la matrice S, composée à la fois du plasma : « matériaux colloïdaux < 2 mm inorganiques et organiques qui ne sont pas associés dans des agrégats », des grains de squelette qui sont des « particules < à 2 μm , cristallines ou amorphes » et de vides « à l'intérieur du plasma et entre le plasma et les grains »
- les traits pédologiques, qui mettent en avant les « réorganisations des matériaux au cours de la pédogenèse » comme les « concentrations de plasma, les séparations de plasma ou encore les formations de fossiles ».

4.6.2 Protocole de fabrication de lames minces

La première étape avant la réalisation des lames consiste à prélever un bloc de terre sans le disloquer/le compresser à l'aide de fonds de boites rigides, ou de briques de boisson, type Tetra Pak® (figure 4.20). Cette étape est d'après les spécialistes la plus délicate car c'est elle qui déterminera la qualité des lames minces (Jongerius et Heintzberger, 1975 ; Fitzpatrick, 1984). Ainsi, à l'aide d'un couteau et des boites, des portions de sols non perturbés sont extraites. Les prélèvements ont été effectués de manière discontinue (un prélèvement par horizon). Sur la boite est indiqué le sens de prélèvement.

La fabrication des lames minces a été effectuée en Allemagne au Laboratoire privé de Mr Thomas Beckmann. La seconde étape de la fabrication des lames consiste à déshydrater lentement l'échantillon par un séchage à 20°C suivi par un séchage rapide (48h) à 50°C (Fitzpatrick, 1984) sans modifier son organisation, puis à l'imprégner sous vide avec de la résine de polyester (étape 2 figure 4.20). Une fois l'échantillon sec, des blocs sont coupés et polis (étapes 3 et 4 sur la figure 4.20). Enfin, à partir de ces blocs, des lames minces de 25 à 30 µm d'épaisseur sont débitées, puis polies afin de pouvoir les observer au microscope polarisant (Etape 5 et 6 sur la figure 4.20).

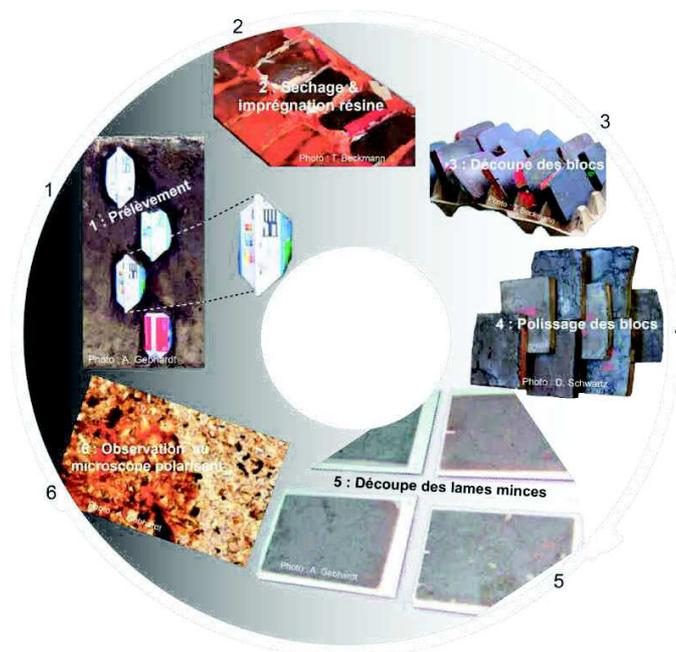


Figure 4.17 : Prélèvement et préparation des lames minces ; Source : Lucie Froehlicher

4.7 Conclusion

Les matériels et méthodes présentés ici mettent en avant de grands domaines d'étude très différents les uns des autres : géographiques, historiques et pédologiques. Mais malgré ces différences, une trame se dessine tout au long de ce chapitre et offre une vision complète sur l'ensemble des analyses à effectuer et sur la finalité de nos travaux, à savoir une caractérisation complète des évolutions paléoenvironnementales remarquables de nos paysages alsacien.

Chapitre 5 : Sélection et description des sites d'études

5.1 Protocoles de sélection des sites

La sélection de nos sites d'étude obéit à une démarche très rigoureuse. Elle a consisté dans un premier temps à établir un diagnostic général sur la localisation des rideaux de culture sur l'ensemble du territoire alsacien. Puis, un affinement dans la sélection a permis de ne retenir que quelques sites, par croisement avec les données pédologiques, géohistoriques et les prospections de terrains.

5.1.1 Les sites d'intérêts : cahier des charges

Les sites susceptibles d'être retenus devaient être localisés dans l'une des trois grandes zones loessiques (Kochersberg, Outre-Forêt et Sundgau) où la forte sensibilité des sols à l'érosion a déjà été bien étudiée (Van Dijk et Koller, 2015 ; Van Dijk *et al.*, 2010 ; Armand, 2009 ; Auzet *et al.*, 2005 ; Auzet, 1987). Ils devaient également intégrer l'ensemble des configurations topographiques permettant de comprendre les processus avec des toposéquences complètes, de la zone d'ablation en sommet de colline jusqu'aux zones d'accumulation en aval. Les parcelles retenues devaient présenter un ou plusieurs rideaux de cultures perpendiculaires à la pente, si possible associés à des haies vives actives. Elles devaient également être en culture (quasi) continue depuis le plus longtemps possible. Nous nous sommes fondée à cet égard sur l'occupation du sol enregistrée dans les documents géohistoriques suivants : Plans de finage de l'Intendance d'Alsace (1760-1762), Cadastre Napoléonien des années 1825, Cartes d'Etat-major allemandes des années 1880, photos aériennes de l'IGN (depuis 1930) (cf. chapitre 4).

5.1.2 Protocole de sélection : du LIDAR à la prospection de terrain.

5.1.2.1 L'analyse LIDAR

La première phase de sélection s'est opérée à l'échelle régionale (niveau A figure 5.1). Elle s'est fondée sur une analyse des microtopographies par LIDAR aéroporté. La couverture LIDAR est cependant très inégalement répartie. Si le Haut-Rhin est quasiment entièrement couvert, il n'en est pas de même du Bas-Rhin, dont seule une petite partie a pu être étudiée. L'objectif de cette première phase de prospection a consisté à détecter l'ensemble des zones caractérisées par des talus linéaires parfaitement visibles sur le LIDAR et perpendiculaires à la pente (figure 5.2).

Néanmoins, les données LIDAR seules ne permettent pas d'affirmer que les talus relevés correspondent avec certitude à des rideaux de culture. En effet, les crêtes de labour (ackerbergs),

les champs bombés et les terrasses, structures caractérisées elles aussi par des surélévations linéaires, sont parfois difficiles à distinguer des rideaux de culture sur le LIDAR (voir par exemple figure 2.8., chap 2). Ainsi, l'analyse LIDAR effectuée sur l'Alsace permet un relevé systématique de l'ensemble des structures décrites précédemment, tout en tenant compte du risque de biais quant à l'interprétation du type de structure.

La deuxième phase d'analyse (figure 5.1B) consiste à croiser les structures détectées par l'analyse LIDAR avec des données pédologiques, historiques (cartes anciennes, etc.). A ce niveau, de nombreux biais sont encore possible, car la réalité des cartes n'est pas la même que celle du terrain. Ainsi, pour avoir un référentiel de qualité respectant le cahier des charges, il est essentiel d'inclure une dernière étape à la sélection des sites, la phase de prospection de terrain (figure 5.1C). Celle-ci permet de confronter l'ensemble des données cartographiques (photos, cartes, etc.) à la réalité du terrain. Il est possible ainsi, de préciser si les structures agraires sont bien des rideaux de culture ou des terrasses. L'ensemble de ces étapes est détaillé plus loin.

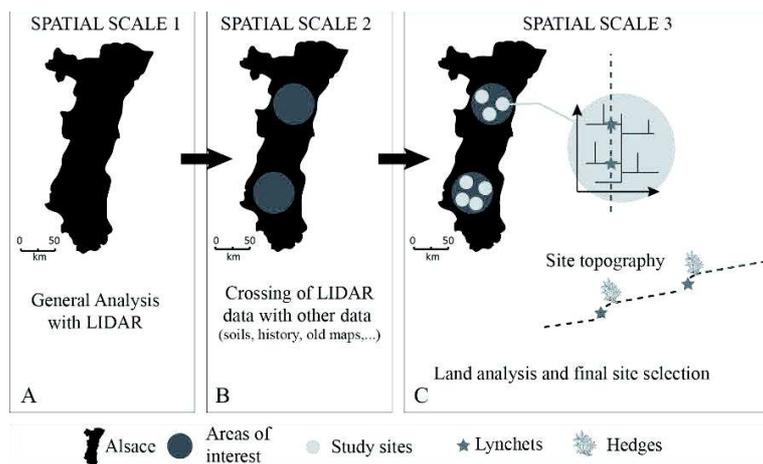


Figure 5.1 : Niveaux d'analyse spatiale avant sélection du site ; Source : Lucie Froehlicher



Figure 5.2 : Etapes d'identification des rideaux de culture à partir du LIDAR et des photos aériennes (Alsace/Haut-Rhin/68) ; Données: InfoGéo68 ; Source : Lucie Froehlicher

Pour s'assurer de la pertinence des structures relevées, la base de donnée (BD) produite sur les rideaux de cultures est mise en parallèle avec une BD « haies » établie à partir des images

récentes (orthophotos 2007 ; photos aériennes de 1950 jusqu'à l'Actuel) et avec une BD « histoire » établie à partir des plans et des cartes anciens.

La démarche méthodologique utilisée ici est schématisée par la figure 5.3. La première étape de ce schéma décrit une large palette de données spatiales (LIDAR, cartes, plans, photos) présentées dans le chapitre 4. En fonction de leur intérêt dans l'étude, ces documents vont être géoréférencés, puis une ou plusieurs informations décrites par le document vont être digitalisées soit par un relevé manuel, soit par une digitalisation automatique (rideaux de culture et/ou haie). Les nouvelles bases de données produites par ces digitalisations : (*shapefiles*), bien agencées sur une même carte, vont permettre de caractériser les évolutions spatio-temporelles de ces espaces. En parallèle de cette détection/digitalisation de structures, des calculs de linéaires/surfaces sont effectués sur les différentes bases de données afin de caractériser les évolutions spatio-temporelles des haies dans les communes d'intérêts :

- Evolution du linéaire de type « haies » entre les différentes photos aériennes.
- Evaluation du linéaire de type « rideaux de culture » sur la BD « rideaux de culture ».
- Evolution et stabilité de l'occupation agricole entre les systèmes de haies.

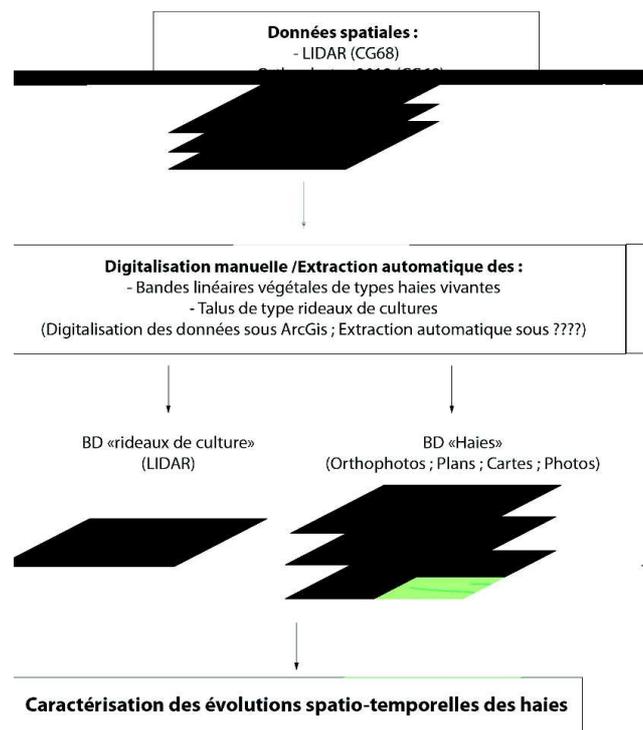


Figure 5.3 : Démarche méthodologique d'extraction des rideaux de cultures et des haies ; Source : Lucie Froehlicher

5.1.2.2 Localisation des zones de loëss : L'apport des cartes géologiques et des cartes de zonages agro-pédologiques

Une fois la détection des structures linéaires effective, la BD « rideaux de culture » est croisée avec d'autres documents renseignant des critères de sélection comme la localisation des sites sur zone loëssique (figure 5.4), la durée du passé en terres labourables, la pente, etc. (figure 5.1 B). A ce niveau de sélection, les sites avec un intérêt potentiel diminuent et deux grandes zones d'intérêt ressortent : Le Sundgau (Haut-Rhin) et le Kochersberg (Bas-Rhin). Il s'agit là de deux grandes zones agricoles très exploitées, en raison de l'importante fertilité des sols loëssiques. Ne pouvant travailler sur l'ensemble de ces territoires, nous nous sommes restreinte à quelques sites d'études à l'échelle du versant agricole.

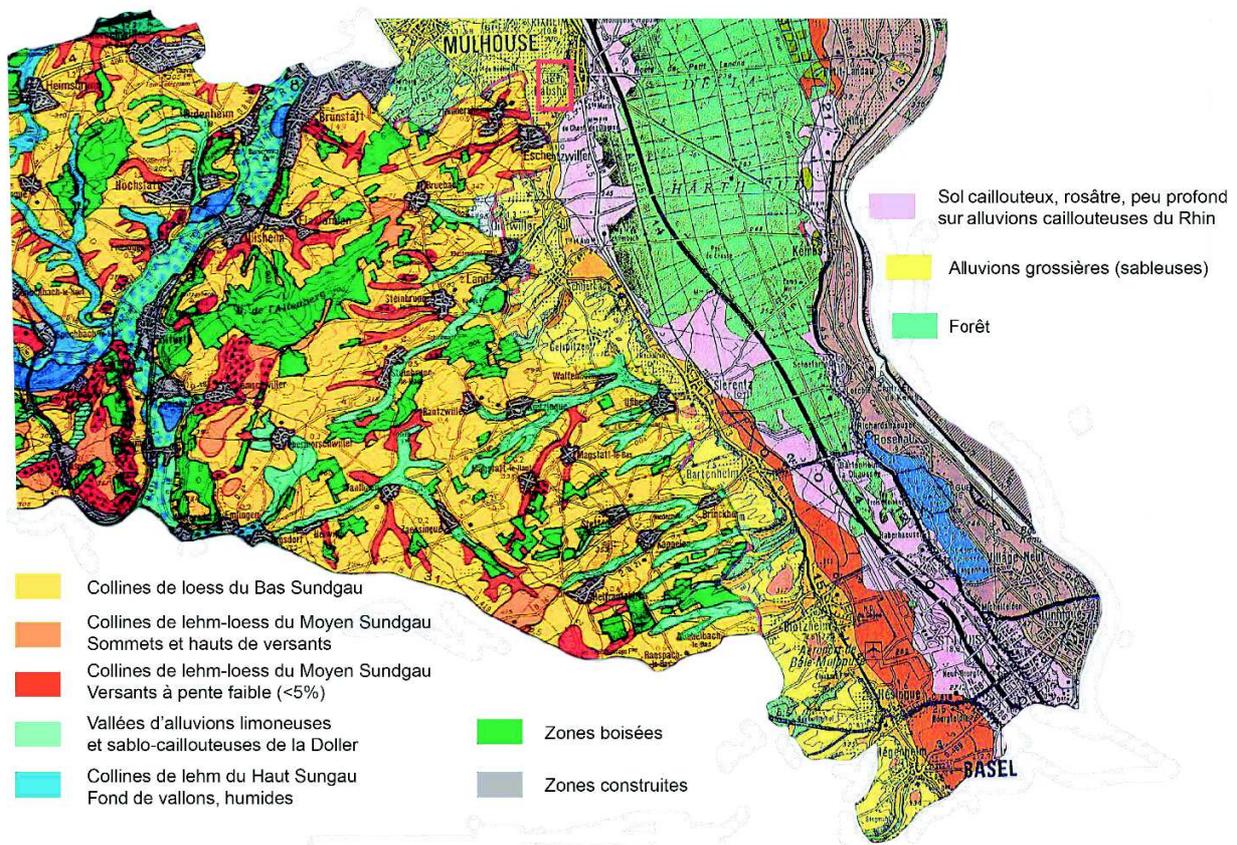


Figure 5.4 : Localisation du site d'Habsheim (carré rouge) sur la carte de zonage agro-pédologique ; Source : Repris de Party, 2001 & Party, 1999 (cartes fusionnées).

5.1.2.3 Phases de prospection de terrain et biais potentiels

La phase de terrain (figure 5.1C) est la dernière étape de sélection. Elle s'est déroulée sur la trentaine de sites présélectionnés pour valider ou invalider les étapes précédentes de sélection, en s'assurant que tous les critères soient respectés (Annexe 11 (W)). En particulier, il a ainsi été possible d'éliminer les sites correspondant à d'anciennes terrasses agricoles.

Cette phase a permis d'identifier quelques sites avec de forts potentiels, mais a aussi révélé beaucoup d'incompatibilités entre les informations relatées dans la littérature, sur les cartes, les images et la réalité du terrain. Ainsi, de grosses erreurs d'interprétations sont apparues : problème de lecture du LIDAR (confusion type de structures : rideaux VS terrasses), problèmes d'interprétation des cartes par rapports à l'échelle de travail (Les cartes pédologique et géologique régionales ne sont par exemple pas adaptées pour un travail à l'échelle du site).

A la fin de toutes ces prospections de terrains étalées sur 2 ans, seuls 6 sites ont été exploités pour ces travaux de thèse. Deux sont des sites de références, qui serviront de points de comparaison pour interpréter les données calculées et mesurées en provenance des toposéquences étudiées. Deux toposéquences présentent des systèmes de rideaux de cultures/haies toujours actifs en milieux agraires. Enfin, un site a été retenu pour caractériser l'effacement de ces systèmes de rideaux de cultures/ haies toujours en milieu labouré. Un dernier site, plus marginal, interviendra pour permettre le calage chronologique de ces structures de types rideaux de cultures dans le temps et l'espace, en lien étroit avec d'autres structures agraires comme les champs bombés, les pierriers, etc.

5.2 Descriptions des sites retenus

5.2.1 Les sites de référence

Sur des toposéquences où l'érosion a été intense, les sols observés n'ont plus les caractéristiques des sols qui ont évolué dans des conditions stables. Disposer de sols sur lesquels l'érosion a été très faible, au moins pendant un laps de temps conséquent, permet de mesurer des valeurs de paramètres édaphiques dans des conditions de stabilité, sous une végétation donnée et d'évaluer l'impact de l'érosion. Nous en retiendrons deux, une référence sous forêt et un site sous prairie.

5.2.1.1 Site de référence sous forêt : Mulhouse (ZOO)

Localisation du site et environnement

Le site de référence sous forêt se situe dans la ville de Mulhouse à proximité immédiate du Zoo d'où le nom choisi : « ZOO » (47°33'51.03"N 7°21'0.15"E / 341 m d'altitude) (figure 5.5). Le site

est relativement vallonné, et la fosse se situe sur une pente forte (environ 15 %) orienté est-ouest (point rouge sur la figure 5.5). Le sol y est stabilisé par la présence d'un peuplement forestier dense (hêtres, érables, frênes).

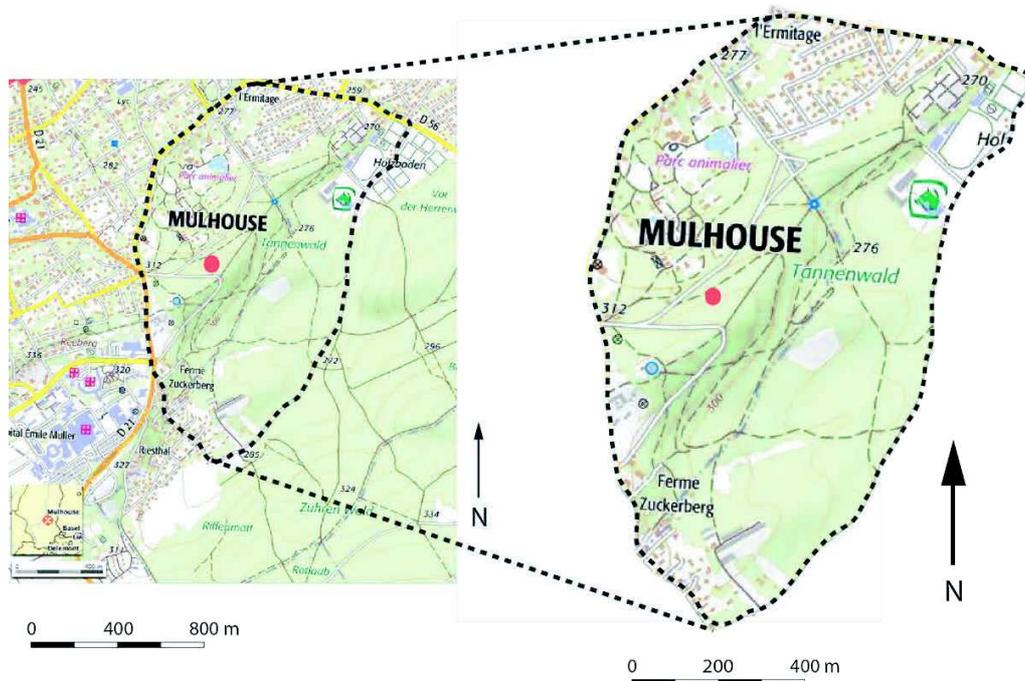


Figure 5.5 : Localisation du site d'étude ZOO (point rouge) sur une carte topographique du secteur de Mulhouse (Haut-Rhin/68) ;
Source : Lucie Froehlicher d'après la carte topographique en ligne de Géoportail.

Caractéristiques historiques

Ce site est localisé dans la forêt du *Tannenwald*, une forêt dont la présence est attestée depuis plus de 450 ans par les documents historiques (Plan de finage de Riedisheim de 1760, carte d'Etat-Major de 1840). La légende du plan de finage mentionne des arbres âgés de plus de 200 ans en 1760. L'occupation forestière du domaine remonte ainsi au moins à 1560. Or, ces arbres ne peuvent pas correspondre à la végétation de 1^{ère} génération (espèces pionnières avant) : le peuplement forestier a donc au moins 500 ans.

Notons que le toponyme fait référence à des essences qui n'y sont plus présentes dès le XVII^{ème} siècle (*Tannenwald* = forêt de sapin).

Caractéristiques géologiques et pédologiques

Le site d'étude se situe d'après la carte de zonage agro-pédologique (Party, 2001) et la carte géologique au 1/50 000 du secteur de Mulhouse (Théobald, 1976) dans une zone de placage de lœss et lœss-lehms anciens et récents (Figure 5.4). Le sol est un luvisol typique qui sera décrit en détail dans le chapitre 8.

5.2.1.2 Site de référence sous prairie : Habsheim (HABSREF)

Localisation du site et environnement

La fosse de référence est localisée dans une prairie située sur le banc d'Habsheim (47°43'20" N / 7°24'41" E / 250 m d'altitude). Elle est placée en bas de pente (pente générale allant de 10 à 12 %), à 10 m en amont d'un chemin agricole (point rouge sur la figure 5.6). Ce chemin marque une rupture de pente nette avec le paysage labouré, uniformément plat qui se dessine en aval du site.

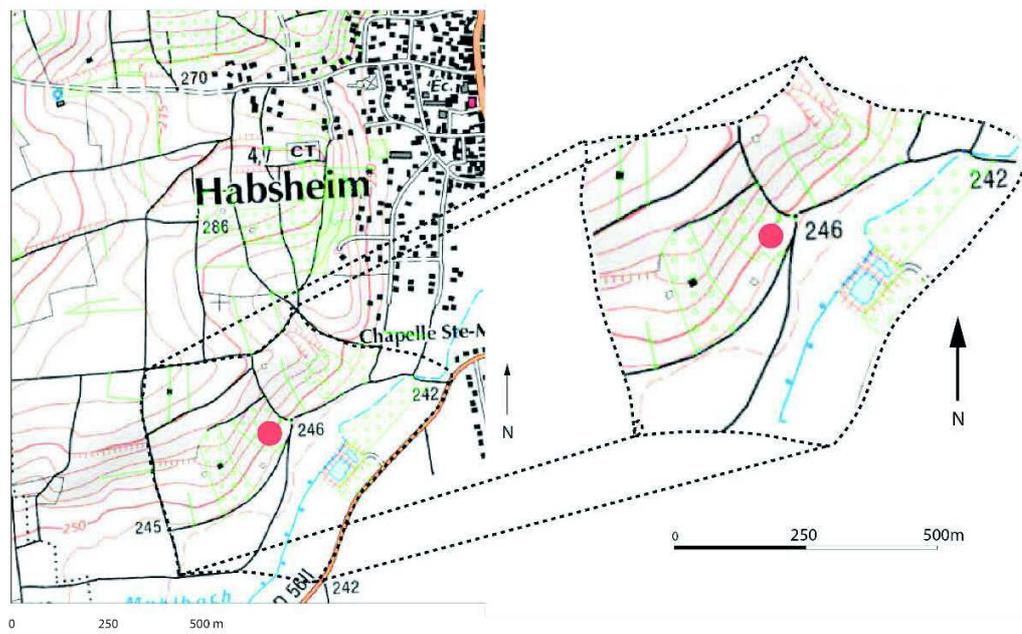


Figure 5.6 : Localisation du site de référence "HABSREF" sur la carte topographique de Habsheim ;
Source : Lucie Froehlicher à partir de la carte topographique de Géoportail

Caractéristiques historiques

D'après les données cartographiques anciennes, ce site est en prairie ou verger de manière continue depuis au moins 1760 (ADHR C1164/7). Il est répertorié en verger/pré en 1886 (Preuss. Geod. Institut Potsdam, 2006 1004178) (figure 5.7), en 1918 (BNUS, MCARTE554) (figure 5.8). Pour la période plus moderne, les photos aériennes (IGN) allant des années 1934 jusqu'à l'actuel témoignent aussi d'une occupation du sol de type vergers/prés. D'après le propriétaire du terrain, il y a eu récemment 2-3 ans de blé, et quelques années d'asperges. Ces cultures n'ont pas permis de mettre en place un horizon de labour, ni une semelle : la transition entre les horizons A et SC étant progressive, biologique, on peut en déduire que l'usage principal est bien resté la prairie. Notons d'ailleurs que ni les asperges ni les blés n'ont pu être de « grand champ », car ces cultures n'ont pas abouti à la coupe des arbres fruitiers, ceux-ci ayant pour les plus vieux au moins 40 ans.

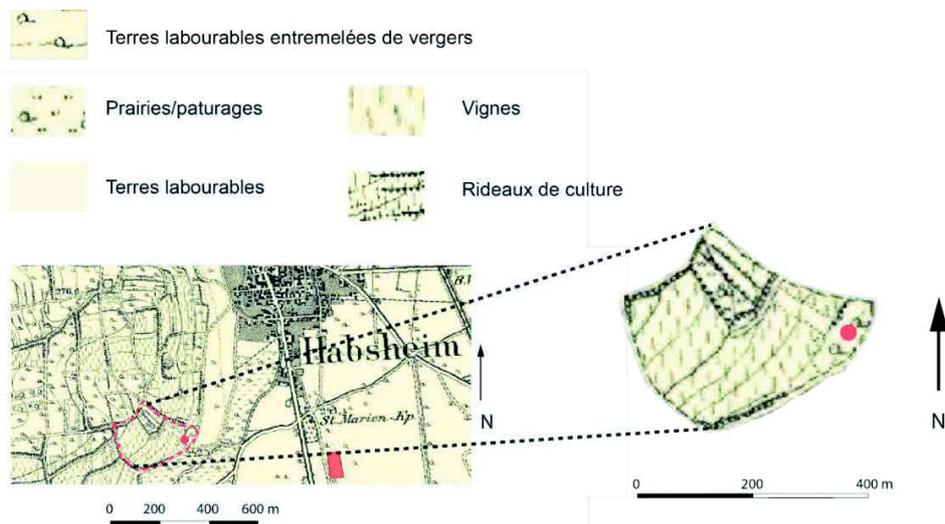


Figure 5.7: Localisation de la fosse de référence HABSREF sur une carte allemande de 1886 au sein d'une parcelle de vergers ;
Source : Preuss. Geod. Institut Potsdam, 2006 1004178, Mülhausen (Ost), 1/25 000, Berlin, Reichsmat für Landsaufnahme

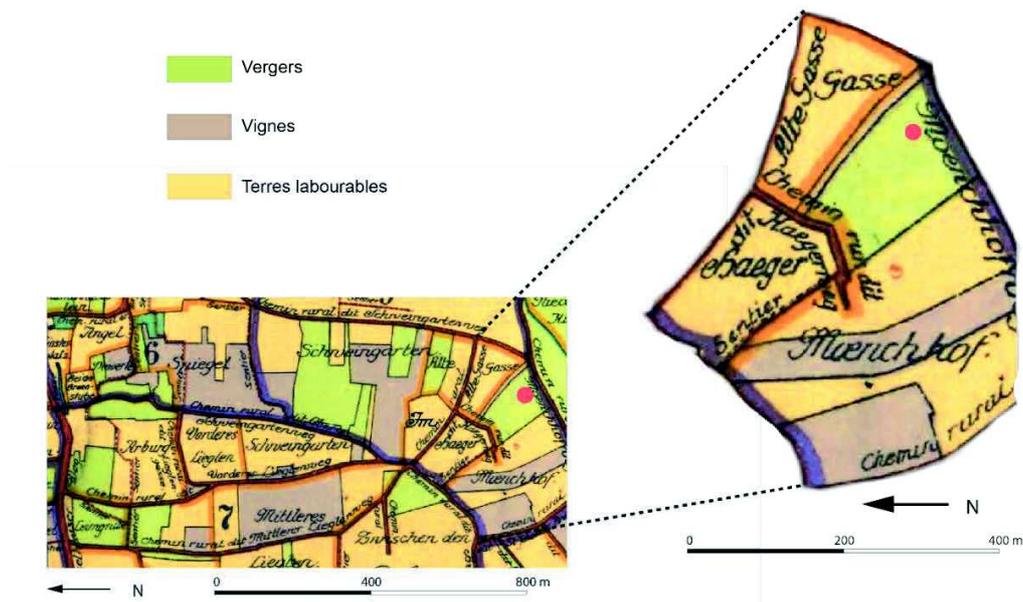


Figure 5.8 : Localisation de la fosse HABSREF(point rouge) sur un plan de 1918 ; Légende : En jaune, les terres labourables ; en violet, les vignes et en vert, les prés et vergers. Source : BNUS MCARTE554.

Caractéristiques géologiques et pédologiques

En sommet de parcelle le sol est quasiment complètement érodé. Il ne subsiste qu'un horizon A d'une vingtaine de centimètres au contact direct d'un horizon C, constitué par un grès arénisé. Par comparaison avec la carte géologique (figure 5.9) (Théobald, 1976), il s'agit d'un grès carbonaté micacé du Chattien (Oligocène supérieur). Cette érosion prouve, si besoin en est, que la parcelle a été cultivée dans un passé lointain. En bas de parcelle, notre sol de référence est épaissi par colluvionnement. Toutefois, le sol est stabilisé depuis au moins 250 ans par un couvert végétal prairial. Faute de mieux, nous avons décidé de le garder comme référence prairiale, même si tous les critères ne sont pas respectés. Il nous a été impossible de trouver un luvisol peu érodé occupé en permanence par de la prairie depuis au moins 250 ans.

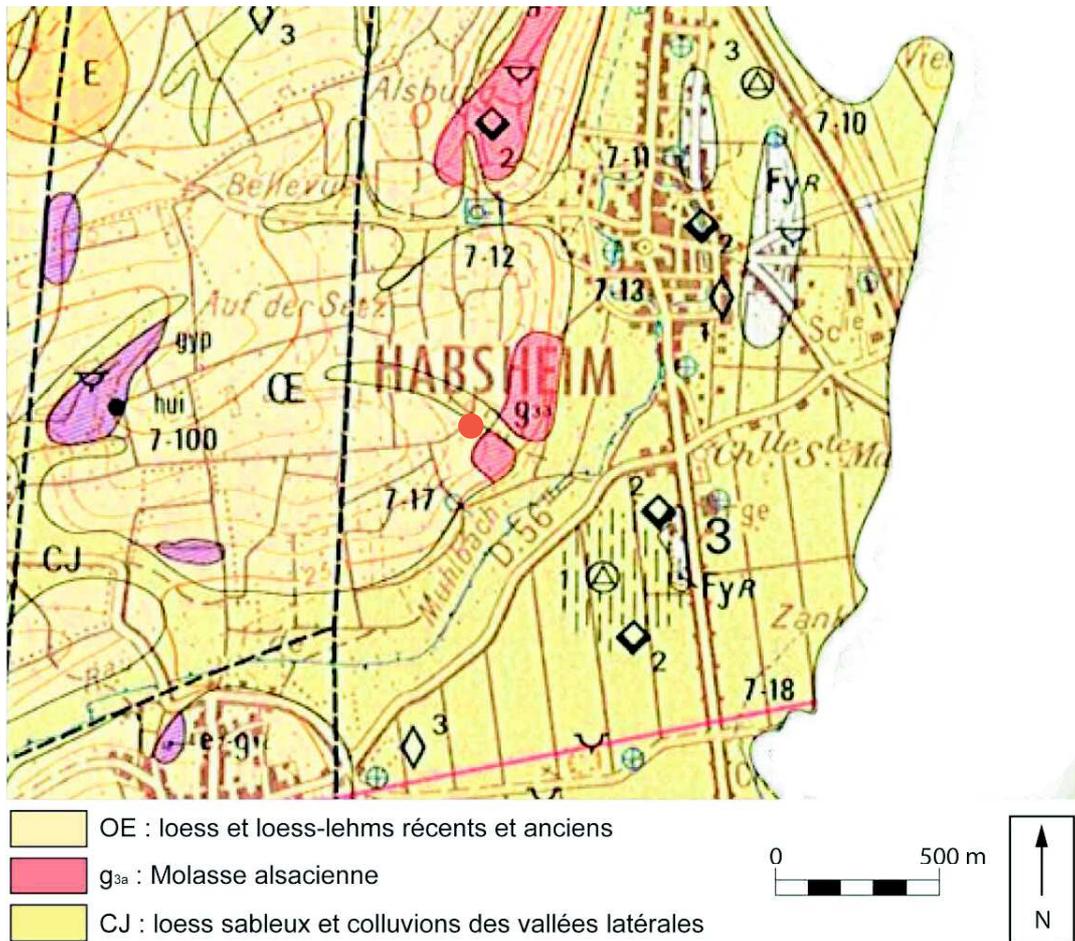


Figure 5.9 : Localisation de la fosse HABSREF sur l'extrait de la carte géologique de Mulhouse au 1/50 000, zoom sur la commune d'Habsheim ; source : Lucie Froehlicher d'après Théobald, 1976

5.2.2 Caractérisation des sols de haies fonctionnelles : 2 toposéquences

5.2.2.1 La toposéquence de HABSHEIM (HABS)

Cette toposéquence constitue le principal site d'application de notre thèse.

Localisation du site et environnement

Le site d'étude sélectionné est localisé à l'ouest de la commune d'Habsheim au sud-est de la ville de Mulhouse (Haut-Rhin) (figure 5.10).

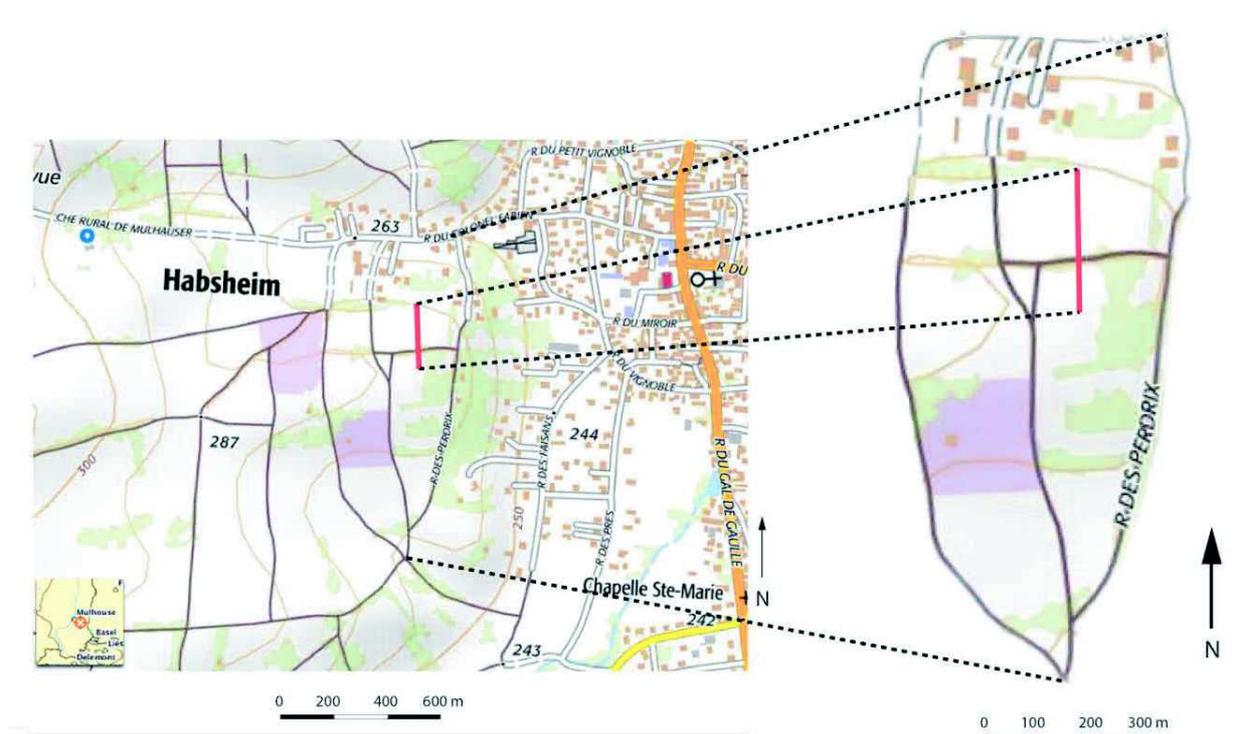


Figure 5.10 : Zoom sur la carte topographique de la commune d'Habsheim avec localisation de la toposéquence (trait rouge);

Source : Géoportail

Ce transect recoupe deux rideaux de culture. Le premier est situé entre la parcelle 148 et le chemin rural dit « *Liegenglasse* » et le deuxième entre les parcelles 50/51/52 et la parcelle 49. Le relevé topographique et le profil en long réalisés par Hubert Ortlieb pour ce travail de thèse permettent de caractériser ce transect (figure 5.11)

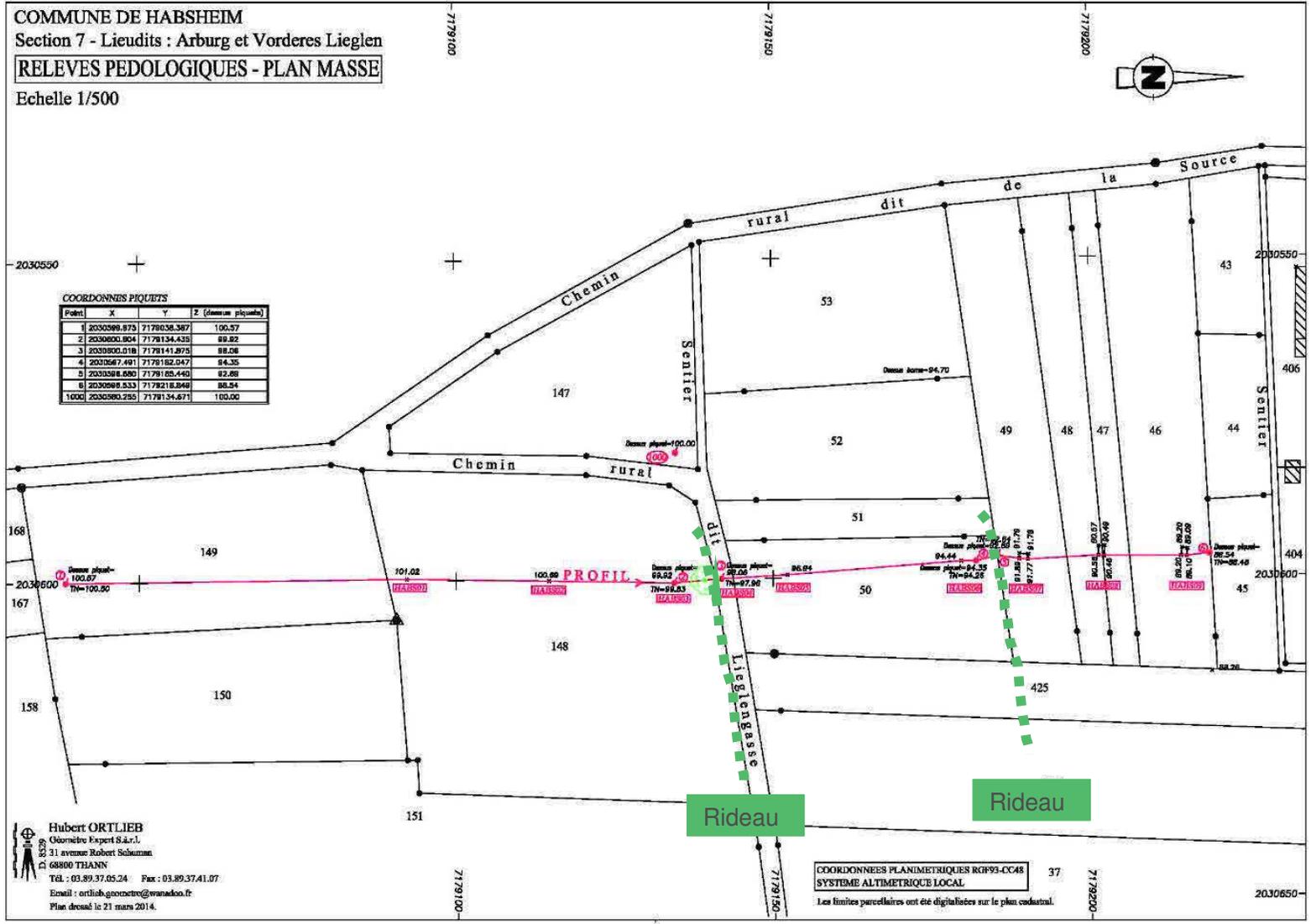


Figure 5.11 : Localisation du transect et des fosses ; Source: Hubert Ortlieb (Géomètre Expert)

La coupe topographique ci-dessous (figure 5.12), donne les valeurs de pentes pour l'ensemble du transect.

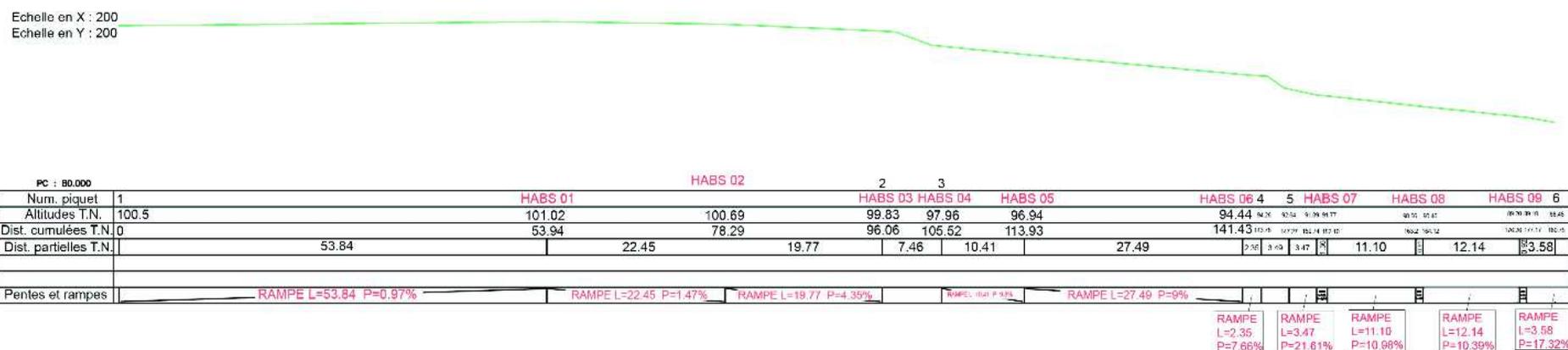


Figure 5.12 : Profil en long du transect d'étude ; Source : Hubert Ortlieb (Expert Géomètre)

Occupation du sol

L'occupation du sol consiste essentiellement en des parcelles agricoles, des prés de fauches et des parcelles viticoles. Les parcelles traversées par le transect sont uniquement des parcelles labourées ou anciennement labourées (à l'exclusion des parcelles centrales (n° 50, 51 et 52) placées depuis 2011 en MAET "gestion des prairies - zones herbagères ou d'érosion". Cette toposéquence traverse deux haies associées à des rideaux de cultures. De manière générale, la zone est très riche en rideaux de culture (figure 5.13).

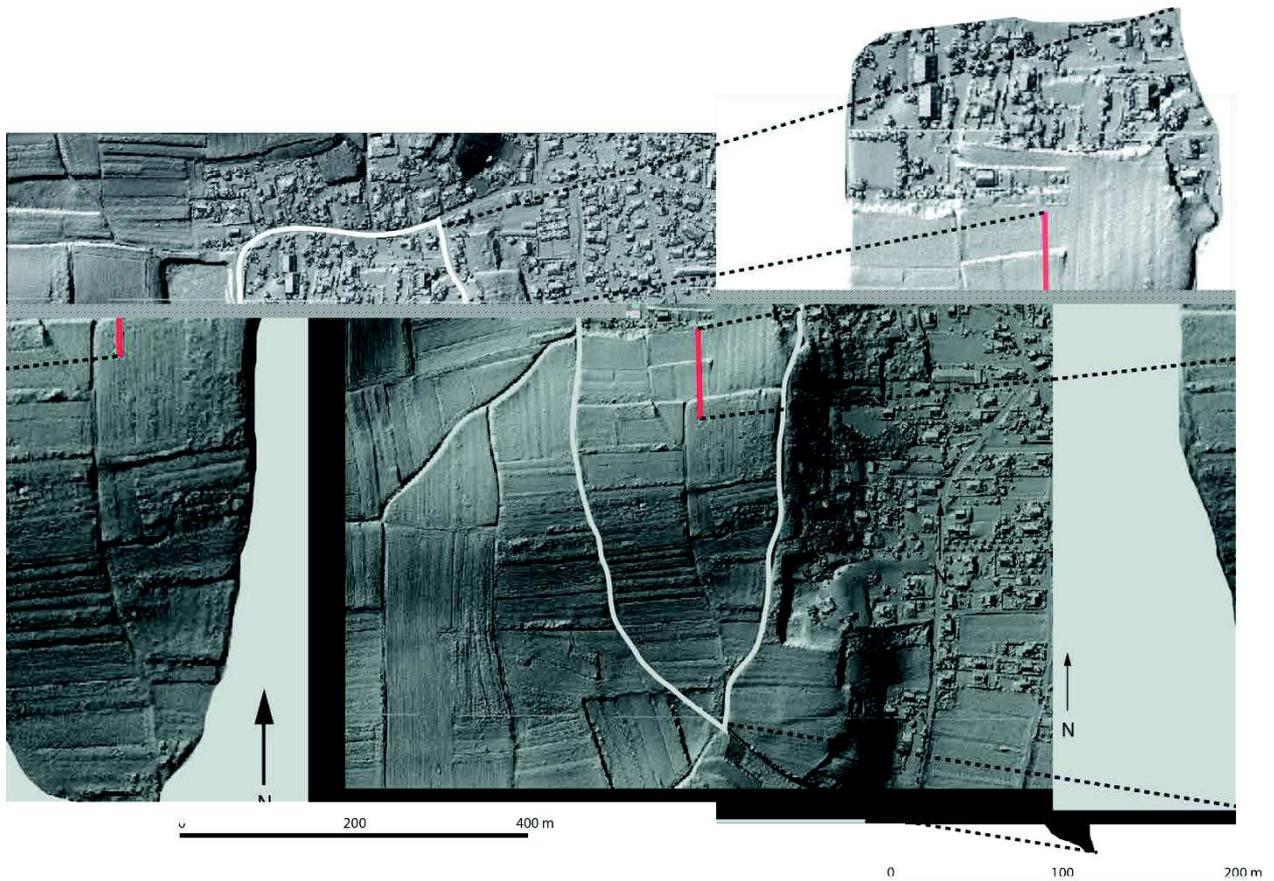


Figure 5.13 : Localisation du transect d'étude sur le LIDAR de la commune d'Habsheim ; Source : CG68

Caractéristiques géologiques & pédologiques

D'après la carte géologique de Mulhouse au 1/50000 (Théobald, 1976), le site d'étude est localisé dans les loëss et loëss-lehms anciens (figure 5.14).

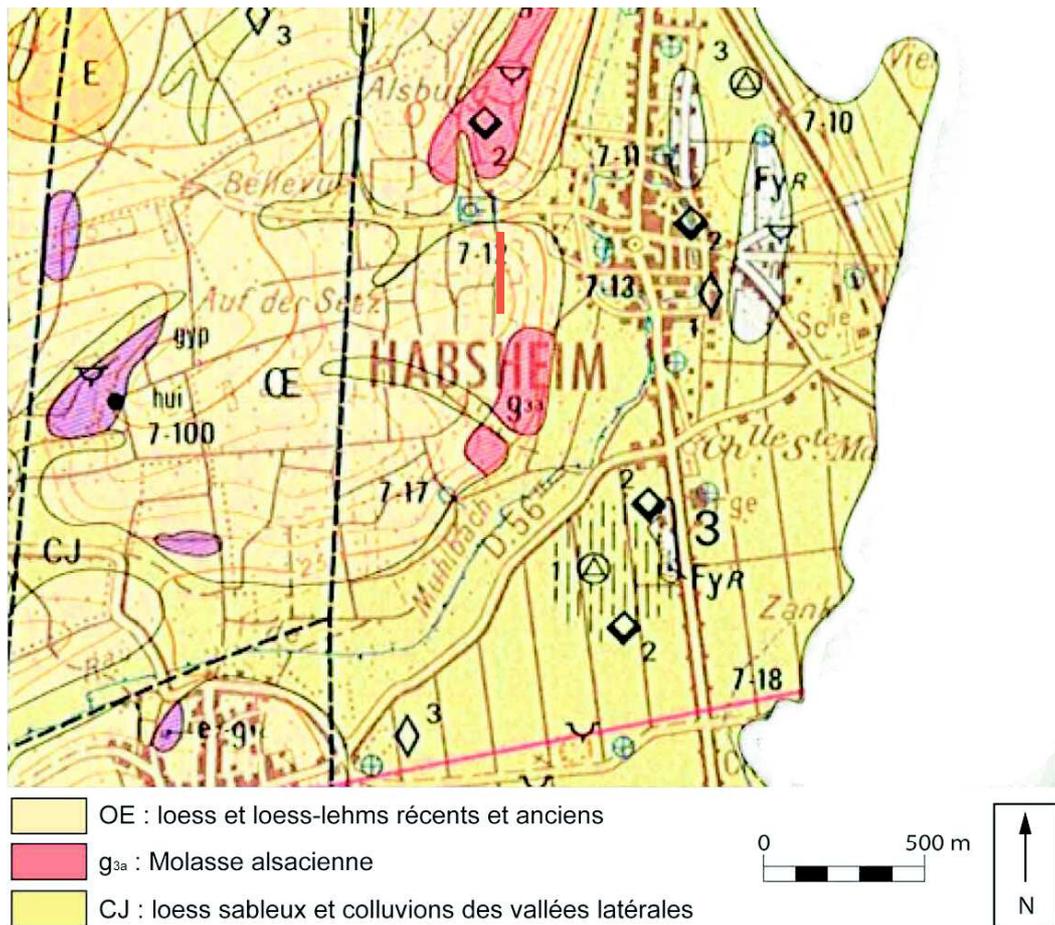


Figure 5.14: Localisation de la toposéquence HABS sur un extrait de la carte Géologique de Mulhouse au 1/50 000 ;
 Source : Lucie Froehlicher d'après Théobald, 1976

La carte du zonage agro-pédologique (Party, 1999), permet de localiser le site d'étude dans une zone où les sols sont limoneux calcaires profonds sur loess et lehm-loess.

Caractéristiques historiques

Les données géohistoriques concernant le site d'Habsheim permettent d'analyser l'occupation du sol de 1760 à l'actuel.

La première carte présentée ici, est un plan d'arpentage de 1760 (ADHR, C1164/7) (figure 5.15). En apparence la zone d'étude qui nous intéresse (nommée b et e sur le plan) est comptabilisée dans la classe « vignes ».

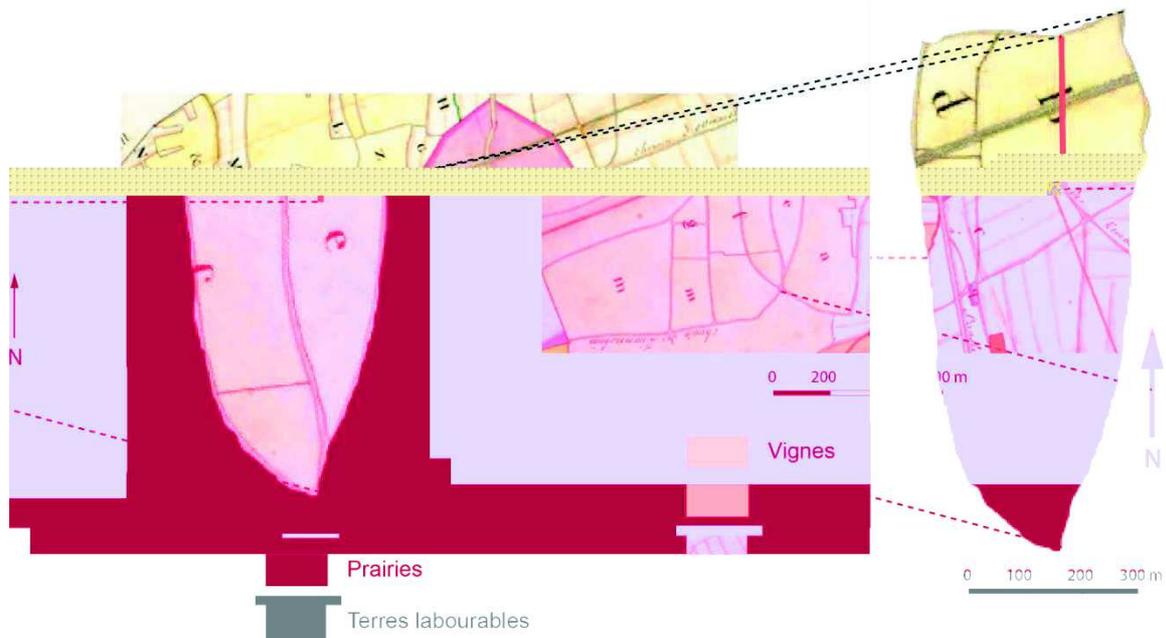


Figure 5.15 : Localisation du transect d'étude sur un extrait du plan d'arpentage de 1760 ;
Source : Archives Départementale Du Haut-Rhin C1164/7

La légende associée à la carte (tableau 5.1), précise qu'au sein du canton qui inclut les parcelles de notre toposéquence, des terres labourables viennent s'entremêler aux vignes, en occupation secondaire.

Tableau 5.1 : Légende associé au plan d'arpentage de 1760 ; Source : Archives départementale du Haut-Rhin

Parcelles	Lieux dits	Arpents	Perches
a	Im Tännerle und Schweingarten	19	94
b	Im Arbourg, entremêlé de terres labourables	6	59
d	In der Leimen Grub	1	72
e	In der Vorderen Lieglen	4	81
f	In den Oberen und Mittleren Lieglen	12	81
g	Im Feld Stuck	4	82
h	Im Vogler entremêlé de terres labourables	48	20
m	Sporrer, Pfanne Stiel und Zwischendörffleren entremêlé de terres labourables	43	58
n	Matthalter, hundkucke und Munchoff	61	5

La réalité en termes d'occupation du sol est donc différente de celle dessinée sur ce plan. La carte de l'état-major (1820-1866), ne donne quant à elle aucune information même grossière en termes d'occupation du sol. Seuls le parcellaire et la topographie du site sont représentés. La carte de 1883 (figure 5.16), permet quant à elle de donner une information sur le type d'occupation du sol. Ainsi, on reconnaît sur la zone d'étude, des terres labourables.

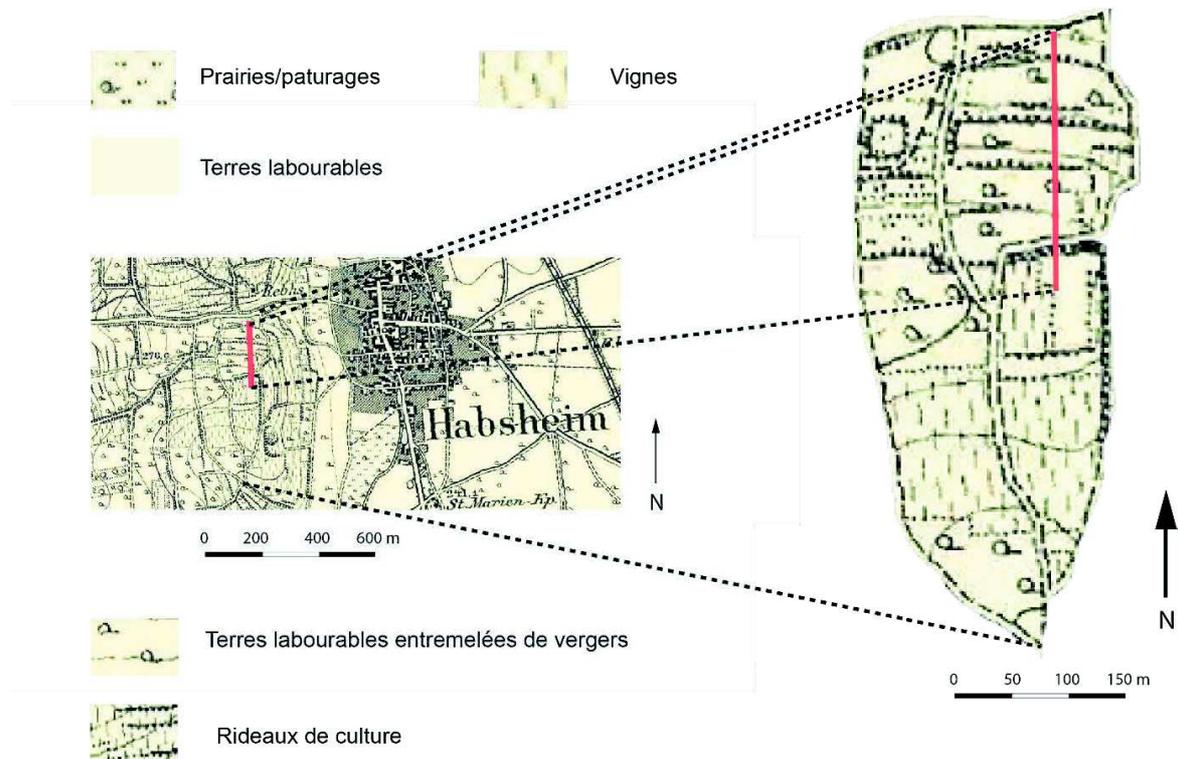


Figure 5.16 : Carte de 1883, Mulhausen Ost 3685, BNU, M Carte 1196-130

La carte suivante présente le plan d'assemblage de la commune d'Habsheim de 1918 (figure 5.17). Il décrit précisément le type d'occupation du sol. Ainsi, on reconnaît en violet les espaces viticoles, en vert les espaces de prairies et en jaune les terres cultivées. En comparaison avec les cartes précédentes, ce document est une base importante pour établir une cartographie fine de l'évolution de l'occupation du sol, sur la zone d'étude.

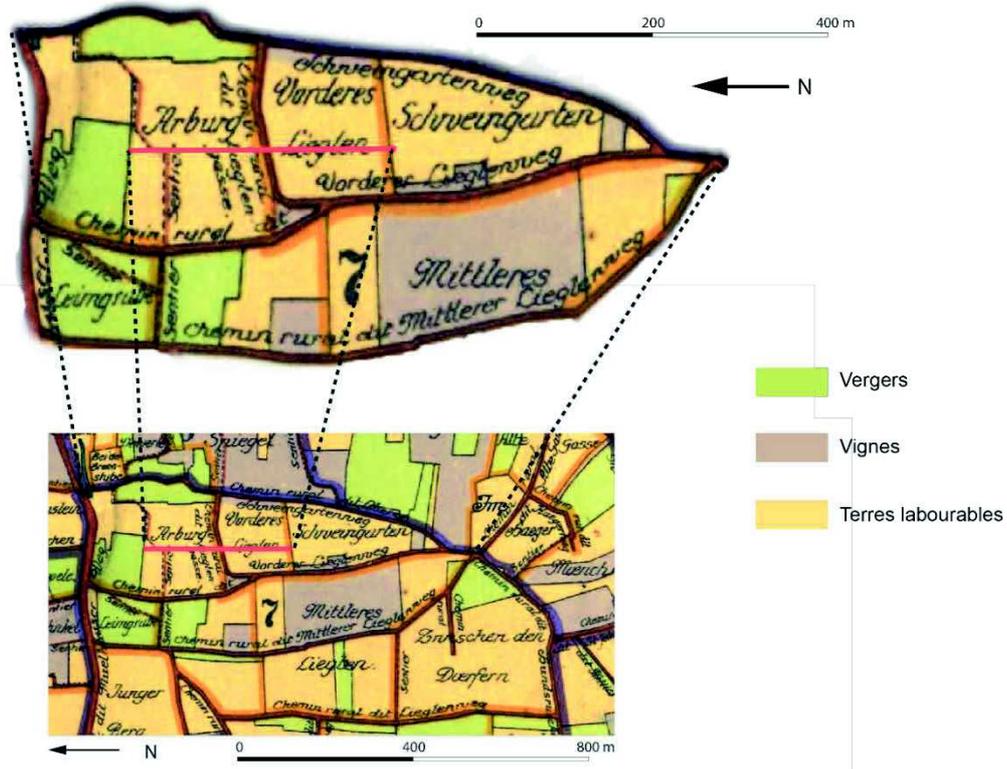


Figure 5.17 : Plan d'assemblage de la commune d'Habsheim avec localisation du transect en rouge, Edition :1918 ;
Source : BNUS M carte 554

La figure 5.18 synthétise l'ensemble des informations apportées par chacune des cartes et définit l'évolution des surfaces cultivées pour le transect d'étude. La carte permet d'établir un bilan sur cette évolution.

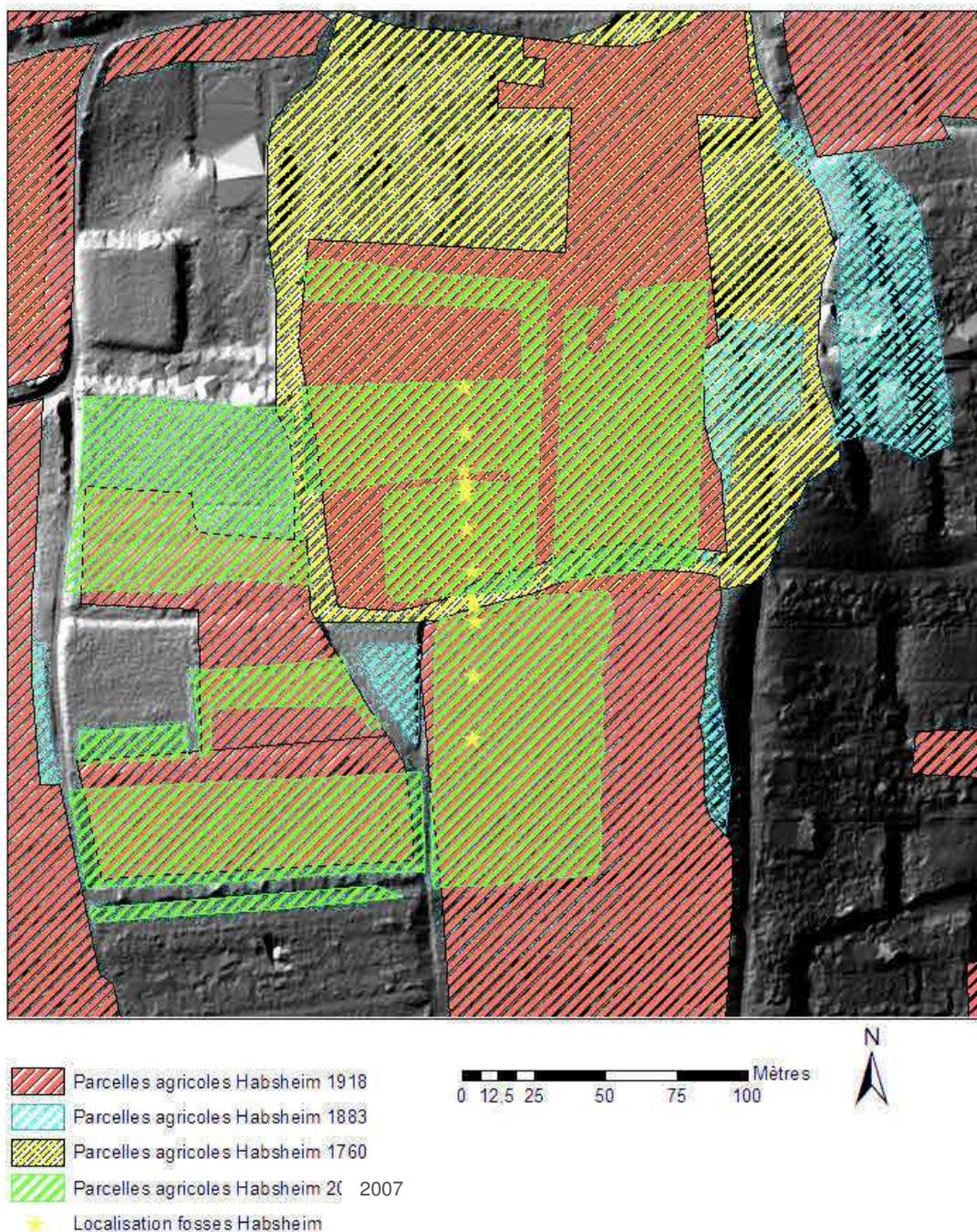


Figure 5.18 : Etat des surfaces cultivées (= terres labourables) à différentes époques autour du transect d'étude Sources : Carte de 1883, Mulhausen Ost 3685, BNU, M Carte 1196-130 ; Plan d'assemblage de la commune d'Habsheim, 1918, BNU M carte 554 ; Extrait du plan d'arpentage de 1760, Archives Départementale Du Haut-Rhin C1164/7 ; Orthophoto de 2007, CG68 ; Auteur carte : Lucie Froehlicher

Pour la période plus récente, de 1950 à l'actuel, l'analyse des photos aériennes IGN permet d'attester la présence de cultures sur la toposéquence.

La végétation des haies

L'étude floristique de cette toposéquence de référence a été réalisée par Quentin BOESCH, étudiant de biologie végétale le 12 avril 2014 dans le but de déterminer la composition floristique des haies et le pourcentage de recouvrement des espèces (figure 5.19).

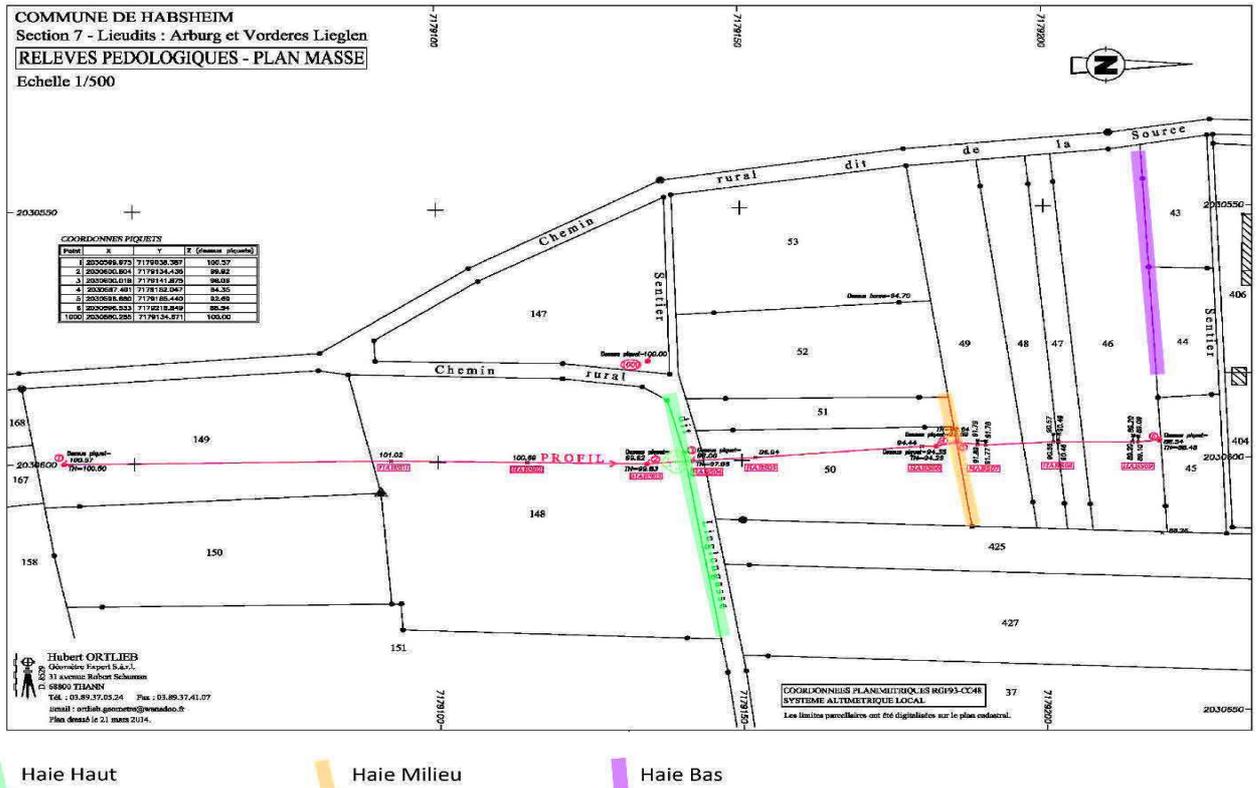


Figure 5.19 : Localisation des haies, Source: Plan de Hubert ORTLIEB (Géomètre Expert)

Le relevé a été fait à partir de la méthode des carrés 1x1m subdivisés en 25 cases de 0.040m² (figure 5.20).



Figure 5.20 : Cadre de 1 m X 1 m pour un relevé floristique; Source : Quentin BOESCH

Pour le relevé on effectue une projection verticale des différentes strates végétales. Le protocole consiste à poser un carré de prélèvement tous les 2 m dans la haie. On note les espèces présentes dans chacun des carrés et la surface qu'elles occupent. Chaque relevé est identifié par sa position en mètres à partir du bord de la haie et par un numéro.

Pour « Habs bas » le relevé s'est fait en bordure et au cœur de la haie, très large. Pour les autres haies, moins larges et plus homogènes, un seul relevé a été effectué.

Relevés botaniques du site d'Habsheim

La présentation des différents relevés botaniques des trois haies, suit un code couleur en fonction du type de végétaux. Ainsi, en vert sont représentées les plantes herbacées comme les Poacées, le lierre terrestre, etc... En rouge, sont représentés les arbres et les ligneux dont la hauteur est supérieure à 5 m comme le noyer, le cerisier, le frêne, l'érable... En orange, on note les arbustes et les ligneux inférieurs à 5 m comme l'aubépine, le prunier, le cornouiller, le fusain, le chèvrefeuille des haies, les ronces, le groseillier... Enfin, en jaune sont représentés les lianes et les ligneux grimpants comme le lierre, la clématite, la vigne et le houblon.

Les graphiques décrivant la composition de la haie du haut « HABS HAUT » (figure 5.21), mettent en évidence la prépondérance de certaines espèces (de 25 à 60 %) : Le lierre (*Hedera helix*), le frêne commun (*Fraxinus excelsior*), le noyer royal (*Juglans regia*), les Poacées, le prunier (*Prunus domestica*) et la ronce des bois (*Rubus fruticosus*). D'autres espèces comme le cornouiller sanguin (*Cornus sanguinea*), l'ortie dioïque (*Urtica dioica*), la benoîte commune (*Geum urbanum*), le cerisier (*Prunus cerasus*), le solidage (*Solidago* sp.) et le sureau noir (*Sambucus nigra*) sont moins abondants (de 5 à 25 %). Enfin, les espèces présentant l'abondance la plus faible (< 5 %) sont la clématite vigne blanche (*Clematis vitalba*), la ronce bleuâtre (*Rubus caesius*), la ficaire fausse-renoncule (*Ranunculus ficaria*), le fusain d'Europe (*Euonymus europaeus*), la lysimaque nummulaire (*Lysimachia nummularia*), la vigne (*Vitis* sp), le gaillet gratteron (*Galium aparine*), le fraisier des bois (*Fragaria vesca*), la berce des prés (*Heracleum sphondylium*), le pissenlit (*Taraxacum sphondylium*), la bryone dioïque (*Bryonia monogyna*), l'aubépine à un style (*Crataegus monogyna*), et le lierre terrestre (*Glechoma hederacea*).

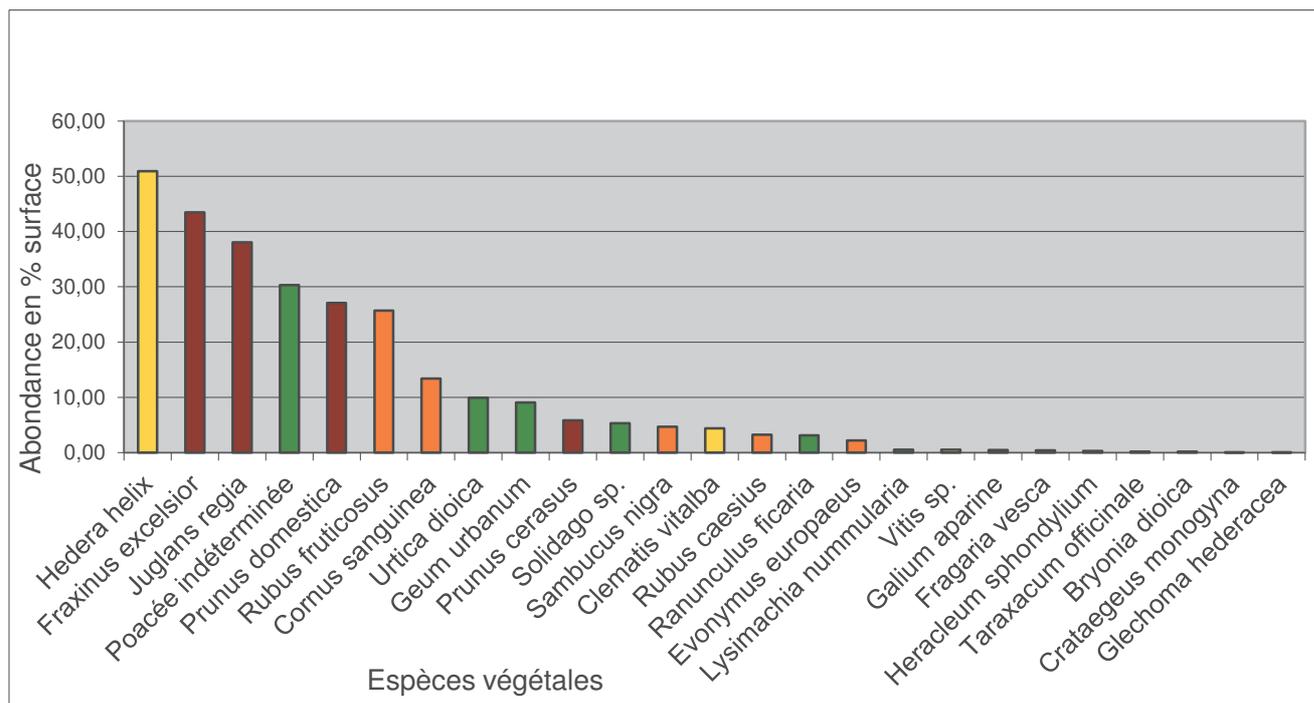


Figure 5.21 : Abondance des végétaux de la haie HABS HAUT ; Source : Quentin BOESCH

Dans la haie du milieu, « HABS MILIEU » (figure 5.22), les espèces présentant un recouvrement important (de 25 à 50 %) sont sensiblement les mêmes que dans « HABS HAUT ». En effet, les Poacées, le prunier et le lierre sont abondants. Le cornouiller sanguin (*Cornus sanguinea*), moins abondant dans la haie du haut est beaucoup plus présent ici. Pour celles qui sont moins abondantes (de 5 à 25 %), des espèces déjà reconnues dans la haie du haut sont identifiées, comme la ronce bleuâtre (*Rubus caesius*), l'ortie dioïque (*Urtica dioica*), le gaillet gratteron (*Galium aparine*) et le frêne commun (*Fraxinus excelsior*). Pour les espèces peu abondantes (< 5 %), on retrouve la benoîte commune (*Geum urbanum*), le fusain d'Europe (*Euonymus europaeus*), le lierre terrestre (*Glechoma hederacea*), le cerisier (*Cerasus*), l'aubépine à un style (*Crataegus monogyna*), la berce des prés (*Heracleum sphondylium*), le noyer royal (*Juglans regia*), la vigne (*Vitis* sp.), le solidage (*Solidago* sp.), la lysimaque nummulaire (*Lysimachia nummularia*). De nouvelles espèces apparaissent comme le framboisier (*Rubus idaeus*), la calamagrostide (*Calamagrostis* sp.), le géranium Herbe à Robert (*Geranium robertianum*), le lamier tacheté (*Lamium maculatum*), la véronique à feuilles

de lierre (*Veronica hederifolia*), l'épiaire des forêts (*Stachys sylvatica*), l'orpin reprise (*Sedum telephium*) et la Lampsane (*Lapsana communis*).

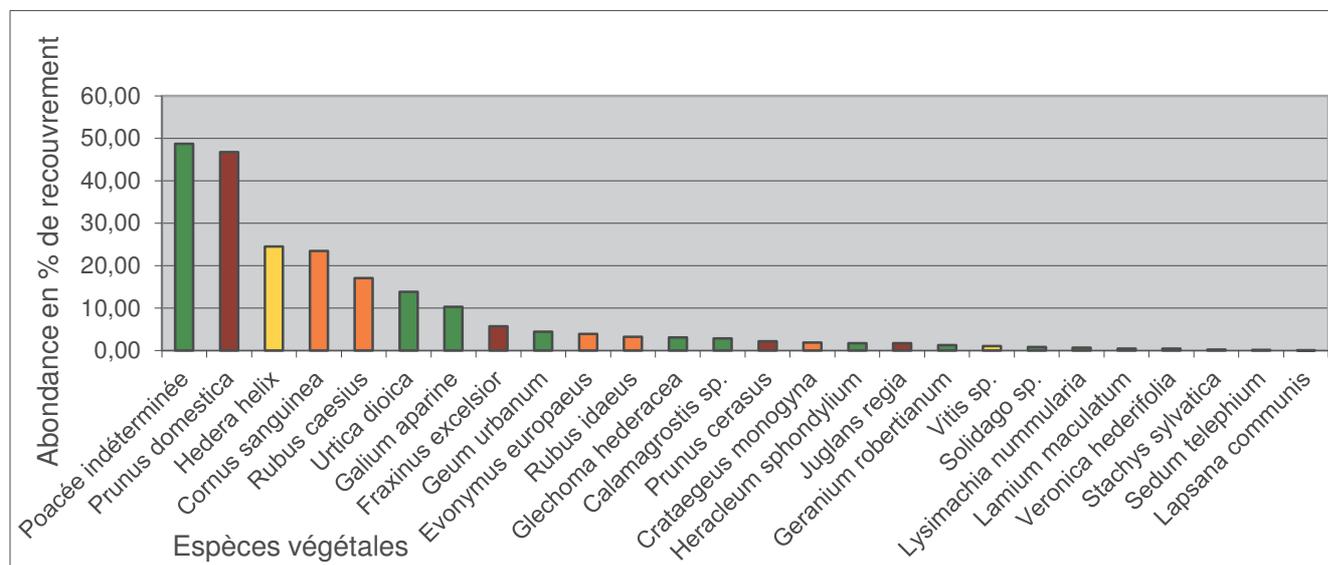


Figure 5.22: Abondance des végétaux de la haie HABS MILIEU ; Source : Quentin BOESCH

Les espèces les plus abondantes pour la haie du bas (HABS BAS) (figure 5.23) (de 25 à 75 %) sont des espèces déjà identifiées dans les haies du haut et du milieu. Il s'agit du lierre (*Hedera helix*), de l'aubépine à un style (*Crataegus monogyna*) et du noyer royal (*Juglans regia*). Les espèces moins abondantes (5 à 25 %) regroupent le cornouiller sanguin (*Cornus sanguinea*), le fusain d'Europe (*Euonymus europaeus*), le sureau noir (*Sambucus nigra*), le noisetier (*Corylus avellana*), le prunier (*Prunus domestica*), le cerisier (*Prunus cerasus*), le gaillet gratteron (*Galium aparine*) et la ronce bleuâtre (*Rubus caesius*). Pour les espèces les moins abondantes (< 5 %), on retrouve le troène vulgaire (*Ligustrum vulgare*), le frêne (*Fraxinus excelsior*), la ronce des bois (*Rubus fruticosus*), les Poacées qui pourtant étaient classées dans les espèces les plus abondantes dans les haies du haut et du milieu, le brome stérile (*Bromus sterilis*), le groseillier (*Ribes rubrum*), l'épiaire des forêts (*Stachys sylvatica*), le solidage (*Solidago* sp.), la benoîte commune (*Geum urbanum*), le sceau de Salomon (*Polygonatum multiflorum*), la chélideine (*Chelidonium majus*), la bryone dioïque (*Bryonia dioica*), la véronique à feuilles de lierre (*Veronica hederifolia*), un ail (*Alium* sp.), l'érable sycomore (*Acer pseudoplatanus*), le lamier tacheté (*Lamium maculatum*), le dactyle aggloméré (*Dactylus glomerata*), le géranium Herbe à Robert (*Geranium robertianum*), le pissenlit (*Taraxacum officinale*), le chèvrefeuille des haies (*Lonicera xylosteum*), le

compagnon blanc (*Silene pratensis*), le lierre terrestre (*Glechoma hederacea*) et la lysimaque nummulaire (*Lysimachia nummularia*).

En comparaison avec les deux premières haies, cette dernière semble différente, tant au niveau de la variété des espèces que pour le pourcentage de recouvrement.

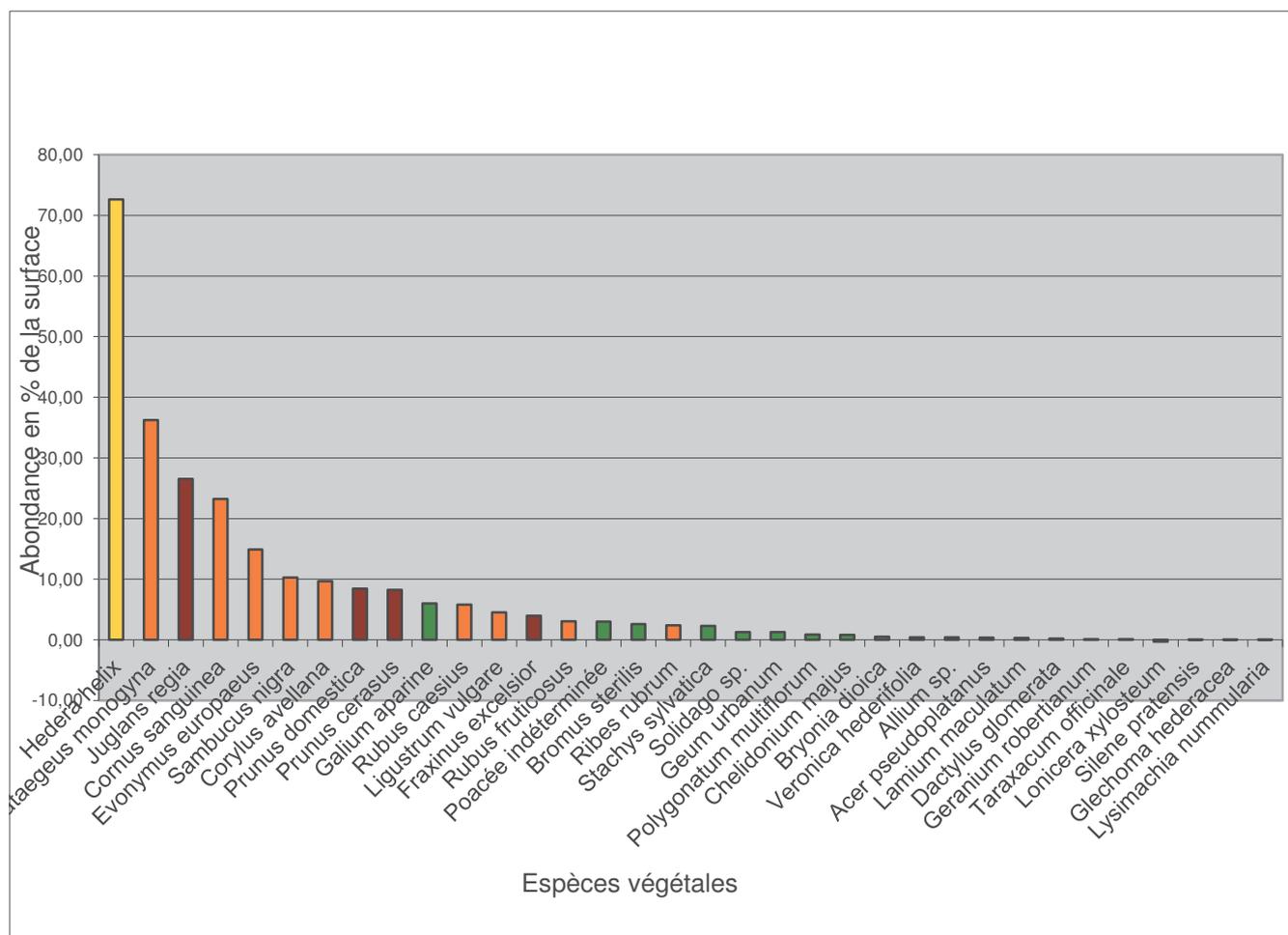


Figure 5.23 : Abondance des végétaux de la haie HABS BAS ; Source : Quentin BOESCH

La description de la végétation des haies met en évidence une certaine diversité à la fois intra et inter-haie. Différents facteurs peuvent l'expliquer (Quentin BOESCH, comm. orale) :

- facteurs historiques : l'histoire de la haie et des pratiques culturelles alentour, peut expliquer la présence de vigne et groseillier probablement échappés des cultures...
- facteurs écologiques : en l'occurrence le substrat est identique mais l'ombre portée, l'humidité peuvent varier et expliquer la présence/absence d'espèces qui ont des préférences différentes.

- facteurs sols : En fonction du type de sols et de leur richesse en minéraux etc., on ne retrouve pas les mêmes espèces : exemple de l'ortie et du sureau qui sont des espèces nitrophiles c'est-à-dire qui aiment les sols riches en azote.
- facteur luminosité : les plantes héliophiles ne se retrouvent pas au sein d'une haie si elle est trop épaisse. A l'inverse certaines plantes de mi-ombre ne se retrouvent que si la haie est relativement épaisse (ex : *Lamium maculatum*).
- âge de la haie et stade de la succession écologique : si la haie est abandonnée ou n'est plus entretenue, les espèces ligneuses tendent à remplacer les espèces herbacées. Ainsi, HABS MILIEU est une haie entretenue avec beaucoup de Poacées ; à l'inverse HABS BAS, très dense, n'est plus entretenue et les herbacées sont absentes du cœur.

5.2.2.2 La toposéquence de UFFHEIM (UFF)

Localisation du site et environnement

Le site d'étude se trouve au nord de la commune de Uffheim en zone agricole (Haut-Rhin/68, 47°39'20.63"N 7°26'34.42"E / 288 m d'altitude) (figure 5.24). Il est localisé sur une colline aux pentes très variables selon le versant et la position.

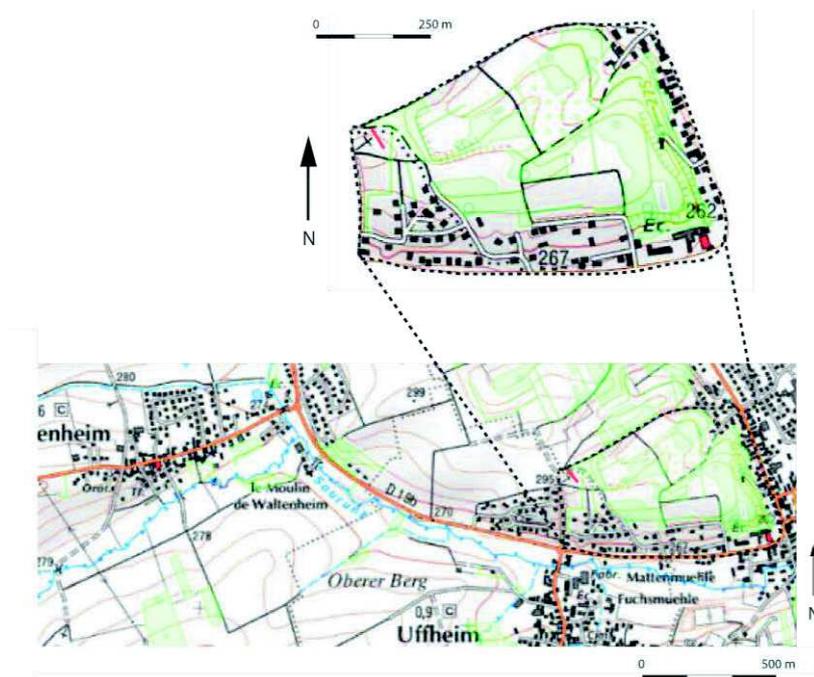


Figure 5.24 : Localisation de la toposéquence de Uffheim (trait rouge) ; Source : Géoportail

Occupation du sol

Les paysages agraires sont largement dominants dans la zone : vergers, prés, champs se partagent l'espace. Les rideaux de cultures observés constituent un indice sur le passé agricole. Ils témoignent de la grande extension des labours.

De nombreux rideaux de cultures ou haies sont encore présents sur l'ensemble de la colline, comme le révèle le LIDAR (figure 5.25). Ils sont perpendiculaires à la pente, ont des formes différentes (haies simples, doubles,...). La haie associée à la toposéquence est une haie double.

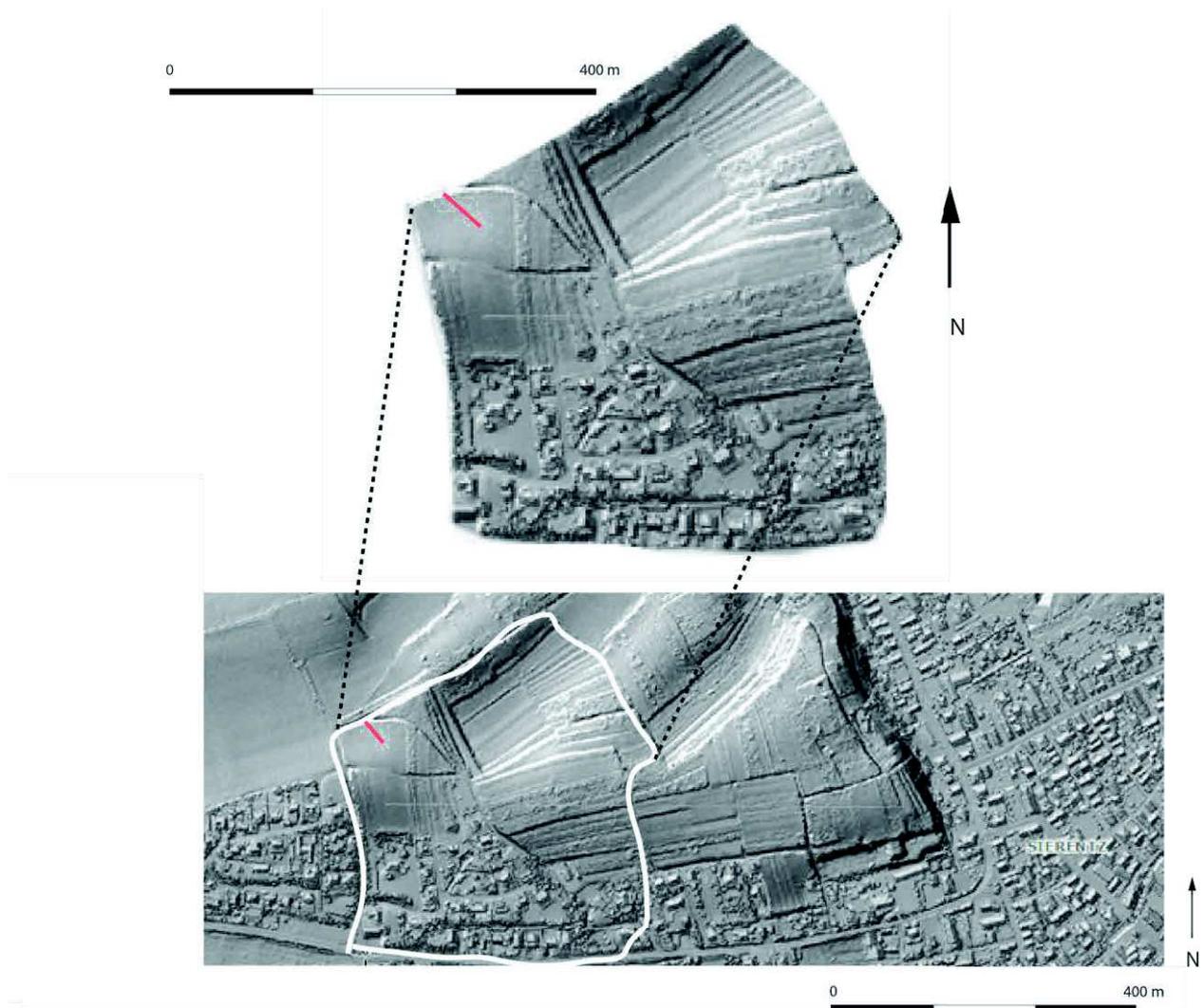


Figure 5.25 : LIDAR du secteur de Uffheim/Sierentz (68) avec localisation du site d'étude « UFF »; Source : Géoportail

Caractéristiques géologiques & pédologiques

Le site se caractérise par des limons loessiques récents (a^{1l}) sur la majorité de la zone (sommet et milieu de pente). Les bas de pentes présentent des loess et « lehms » anciens (a^{1le}), des alluvions anciennes de hautes terrasses (a^{1c}) ou encore des Marnes à Cyrènes et Molasse alsacienne du Stampien supérieur (Chattien inférieur) (O^{3a}) (Figure 5.26).

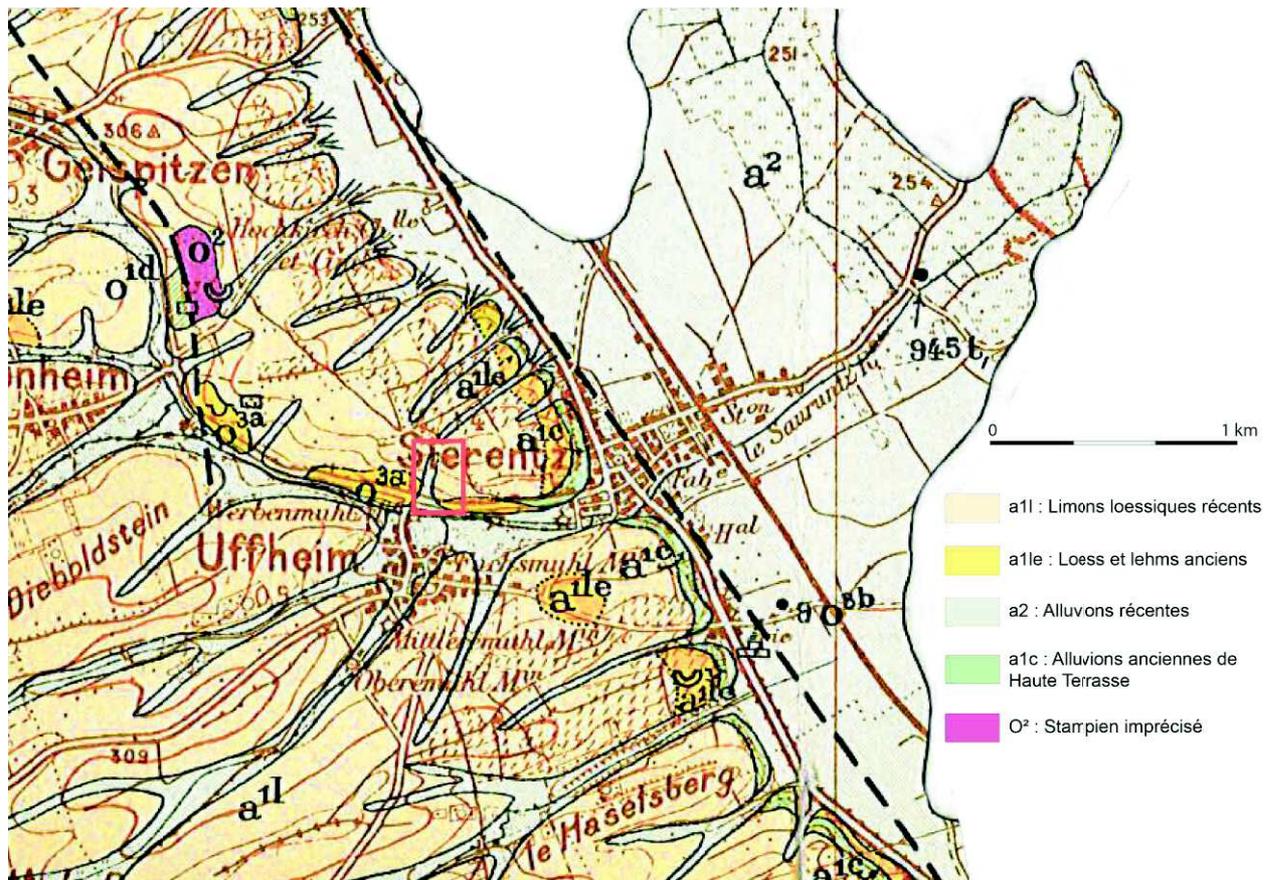


Figure 5.26: Extrait de la carte géologique de Altkirch-Huningue (1/50000) ; Source : Théobald, 1950

La phase de prospection de cette zone d'étude a permis de valider les informations de la carte géologique (Théobald, 1958) et la carte du zonage agro-pédologique (Party, 2001). D'après celle-ci, on se situe dans une zone collinaire avec des sols de limon calcaire, érodé des collines loessiques, ainsi que des fonds de vallons humides associés à des limons argileux, calcaires, profonds, hydromorphes, provenant des collines loessiques.

Caractéristiques historiques

Le site d'étude est localisé pratiquement à la limite de la commune de Sierentz, c'est pourquoi pour l'approche historique nous travaillerons sur les données des deux communes de Sierentz et Uffheim afin de préciser le contexte environnemental de la toposéquence. Ainsi, la première carte (figure 5.27) correspond à la fusion des plans d'arpentage de la commune d'Uffheim et de Sierentz. Le détail des légendes associées à ces plans place la parcelle retenue en zone de vigne avec l'annotation suivante « 26 : *Nider Gelis Acker* entremêlés de terres labourables » (ADHR C1175/12). On observe au nord de la parcelle un chemin toujours existant, bordé de haies aujourd'hui, mais dont la présence n'est pas signalée à l'époque (cas général sur les plans de finage).

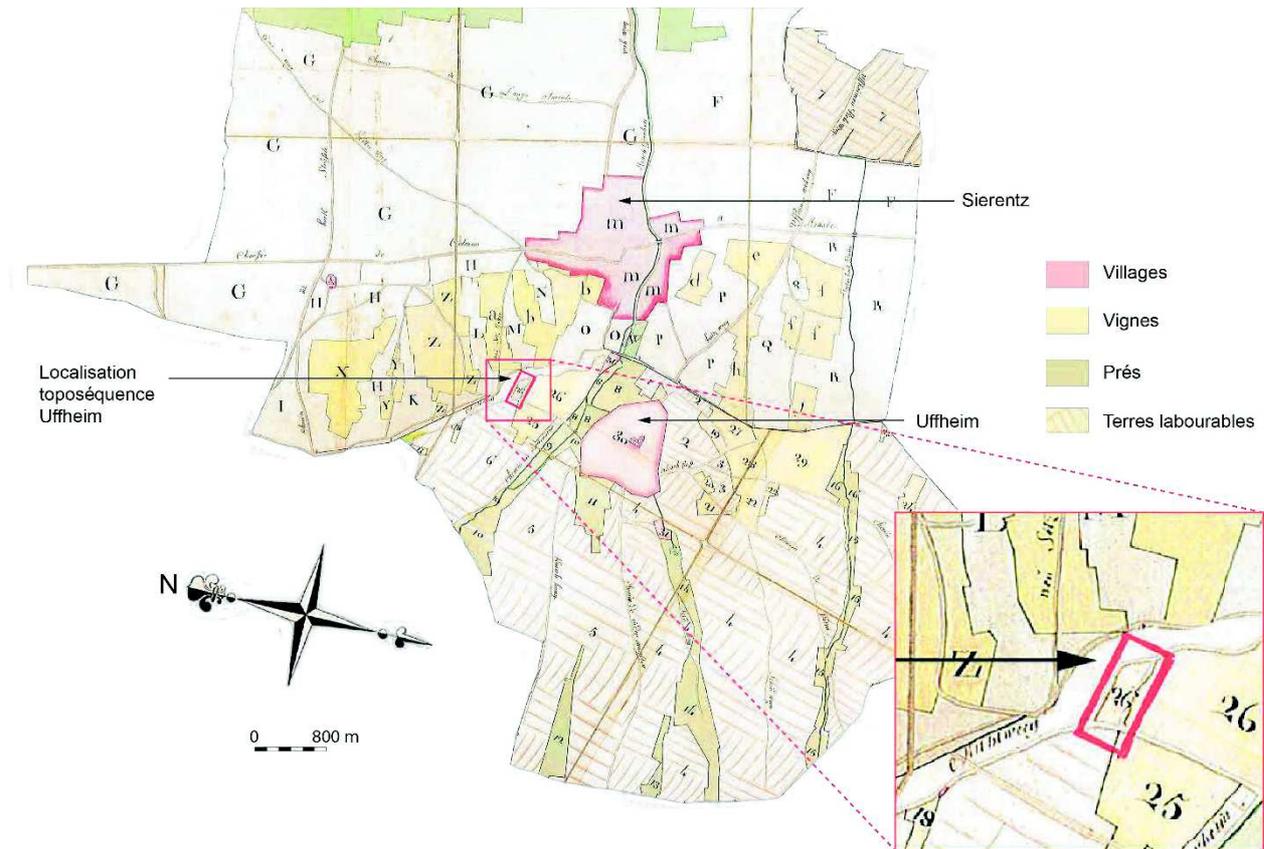


Figure 5.27 : Fusion du plan d'arpentage de Uffheim et de Sierentz et localisation de la parcelle d'étude ;

Source : ADHR, C1175/12 ; ADHR, C1173/18

La végétation des haies

La végétation a également été étudiée par Quentin Boesch en avril 2014. Les conditions et les caractéristiques du relevé sont exactement les mêmes que pour Habsheim. La seule différence ici est qu'on étudie une haie double. Les relevés ont donc été réalisés en séparant la haie double en deux secteurs « UFF SUD » et « UFF NORD » (figure 5.28).

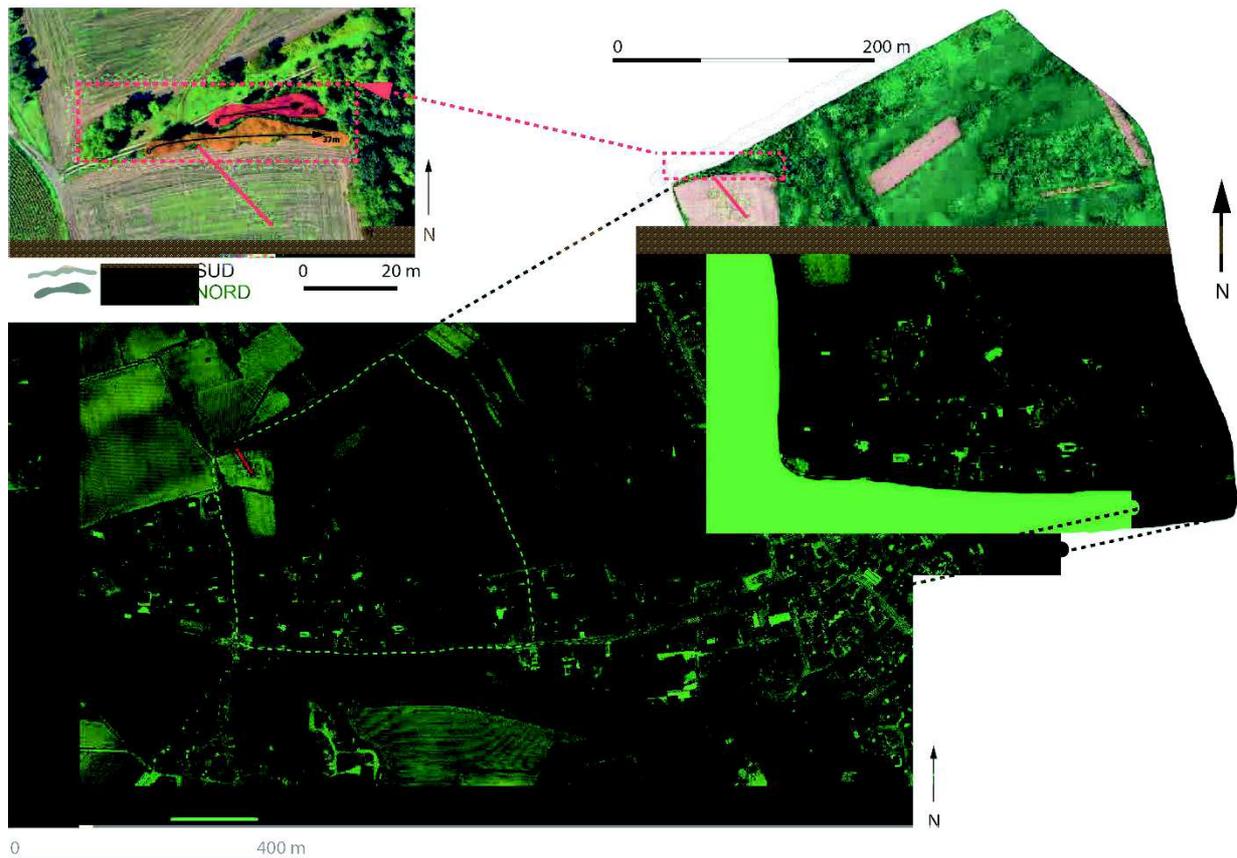


Figure 5.28 : Photo aérienne de la parcelle d'étude de Uffheim : UFF ; Source : Google Earth

Le résultat de cette caractérisation est présenté dans les deux graphiques *infra* (figures 5.29 et 5.30). Bien que très proches spatialement, ces deux haies ont une composition et une abondance floristiques bien différentes. Pour UFF SUD, les espèces majoritaires ($\geq 50\%$) sont le prunellier (*Prunus spinosa*) et le lierre grimpant (*Hedera helix*). D'autres espèces comme le noyer commun (*Juglans regia*), le lamier maculé (*Lamium maculatum*) et le cerisier acide (*Prunus cerasus*) sont elles aussi bien représentées (entre 20 et 50 %). Enfin, d'autres espèces comme la grande ortie (*Urtica dioica*), les Poacées et le cornouiller sanguin (*Cornus sanguinea*) ont une abondance comprise entre 10 et 20 %. Sous 10 %, on dénombrera 28 espèces différentes comme le gaillet gratteron (*Galium aparine*), le sureau noir (*Sambucus nigra*), la benoîte commune (*Geum urbanum*), le cerfeuil sauvage (*Anthriscus sylvestris*), la clématite des haies (*Clematis vitalba*), l'érable plane (*Acer platanooides*), la vesce commune (*Vicia sativa*), etc.

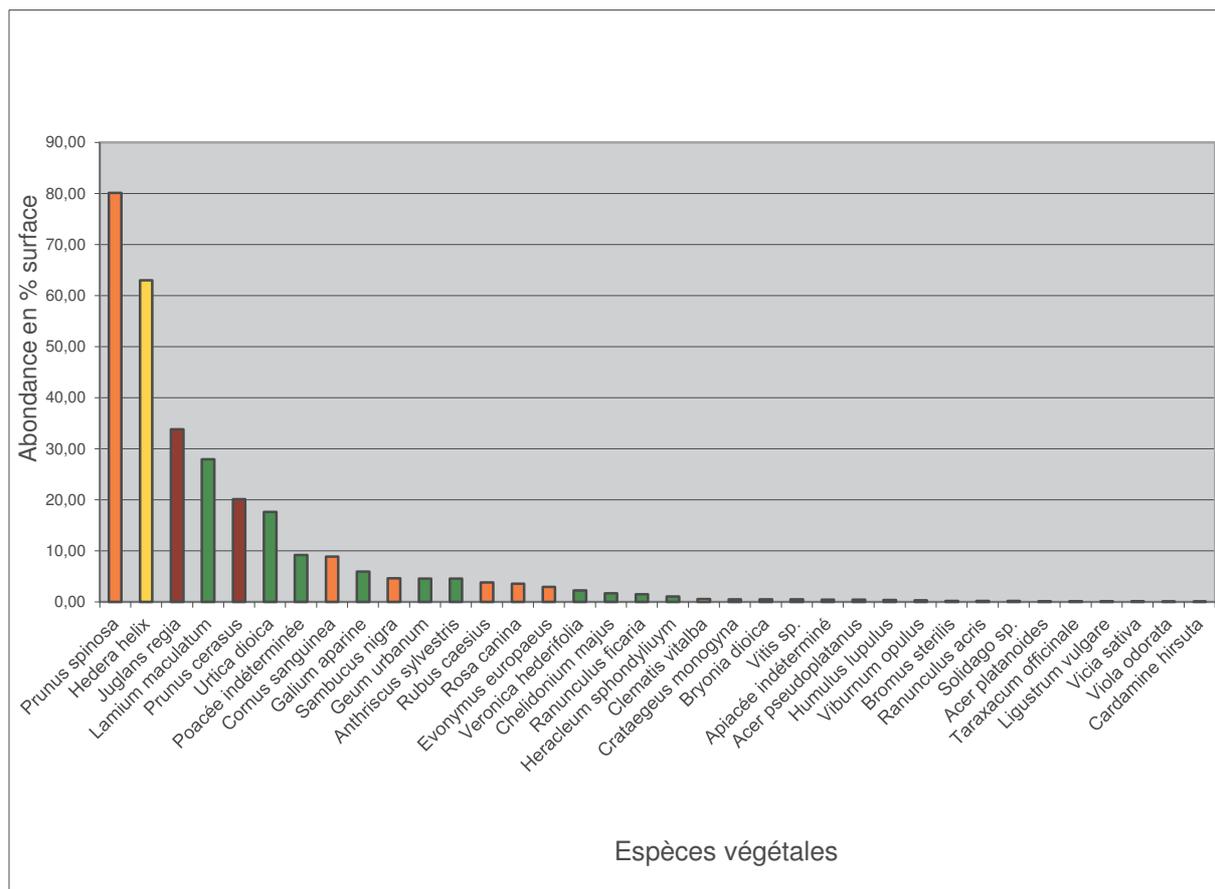


Figure 5.29 : Abondance des végétaux de la haie UFF SUD ; Source : Quentin Boesch

Le cortège floristique de UFF NORD est caractérisé par des abondances différentes. Les espèces majoritaires ($\geq 50\%$) sont représentées uniquement par le cornouiller sanguin (*Cornus sanguinea*). Les espèces un peu moins bien représentées mais tout de même nombreuses (entre 20 et 50 %) sont le lierre (*Hedera helix*), les Poacées et le solidage du Canada (*Solidago* sp.). Pour les abondances comprises entre 10 et 20 %, on note l'érable sycomore (*Acer pseudoplatanus*), le prunier (*Prunus domestica*) et le fusain d'Europe (*Evonymus europaeus*). Sous 10 %, on dénombre seulement 15 espèces comme le noyer royal (*Juglans regia*), l'aubépine (*Crataegeus monogyna*), le prunellier (*Prunus spinosa*), la benoîte commune (*Geum urbanum*), le fraisier des bois (*Fragaria vesca*), le cerisier (*Prunus cerasus*), l'églantier (*Rosa canina*), la violette odorante (*Viola odorata*), etc.

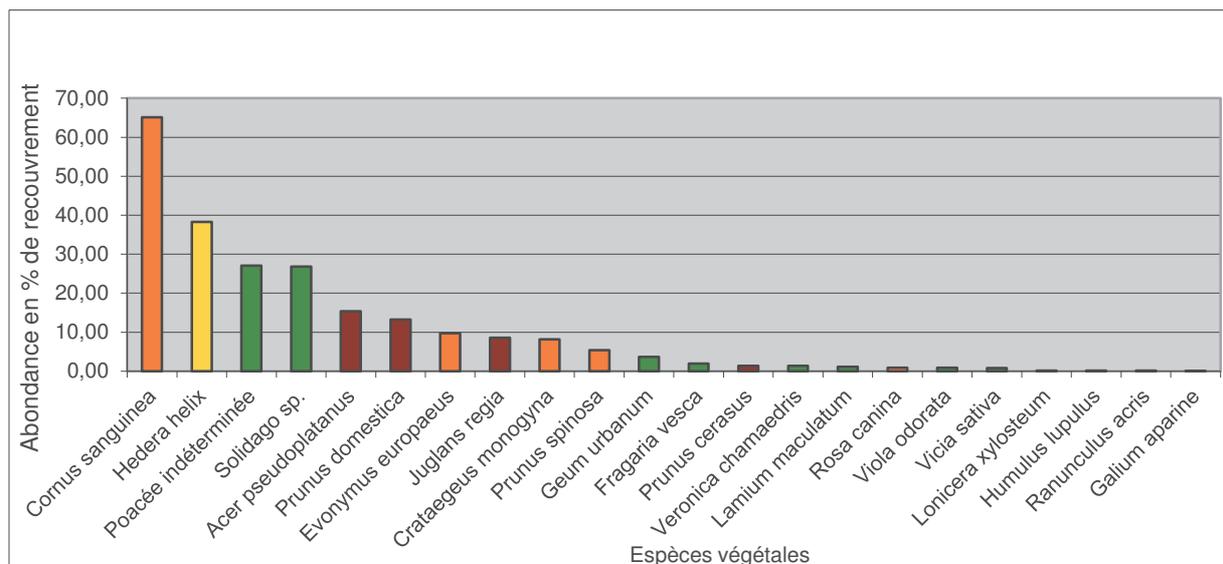


Figure 5.30 : Abondance des végétaux de la haie UFF NORD ; Source : Quentin Boesch

5.2.3 Caractérisation des sols avec dégradation des rideaux de cultures : La toposéquence CIG de HABSHEIM

Localisation du site et environnement

La toposéquence CIG est située dans la commune de HABSHEIM (68) (figure 5.31). Elle est parallèle à la toposéquence HABS dont elle est séparée par une trentaine de mètres. Elle mesure une vingtaine de mètres de long et traverse un champ, occupé par du maïs au moment de l'étude.

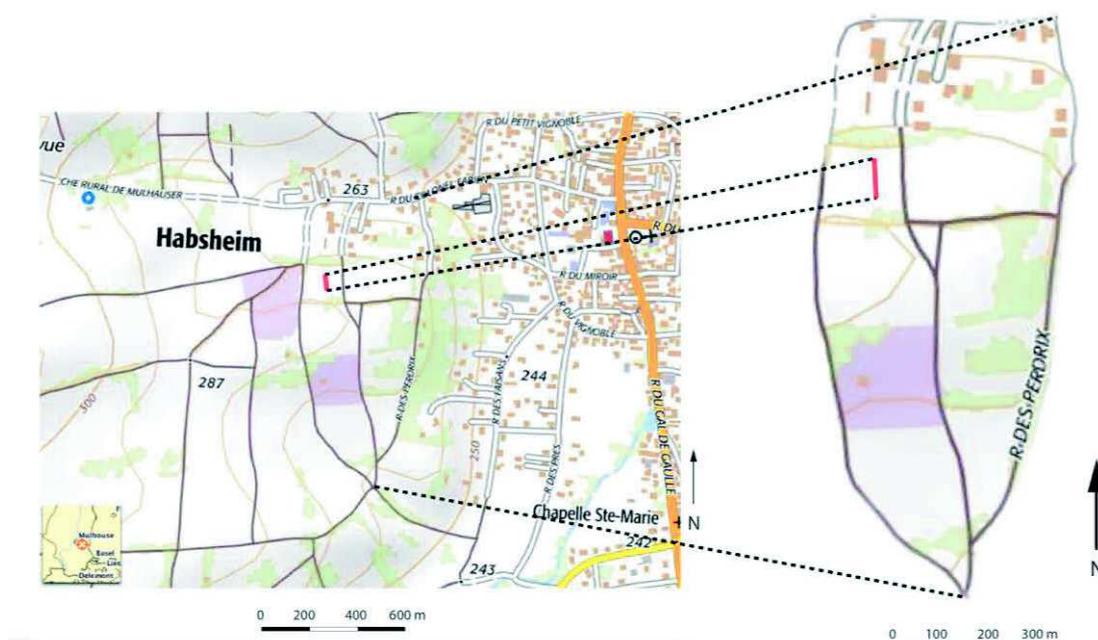


Figure 5.31 : Localisation de la toposéquence "CIG" ; Source : Lucie Froehlicher

Occupation du sol

Comme le montre l'image LIDAR, la toposéquence CIG coupe un rideau de culture pratiquement effacé et très difficilement observable sur le terrain (figure 5.32).

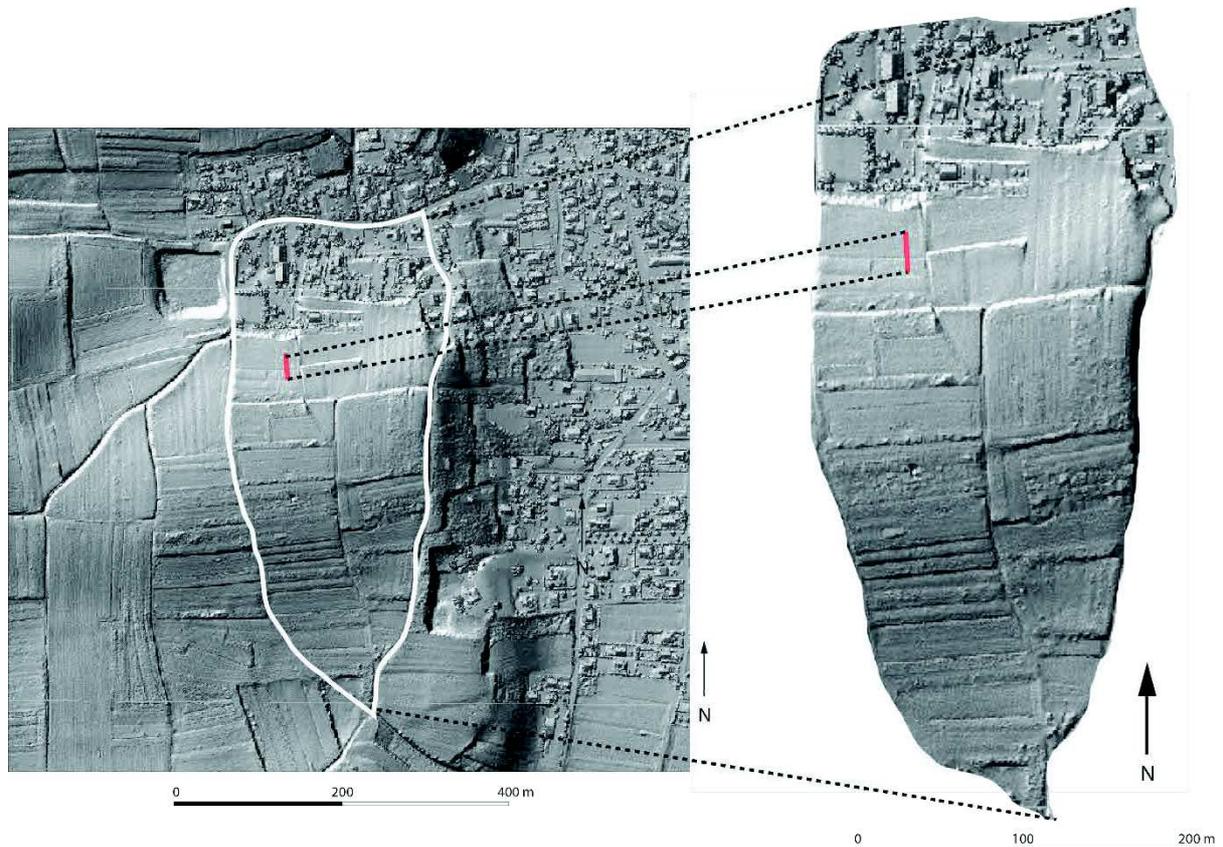


Figure 5.32 : Localisation de la toposéquence CIG sur le LIDAR de Habsheim ; Source : Lucie Froehlicher à partir de l'Image LIDAR du CG68

Caractéristiques géologiques, pédologiques, historiques

Les caractéristiques géologiques sont celles de la toposéquence HABS (figure 5.14). Il en est de même pour les caractéristiques historiques. On note néanmoins quelques modifications aux niveaux des entités (vergers, prairies, champs) traversées par ce transect (figure 33, 34 et 35). On notera également que le transect recoupe la limite de deux cantons identifiés sur le plan de finage de 1760 (figure 5.33). Celle-ci apparaît très nettement sur la carte de 1886 (figure 5.34), matérialisée par un talus. Sur celle de 1918 (figure 5.35), le talus n'est pas figuré, mais cette limite existe toujours en termes d'occupation du sol.

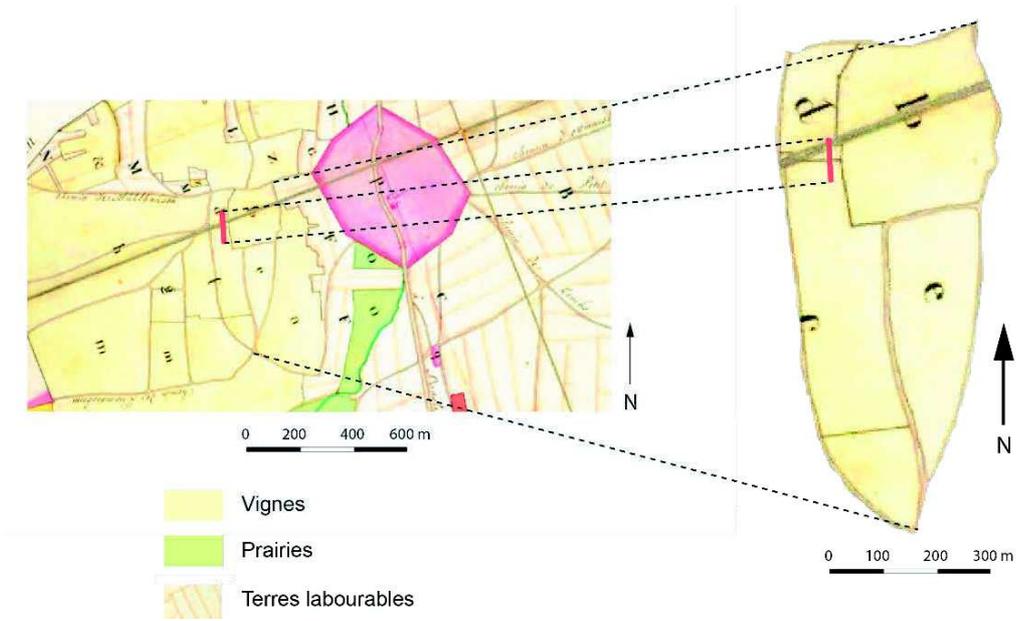


Figure 5.33 : Localisation du transect CIG sur un extrait du plan d'arpentage de 1760 ;
Source : Archives Départementale Du Haut-Rhin C1164/7

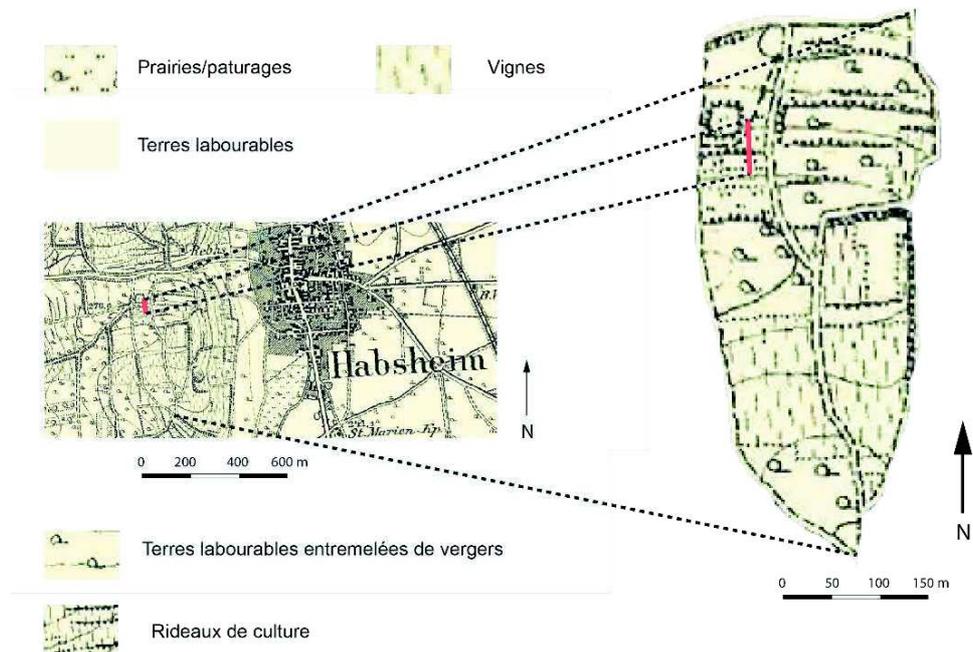


Figure 5.34 : Localisation de la fosse de référence CIG sur une carte allemande de 1886 ; Source : Mülhousen (Ost), 1/25 000, Berlin, Reichsmat für Landsaufnahme)

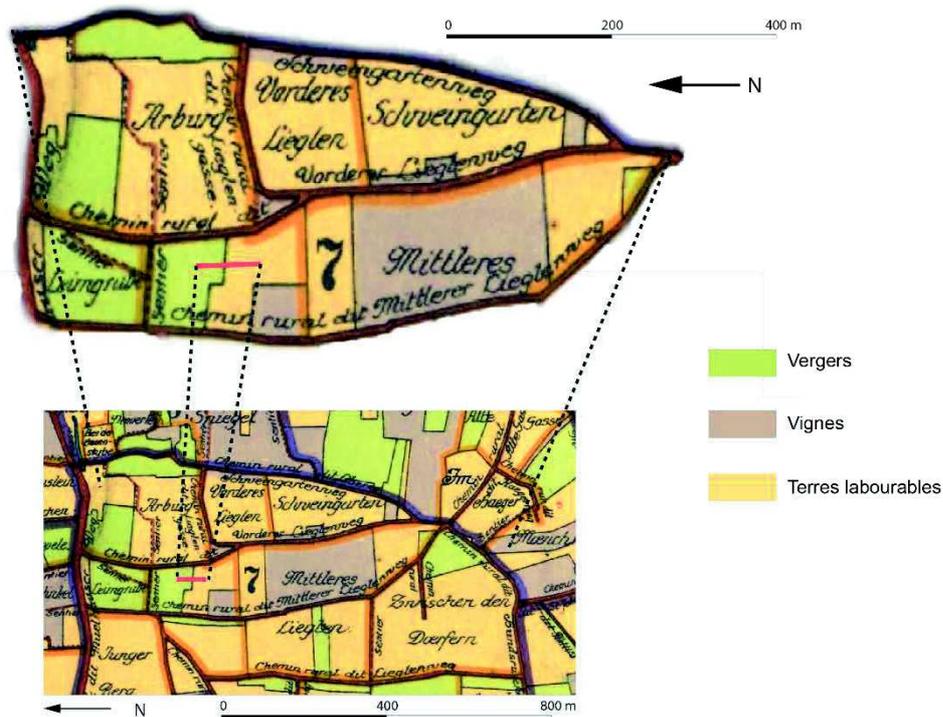


Figure 5.35 : Plan d'assemblage de la commune d'Habsheim avec localisation du transect en rouge, Edition :1918 ; Source : BNUS MCARTE554.

5.2.3 Datations relatives des haies : le site de Marmoutier

Dans la mesure où les rideaux de culture avoisinent avec d'autres types de structures (champs bombés et pierriers) qui ont été plus ou moins étudiées et datées dans le passé (Sittler *et al.*, 2007 ; Schwartz *et al.*, 2003), ces types de structures peuvent éventuellement servir pour estimer des âges relatifs des systèmes de haies. Ces structures peuvent avoir des positions très différentes dans le paysage. Ainsi, elles peuvent être superposées, appuyées, connectées, coupées par/sur un rideau de culture. La lecture correcte du paysage exige de caler l'ordre d'apparition de ces structures. A cet effet, nous avons retenu en parallèle des toposéquences HABS, UFF et CIG, un site à part (Marmoutier - MARMOU) qui se détache totalement des premiers tant par sa localisation que par ses caractéristiques pédologiques, mais qui offre l'opportunité de permettre de caler les haies par d'autres structures agraires.

Localisation du site et environnement

Situé sur une petite colline nommée « Heckenberg » que l'on peut traduire par « la montagne des haies », ce terrain d'étude se localise entre les communes de Dimbthal et de Marmoutier (67) (figure 5.36).

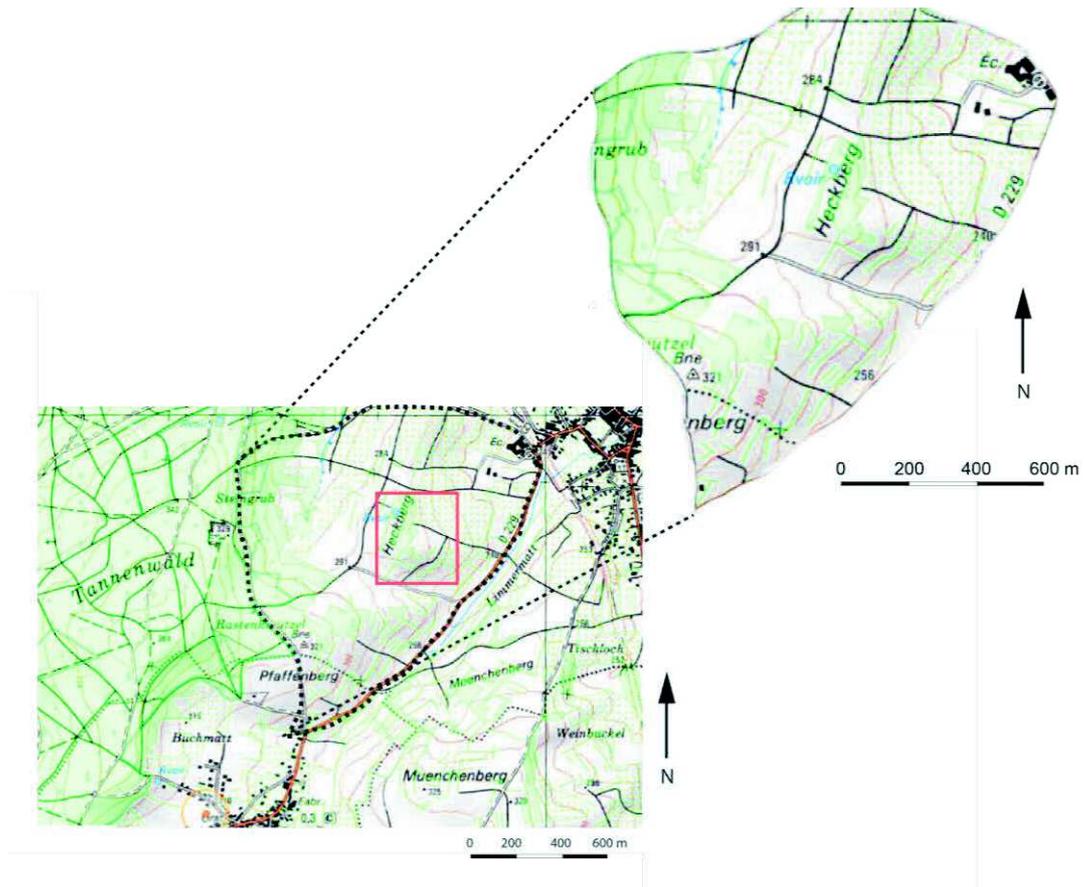


Figure 5.36 : Localisation du site d'étude MARMOU (Marmoutier/67) ; Source : Géoportail

L'occupation du sol est constituée par une zone cultivée (ou qui l'a été anciennement) caractérisée par des haies. La présence de haies s'inscrit dans la durée, comme en témoigne le toponyme. La plupart d'entre elles ont disparu, mais ont laissé des traces dans le paysages : les rideaux de culture. Sur la carte topographique présentée en figure 5.36, rideaux et haies sont figurés indifféremment par un linéaire de couleur vert foncé.

Dans cette zone, les rideaux de culture (figure 5.37) sont associés à des pierriers (figure 5.38) et à des champs bombés, qui s'inscrivent entre des rideaux successifs (figures 5.39).



Figure 5.37 : Rideau de culture à Marmoutier (67); Photo: Lucie Froehlicher



Figure 5.38 : Haie sur pierrier (Marmoutier, 67); Photo: Lucie Froehlicher

Le murger ou pierrier photographié ici (figure 5.38) s'appuie sur un rideau de culture. Il est donc plus récent. La datation du pierrier donne ainsi l'âge minimum du rideau. A cet effet, nous avons procédé de la même manière que Schwartz *et al.* (2003). Nous avons creusé sous le pierrier pour échantillonner et dater par le ^{14}C le paléosol conservé en dessous. Des imprécisions sont toutefois possibles. En raison de pollutions par des matières organiques récentes, l'âge ainsi obtenu doit être considéré comme un âge minimum de l'érection des pierriers (Schwartz *et al.*, 2003).

Par ailleurs des champs bombés d'orientations différentes s'inscrivent entre les rideaux, ce qui semble indiquer que les haies et rideaux associés sont contemporains du fonctionnement de ces champs bombés. Les haies formaient des limites entre des champs différents, cultivés

avec des sens de labour différents. Champs bombés, murs, rideaux de culture semblent s'inscrire dans un contexte chronologique subcontemporain.



Figure 5.39 : Champs bombés sur la route entre Dimbsthal et Marmoutier non loin du site d'étude ; Photo : Lucie Froehlicher

Les activités agricoles se caractérisent par des cultures et des vergers. En ce qui concerne la végétation relevée dans le secteur, elle est très semblable à celle des autres sites d'études (Habsheim, Uffheim). Ainsi, pour la haie spontanée sur pierrier, on retrouve de l'aubépine, des prunelliers, de l'églantier, des ronces, etc. Nous n'avons toutefois pas effectué de relevé exhaustif. Pour les vergers, les arbres fruitiers sont des cerisiers et des pommiers.

Caractéristiques géologiques et pédologiques

La carte géologique (Sittler *et al.*, 1979) de la zone indique la présence de différentes formations triasiques (figure 5.40) : des marnes grises à bariolées à intercalations dolomitiques et gréseuses (t_{6b}) sur la majorité de la zone, calcaires à térébratules (t_{5bC}), couches à cératites (t_{5b}) et enfin une alternance de marnes argileuses grises et de bancs calcaires ou dolomitiques (t_{6a}). Ces formations s'accompagnent de dépôts de fonds de vallons plus ou moins hydromorphes d'âge Würm à Holocène (CFy-z).

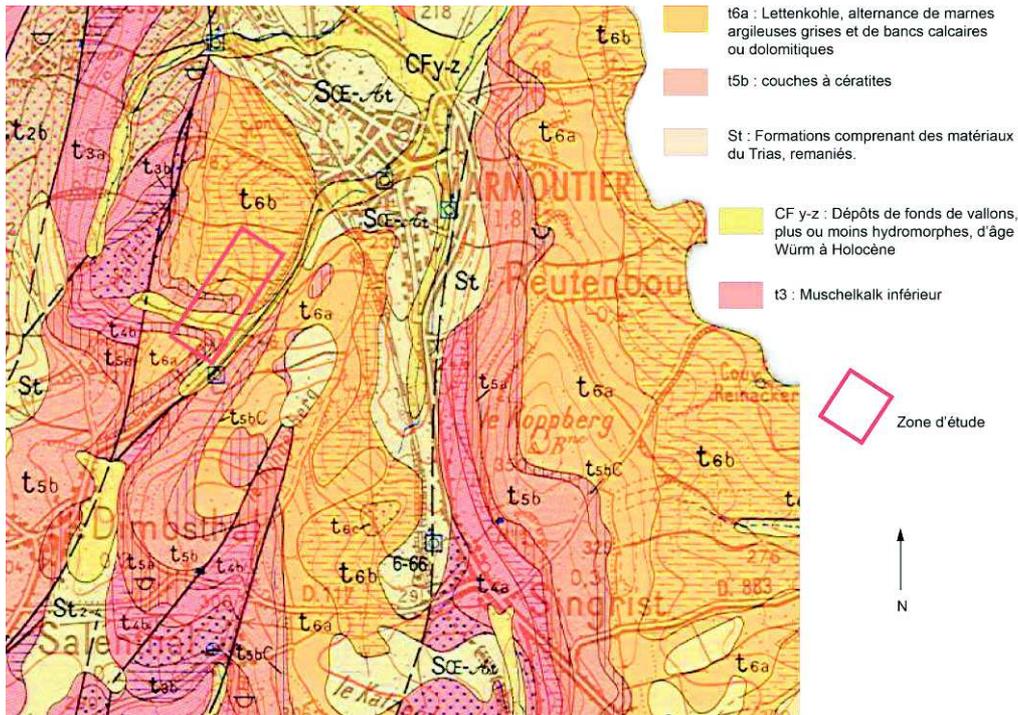


Figure 4.40 : Carte géologique de France, secteur de Saverne ; Source : Sittler et al., 1979

Caractéristiques historiques

Le plan d'assemblage de la commune de Marmoutier détaille le découpage de la zone en 1822 (figure 5.41). Le site (étoile rouge) est localisé dans la section « D ».



Figure 5.41: Localisation du site d'étude (étoile rouge) sur le plan d'assemblage de la commune de Marmoutier de 1822
Source : Archives Départementales du Bas-Rhin ; Figure : Lucie Froehlicher ; Logiciel : ArcGIS

Le zoom sur cette section D, à partir de la feuille 1^{ère} section D1 du cadastre de la commune de Marmoutier de 1822, montre un parcellaire très fin en « lames de parquet » (figure 5.42). D'autre part, les toponymes inscrits sur la carte, tels que « Steinberg », permettent de donner des indications sur des caractéristiques du site. « Steinberg » ou « Montagne de pierres » pour une traduction littérale, indique une zone très « pierreuse ». Cette caractéristique peut expliquer aujourd'hui la présence de nombreux murgers ou « Steinrudel » sur l'ensemble du site.

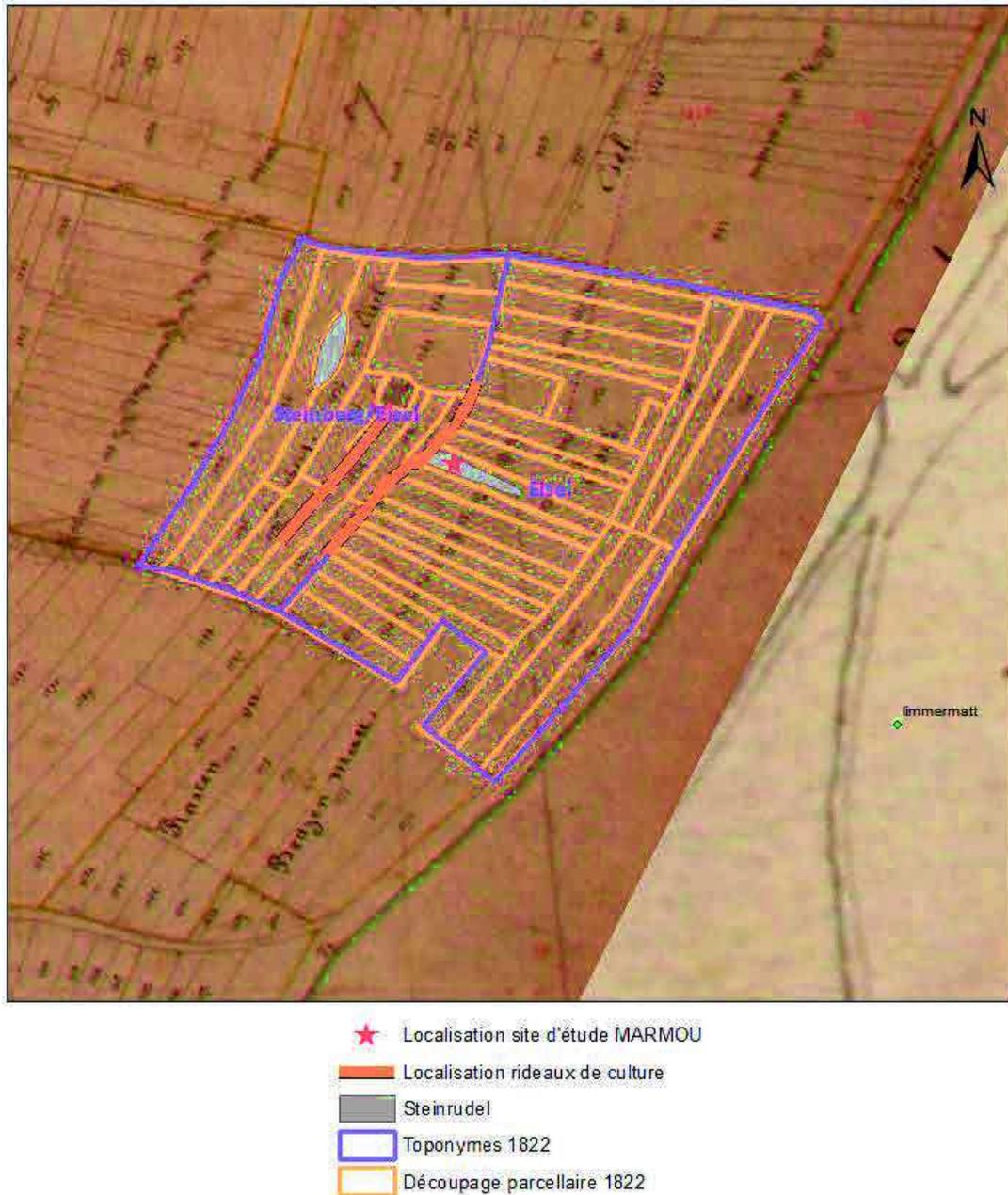


Figure 5.42 : Détail des structures agraires présentes sur le site d'étude de Marmoutier, relevés à partir des cartes anciennes et des données de terrains Zoom sur le cadastre de la commune de Marmoutier de 1822, Source : Section D1 feuille 1^{ère} Archives Départementale du Bas-Rhin 3P496/40 ; Schéma : Lucie Froehlicher ; Logiciel : ArcGis

5.3 Conclusion

Avec des critères de sélection pourtant identiques à la base, la palette des sites d'étude présentés ici reste assez éclectique. On distingue d'une part les sites de référence sous deux couverts végétaux différents (forêt « ZOO » et prairie « HABSREF »), qui permettront d'apprécier les résultats des différentes mesures effectuées sur les toposéquences d'étude. La toposéquence d'Habsheim « HABS », qui constitue le site d'intérêt majeur, est aussi complète que complexe, comme nous pourrions le constater dans la partie résultats. Le site d'Uffheim « UFF », plus simple en apparence recèle en réalité un potentiel tout aussi valorisant et complet. Pour s'intéresser à l'évolution des sols de haies une fois que ces dernières sont arrachées, nous faisons intervenir la toposéquence « CIG » de Habsheim, qui montrera et renforcera les interprétations déduites dans les résultats sur le rôle des haies. Enfin, le site « MARMOU » de Marmoutier, plus marginal montre le rôle des structures annexes aux rideaux de cultures qui leurs sont souvent associées et dont il ne faut pas sous-estimer le potentiel : les *steinrudel*, les champs bombés et les *ackerberg*.

Troisième partie :
Résultats

Chapitre 6 : Occurrence et fréquence des haies : analyse spatio-temporelle à l'échelle de l'Alsace

Ce chapitre présente une mise en perspective spatio-temporelle établie à l'échelle de l'Alsace afin de bien cadrer et définir l'environnement général dans lequel nos sites d'étude (Habsheim, Uffheim, Mulhouse, Marmoutier) viennent s'inscrire. A cet effet, nous remonterons le plus loin possible dans le temps, avec des outils divers comme les toponymes, les mentions, les images iconographiques et le LIDAR. A partir de toutes ces informations, nous établirons des cartes synthétiques, des évolutions chronologiques, faisant le bilan des différentes informations tirées de ces outils en termes d'occupation du sol par des systèmes de haies. Par la force des choses, cette étude concerne principalement le Haut-Rhin. En effet, la fermeture et le déménagement de la BNUS nous ont empêchés d'accéder à des documents essentiels tels que les plans de finage du Bas-Rhin, qui ne sont pas accessibles en ligne, contrairement à ceux du Haut-Rhin. L'absence d'une couverture LIDAR du Bas-Rhin, ou sa mise à disposition très tardive et sur des zones restreintes a été un autre facteur limitant, de même que l'aspect confidentiel d'autres jeux de données comme le tracé de la LGV. Il s'ensuit qu'il est difficile de comparer la situation dans les deux départements.

6.1 Etude toponymique

Dans cette étude, nous avons relevé l'ensemble des noms de communes et de lieux dits anciens ou modernes donnant des indications sur la présence de haies. Les documents de base sont principalement les inventaires topographiques du Haut-Rhin (Basquol et Ristelhuber, 1865 ; Stoffel, 1868 ; Urban, 2003, 2010) et les légendes des plans de finage de l'Intendance d'Alsace de 1760-1762, dans lesquelles la toponymie des cantons¹ est très détaillée.

6.1.1 Sélection des racines toponymiques

D'après Pégorier *et al.* (2006), 120 noms de dialectes différents font références aux haies végétales sur l'ensemble du territoire français. Sur ces 120 termes, 14 d'entre eux sont issus de « l'ancien français », dont l'utilisation est généralisée à l'ensemble de la France : haie, haiete, haye, plais/plaisse, rapoi, seips, senelée, sépés, septe, seuf, sévelée, soif et venne sont les différents noms d'anciens français faisant références aux haies. Le sens de ces différentes références varie de l'une à l'autre (haie, haie vive, haie épineuse, haie de clôture, haie de buisson, etc.). Parmi ces termes, ceux de haie-haye dérivent de l'ancien allemand Haga, en passant par le bas-latin haga, haia.

¹ Le sens de canton est ici celui d'une zone homogène quant à l'occupation du sol. La légende distingue les terres labourables, les prés de fauche, les pâturages, les vignes et vergers, les forêts et le bâti

Il n'y a donc rien d'étonnant à ce qu'ils soient très proches des termes d'origine alsacienne. Ce zoom sur le territoire alsacien fait ressortir deux groupes de noms au sein du glossaire de Pégurier *et al.* (2006) faisant référence à des haies vives :

- Les termes dérivant de Hag(e) : Arbuste épineux, enclos, haie.
- Ceux dérivant de Hecke(n) : Haie (vive).

Le tableau 6.1 détaille les racines toponymiques qui ont été utilisées dans notre étude. Dans un souci d'exhaustivité, il relève également quelques termes étrangers, susceptibles de nous renseigner sur des toponymes modernes.

Tableau 6.1 : Racines toponymiques se rapportant aux haies en Alsace

Mention	Signification	Epoque	Source
« cagium/cahagium »	Forêt royale/forêt « défendue »	VII et VIII ^{ème} siècle	Higounet, 1979
« eck » ou « ecke »	D'origine germanique, ce terme signifie « pointe » et désigne en toponymie les « haies épineuses » qui ont pour fonction de rendre une zone « infranchissable » (Urban., 2010) ;		Urban, 2003
« hecke »	« haie » (en allemand)		Baudry <i>et al.</i> , 2003
« haag »	« haie » (terme ancien néerlandais pour dire « haie »)		Baudry <i>et al.</i> , 2003
« häck »	« haie » (en suédois moderne)		Baudry <i>et al.</i> , 2003
« haegen »			Urban, 2003
« hag »	« haie » (aujourd'hui, terme moderne néerlandais pour « haie »)		Higounet, 1979 Urban, 2003 Baudry <i>et al.</i> , 2003
« hag »	signifie aussi « foin » (origine nordique)		Baudry <i>et al.</i> , 2003
« haga »		XVII ^{ème} siècle	Liagre, 2006
« hage »	« une pâture entourée d'une végétation arbustive » (origine suédoise)		Baudry <i>et al.</i> , 2003
« hagen »			Higounet, 1979
« hagenrecht »	« Associe clôture + défrichement »	Médiévale	Higounet, 1979
« haghis »	Action d'enclorre ; fréquent dans les Vosges		Higounet, 1979
« hague »	« haie »		Higounet, 1979

« haiae »	« Ligne de fortification »	Moyen âge	Higounet, 1979
« haja »	Latin médiéval	IX ^{ème} siècle	Baudry <i>et al.</i> , 2003
« haja »	Mot français	1120	Baudry <i>et al.</i> , 2003
« hang »	« versant »		Urban, 2003
« hauen »	« Frapper, abattre, couper = forêts dans laquelle on aurait pratiqué des abattis et des défrichements »		Higounet, 1979
« hay »	signifie aussi « foin » (origine nordique)		Baudry <i>et al.</i> , 2003
« haya »	« piège pour attraper les cerfs »		Baudry <i>et al.</i> , 2003
« haye »	« haie »		Baudry <i>et al.</i> , 2003
« hecke »	« haie »		Urban, 2003
« hedge »	« haie » (origine anglaise)		Urban, 2003
« hege »	« défends », « Bois où il est interdit de pratiquer des coupes ou de faire paître des animaux »		Urban, 2003

6.1.2 Résultat de l'analyse toponymique

A partir des références citées, nous avons réalisé une recherche systématique des noms de communes et autres toponymes anciens ou modernes se rapportant aux haies. Ces relevés sont présentés en annexe 12 (X) et sur la figure 6.1. Ils sont classés par département et par ordre alphabétique. Le nombre de toponymes relevés dans le Haut-Rhin est de 393 et de 17 dans le Bas-Rhin. Cette différence est liée aux raisons déjà explicitées dans l'introduction. Au terme de cet inventaire, il est toutefois clair que la toponymie rend compte de l'abondance passée des haies dans les paysages alsaciens. Avoir relevé près de 400 toponymes dans le Haut-Rhin n'est pas anecdotique, sachant que nous avons fait l'impasse sur les cartes topographiques de l'IGN, dont l'analyse exhaustive eût été trop fastidieuse.

6.1.3 Cartographie des toponymes en fonction de leur sens

Sur la figure 6.1, nous avons distingué trois catégories de toponymes, en fonction du sens qui leur est attribué.

- Les toponymes qui indiquent la présence de forêts ; ainsi, la ville de Haguenau tire son nom de la présence d'un vaste massif forestier aux alentours. Dans le Sundgau, bon nombre de cantons forestiers ont en 1760 un nom dérivant de hag ou heck.
- Les toponymes qui se rapportent à des haies défensives liées aux châteaux ; d'un point de vue pratique, il s'agit des châteaux dont le nom se termine par _eck (Bucheneck à

Sultz, Freudeneck à Wangenbourg, le Grand-Geroldseck à ... Haegen, ou le Hagueneck à Wettolsheim).

- Les toponymes qui font référence explicitement à des systèmes de haies.

Dans le Haut-Rhin, les points se concentrent essentiellement dans le Sundgau et sur le piémont Vosgien. Les toponymes indiquant un sens de forêts sont moins nombreux que ceux indiquant le sens de « haies » et sont majoritairement localisés autour du Sundgau. Les toponymes au sens « haie » sont essentiellement concentrés au cœur du Sundgau et sur le piémont Vosgien. Quant aux toponymes liés à la présence d'un château, très minoritaires, ils sont localisés principalement dans les montagnes vosgiennes et très rarement en plaine. On notera par ailleurs que la plaine d'Alsace constitue un « vide » presque total en toponymie se rapportant aux haies, même dans sa partie haut-rhinoise.

Pour le Bas-Rhin, l'essentiel des quelques toponymes recensés fait référence à des forêts (forêt d'Haguenau) ou à des châteaux situés sur le piémont Vosgien. On retrouve de manière ponctuelle dans le même secteur que les châteaux, quelques toponymes faisant références à des haies.

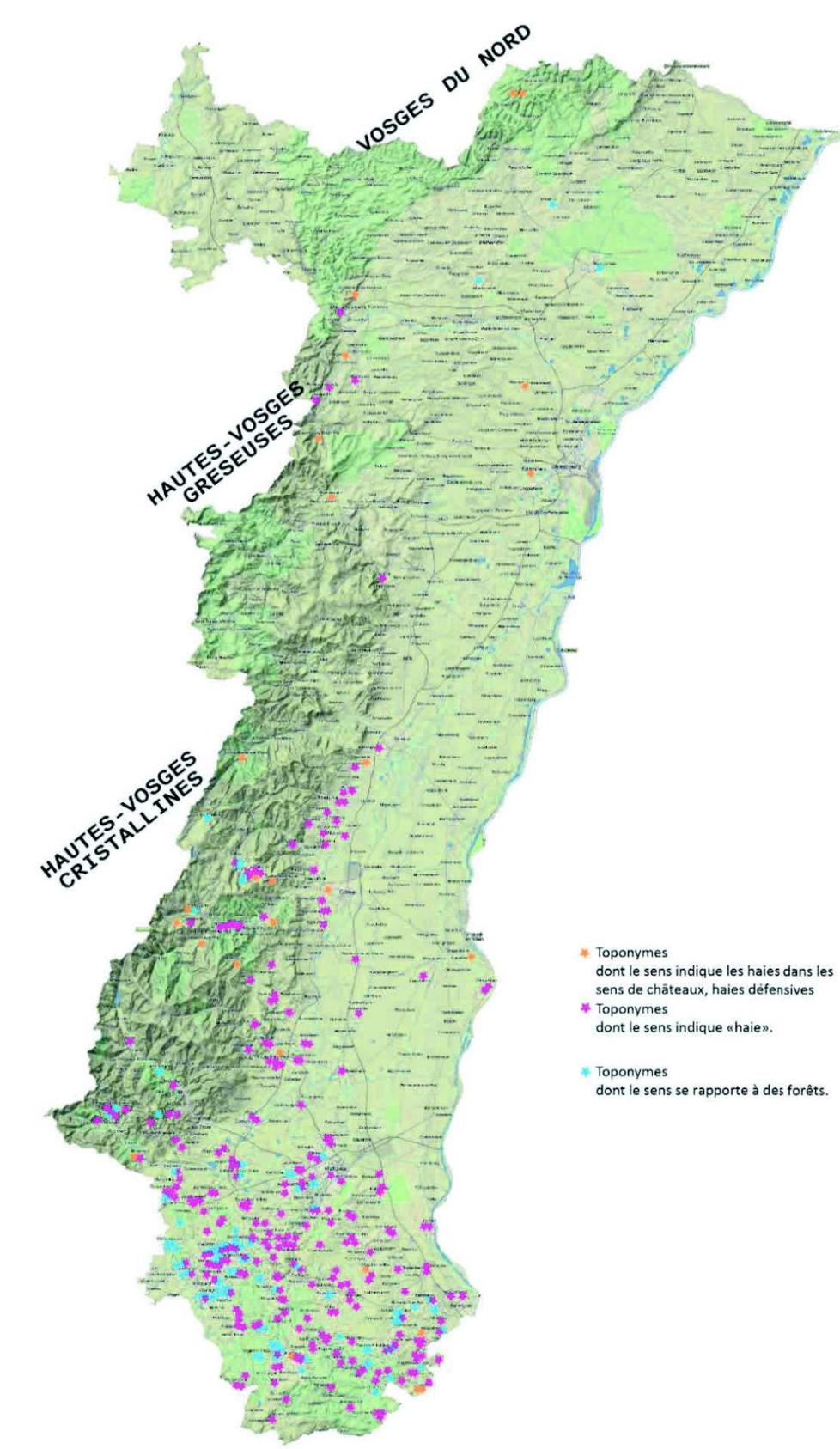


Figure 6.1 : Répartition des toponymes sur l'Alsace ; Auteur : Lucie Froehlicher à partir de la carte de <http://claudeshott.free.fr/>

6.2 Les mentions de haies dans les textes

Les mentions constituent une base de données très importante. Elles reflètent des situations diverses dans l'histoire des caractéristiques environnementales dont elles sont parfois les seuls témoignages. La littérature (poème, récits de guerres,...), des textes de lois, des répertoires, des plaintes, des registres d'imposition, etc. sont les sources de ces connaissances.

Le tableau 6.2 présente plusieurs exemples de mentions établies dès le IX^{ème} et jusqu'au XVIII^{ème} siècle. Les mentions citées proviennent majoritairement de l'Alsatia Munita (Metz, 2012) qui est un répertoire des monuments et des sites fortifiés. Dans les descriptions qui leur sont associés on trouve beaucoup de mentions sur les haies défensives. D'autres mentions proviennent de poèmes où il est aussi question de haies épineuses. Des mentions d'un autre style font référence, en 1524 par exemple, aux amendes infligées lorsqu'on arrachait des haies qui entouraient les champs (Hanauer, 1864). Cette mention nous renseigne sur la valeur de ces systèmes agraires, très valorisés et protégés, semblerait-il, à cette époque. Elle nous indique aussi qu'elles n'ont pas la même valeur selon le rôle qui leur est dévolu.

Entre 1689 et 1696, une mention présentée dans un ouvrage de Boehler (1995) témoigne d'un virage considérable dans la fonction et la valeur des haies dans le secteur de Mulhouse. A cette date-là, on y ordonne l'arrachage des haies en raison d'une grande pénurie de grains, essentiels pour nourrir la population. Ce décrochement dans la fonction attribuée à la haie n'est pas sans conséquence et constitue très probablement une des phases de creux dans le développement et la valorisation des haies en milieu agricole à l'époque dans la région.

Tableau 6.2 : Mentions sur les haies établie du IX^{ème} au XVIII^{ème} siècle ; Sources : Bischoff (com. Orale); Metz, 2012 ; Hanauer, 1864 ; Muller et al, 2006 ; Boehler, 1995

IX ^{ème} s.	Dans le poème épique latin « Walrharius », l'auteur relate les exploits d'un fils de roi d'Aquitaine, Walter ou Gauthier, prisonnier d'Attila, qui s'évade en volant le trésor des Huns et parvient en Alsace, où il est poursuivi par le roi franc Gunther et son ami Hagen ou Hagen de Tronje . Ce nom fait référence à une « haie épineuse ». Parole de Walter lors de l'attaque de Hagen : « Etre épineux, pour que tes ronces puissent me piquer, tu t'assumes follement à sauter autour de moi et tu taches de me surprendre. Attends, je vais faire en sorte que tu puisses approcher davantage ».	Georges Bischoff comm. orale
1241	Fosse Morat , Commune de Levoncourt, Landwehr, haie défensive « Dès lors, on serait tenté de mettre ces sources en relation avec d'autres, qui pourraient aussi faire allusion à un fossé et/ou une haie marquant (et défendant ?) la frontière entre l'Alsace et l'Ajoie... »	Metz, 2012
1295	Lucelle , haie défensive « En 1295, une forêt appartenant aux communes de Pleigne, Bourrignon, Pleujeuse et Frégiécourt est donnée à Lucelle (Tr II 583 n° 453), qui s'engage à ne pas couper du bois dans un endroit, vers Pleigne, où les habitants ont fait un <i>gebüch</i> (ligna incidant, curvent et inclinent) pour barrer le passage aux ennemis ou pour s'y réfugier (le texte n'est pas clair) en temps de guerre (Tr II 585 n° 454). R. Specklin (B. Huningue 10.1961, 5) y voit une enceinte de 800 m au SE de L. Mais à cet endroit le terrain ne correspond pas à la	Metz, 2012

	description (plateau et non sommet ; je n'ai pas vu la trace de talus. La haie de 1295 pourrait aussi s'interpréter comme Landwehr sur la limite de l'Ajoie, dont éventuellement Fosse-Morat et le <i>hag</i> de Biederthal pourraient être d'autres jalons. En 1442, l'évêque de Bâle note que, malgré l'interdiction, L. a ouvert de force ses haie (hand mir heg uffegebrochen : ZGO 145.1997, 189). »	
Fin XIV ^{ème} s. ?	Volgelsheim (68) Sans date (fin 14e s. ?). Limite du ban de Volgelsheim : ... untz [= bis] an den Kerliweg untz Büssitzlein [= bis Biesheim] an den hag : J. Grimm, Weisthümer IV 159.	Georges Bischoff (com. orale)
1416	Biederthal (68) , Landwehr, haie défensive « Au moyen Age, B. est souvent dit im Hag (p. ex. dorf biedertant im hage en 1416 : Merz, Sisgau III 223). Hag peut désigner une haie défensive entourant un village – ou un territoire plus vaste ; [...] Hag signifie aussi forêt... »	Metz, 2012
1460	Cleebourg (67) « Comptes du Keller de Cleebourg, ABR C 57/6, f° 9r : 10ss hant 10 fröner verzert, die hecken an den wisen, in den höffen und an dem Luerberge und uff dem graben nyder gecknicket und gebunden hant, das man umb das sloß gesehen mochte [donc on fait un Gebüch pour améliorer la visibilité depuis le château de Cleebourg ?]. - Ibid. f° 10v : 5 B 4 d. zweyen knehten, die hecken zu bicken [= bücken, faire un Gebüch] und abezuhauwen am ußersten graben geim [= gegen dem] Luerberge, uff das sich nyeman verlagen möchte [pour que personne ne puisse se planquer, toujours le souci de visibilité]. »	Georges Bischoff (com. orale)
1485	Hipsheim (67) , village fortifié, haie défensive « L'actuelle rue du Fossé, alias Frohnegrave (Frohnengraben 1485 : GLAK 69 Holzingerstett A 860) délimite le vieux village au S et au SW ; elle se prolonge au N par la rue des Alisiers, alias Schehei (ce qui pourrait faire allusion à une haie d'épineux entourant jadis le village), et autrefois Umlauf... »	Metz, 2012
1488	Osenbach (68) "Neben den Hagen" mention d'un champ à côté d'une haie sur la colline du Heidenberg, dans l'Urbaire de Marbach	Dominique Schwartz (com. orale)
15 ^{ème} siècle	Ingwiller (67) « 15e s. Stadtordnung pour Ingwiller, publiée in W. Guggenbühl, Ingwiller, 1951, 137 : alle hege und bannzun umb acker und matten sint in bann geleit für 5 B d., deßglichen alle ander velt zun. (in bann geleit für 5 B d. = mis en défends sous peine de 5 schillings d'amende). »	Georges Bischoff (com. orale)
15 ^{ème} siècle	Ingwiller et environs (67) , Landwehr, haie défensive « Le règlement municipal d'I (15 ^{ème} s., ed. W. Guggenbühl, Ingwiller, 1951, 134) interdit de créer des passages à travers les haies et fossés défensifs (letzen, lantweren, verhege und lantgraben) seigneuriaux... »	Metz, 2012
1513	Kunheim (68) , village fortifié, haie défensive « Le coutumier K., de 1513, mentionne la haie (hagk) [...] Le lieu-dit Wehrhag de 1599 (au SW de Sessenheim) pourrait donc éventuellement garder le souvenir d'un temps où tout l'U. était protégé par un fossé et une haie. »	Metz, 2012

1519	Nordhouse (67) , village fortifié, haie défensive Mention du « fossé et de la haie du village en 1519 (des dorfes hage, der dorfgraben : TR 631), ... »	Metz, 2012
1524	villages de l'Uffrieth (67) Mention sur les haies des champs, dans « l'organisation des onze villages de l'Uffrieth, sanctionnée par Henri de Fleckenstein à la mi-carême 1528 » « Les amendes pour rupture des haies du parc (wyltheg) sont aussi de 30 sous et ne reviennent qu'à la seigneurie. Pour les haies des champs (feltziene) et les clôtures contre les loups (wolff heg), l'amende n'est que de 5 sous, sur lesquels la seigneurie prend 2 sous, la commune 2 sous, et le garde champêtre 1 sou.	Hanauer, 1864
1544	Rouffach (68) « une parcelle de 18 juchart [taille vraiment exceptionnelle], <i>wüest und gebuwen</i> [partie en friche, partie cultivée], <i>sind umbgraben, stossen uff die Thur, und zeucht [= zieht] der frey hage oben daran, und ist ein loch mitten darin</i> : AHR 108J 415/1. »	Georges Bischoff (com. orale)
1599	Uffried (67) , Landwehr, haie défensive « Selon un Jahrspruch noté en 1599, la limite SW du Landgericht de l'Uffried (11 communes énumérées in REL 1129, entre Roppenheim et Dalhunden), partant du Rhin, passe par les lieux dits Nuwengraben, Steckenwag, Wehrhagk [haie défensive]... »	Metz, 2012
1613 ou 1616	Obernai (67) Pour clôturer le jardin de léproserie d'Obernai, on plante 2400 aubépines : « Il faut ensuite les attacher, les émonder et les tresser » pour rendre la haie imprenable »	Muller <i>et al</i> , 2006
Entre 1689 et 1696	Mulhouse (68) « La paralysie du marché des grains, par suite de la concentration des troupes dans les régions transfrontalières, la politique de blocus menée par la monarchie entre 1689 et 1696 donnent au commerce et à la spéculation sur les céréales une forte impulsion, car il faut bien nourrir les 600 familles de la ville, à raison de 200 sacs de 180 livres par semaine. Aussi les autorités municipales ordonnent-elles l'arrachage des haies, la transformation des chènevières en champs de blé, l'ensemencement de la jachère, la reconversion des vignobles complantés de maïs [...] » p.333 (Boehler, 1995)	Boehler, 1995
1776	Lipsheim (67) , village fortifié, haie défensive Une carte de 1776 (ABR C 440/84) montre le village entouré au SE par un bras de l'Andlau, au SW par une haie, et partout ailleurs par un fossé.	Metz, 2012
18 ^{ème} s.	Duppigheim (67) , haie défensive « ABR C 411, AMS C IV 32/4, le village de Duppigheim est entouré de haies. »	Metz, 2012
18 ^{ème} s.	Holtzheim (67) , village fortifié, haie défensive « Sur les cartes du 18 ^{ème} siècle, H. est entouré par la Bruche et une haie de tracé en général irrégulier (Régemorte ; AMS C IV 32/2 ; ABR C 481/70) »	Metz, 2012

L'essentiel des mentions est lié aux sites fortifiés d'Alsace, mais quelques mentions propres aux haies en milieu agricole permettent d'établir une petite évolution dans leur valorisation au XVI^{ème} et XVII^{ème} siècles. Les haies encore protégées au XVI^{ème} siècle (amende en cas d'arrachage) semblent devenir un élément freinant la production alimentaire dans le secteur

de Mulhouse au XVII^{ème} siècle. L'arrachage des haies est donc demandé par la municipalité en réponse au blocus établi par la monarchie empêchant l'approvisionnement en grains dans le secteur, en plus des transformations des parcelles non céréalières en parcelles céréalières. Cependant, la situation mulhousienne ne reflète peut-être pas celle de l'ensemble de l'Alsace, Mulhouse étant une république indépendante à l'époque.

6.3 Analyses iconographiques (enluminure, peintures, cartes postales)

Dans cette partie, nous traitons de l'évolution de la représentation des haies dans le temps à partir des enluminures, des peintures, des gravures, des lithographies, des dessins et des cartes anciennes. L'objet de cette analyse est de produire un bilan de l'état des systèmes de haies, en faisant ressortir des phases de décrochement ou au contraire de phases de regain de ces systèmes dans nos paysages.

Cette analyse commence avec le XV^{ème} siècle. Auparavant, les paysages n'étaient pas représentés. On prête souvent à Konrad Witz (vers 1400 – 1445/46 à Bâle) l'invention de la représentation paysagère. Ceci doit être doublement nuancé. Tout d'abord, parce que des paysages figurent dans des enluminures plus anciennes. Les magnifiques représentations des mois de l'année par les frères de Limburg dans les Très Riches Heures du Duc de Berry, réalisées vers 1414, en constituent la parfaite illustration. Par ailleurs, chez Witz les paysages, extrêmement réalistes, ne constituent que l'arrière-plan de scènes diverses. Le vrai inventeur du tableau de paysage est Dürer, avec notamment le Moulin de Saules (Paris, BNF, Estampes, Rés. B 13) aquarelle datée de 1495/96.

Un premier corpus d'œuvres est constitué par les enluminures. Près de 650 enluminures représentant des systèmes de haies et/ou des rideaux de culture ont pu être extraites de la base de données « Enluminures » de la BNF (130000 enluminures au total). Il n'a pas été possible de recenser des enluminures représentant des paysages attribuables à l'espace rhénan. Pour cette raison, ce corpus sera essentiellement traité dans un article à part (Froehlicher *et al.*, en préparation). Nous en reprendrons ici les trois principaux enseignements, dont il convient de souligner qu'ils concernent un espace correspondant grosso modo à la France actuelle et non à l'espace rhénan :

- Les systèmes de haies présentent des morphologies et des états très variables. En particulier, un système de haies en bandes très serrées, perpendiculaires à la pente est très fréquent (figure 6.2). Nous les avons appelés « systèmes de haies en bandes isohypses ». Ces systèmes semblent avoir été également très fréquents en Alsace, comme le montre l'analyse LIDAR (*cf. infra*).



Figure 6.2 : Trois exemples de représentations de haies en bandes isohypses. (A) : Atelier de Jean Bourdichon – vers 1490 ; Annonce aux bergers, Heures à l'usage de Tours. Paris, bibl. Mazarine, ms. 0507, f. 064 ; (B) : Anonyme – quatrième quart du 15e s. ; Visitation, Heures à l'usage de Clermont ; Clermont-Ferrand, BM, ms. 1508, f. 035 ; (C) : Jean Colombe, vers 1480/85 ; Visitation, Heures à l'usage de Rome. Besançon, BM, ms. 0148, f. 049. N.B. sur le 2° document (B), les haies du premier plan sont peut-être associées à des rideaux de culture

- Les représentations de rideaux de culture sont moins fréquentes que celles des haies, mais tout de même notables. Des systèmes de rideaux très développés dès le XVème siècle sont suggérés ou clairement dépeints par différents moyens techniques : ombrages, profondeur de champ, perspectives, dessins de contours, plans paysagers successifs,... (figure 6.3). Sur quelques enluminures, la hauteur des rideaux est impressionnante, suggérant qu'au XVème siècle déjà, ils résultaient d'une longue histoire.

Figure 6.3 : Représentation des rideaux par des ressauts topographiques. - Anon. – 4° quart XV° siècle/XVI° siècle ; le songe de Jacob, Heures/Album de miniatures composite. Amiens, BM, ms. 0107, f. 010 ; B : Par le raccourcissement de la perspective. - Maître de Jacques d'Armagnac – av. 1476 ; Chasseur, Livre de la Chasse de Gaston Phébus. Paris, bibl. Mazarine, ms. 3717, f. 050v ; C : par un décrochement topographique. – Anon. – vers 1500 ; Labour et semailles, Heures à l'usage de Tours ou de Bourges. Tours, BM, ms. 2283, f. 010

- Une analyse statistique fondée sur l'état des haies, classées en trois catégories (haies fonctionnelles et en bon état, haies périlissant, haies très dégradées ou reliques) et analysées par tranches de 25 ans montre des différences significatives selon les époques. A partir de 1450, ces systèmes périlissent et deviennent très dégradés à partir de 1475.

Les œuvres des peintres rhénans constituent le support principal pour l'étude de l'évolution des paysages agricoles régionaux entre le XV^{ème} et le XVI^{ème} siècle. Au XV^{ème} siècle, il s'agit essentiellement de peintures religieuses. Des œuvres profanes s'y mêlent à partir du XVI^{ème} siècle. Une caractéristique générale des peintures censées représenter des scènes bibliques se passant en Palestine à l'époque du Christ est leur déphasage chronologique et spatial : les costumes, l'habitat sont ceux de l'époque où le tableau a été réalisé, et les lieux s'inspirent des endroits connus des peintres. Pour cette raison, il est raisonnable de considérer que les arrière-plans paysagers représentent des portions de l'espace rhénan au XV^{ème} siècle.

Les gravures sur bois et sur cuivre, qui font leur apparition dès la fin du XV^{ème} siècle et se développent aux XVI^{ème} et XVII^{ème} siècles sont le deuxième type de représentation le plus commun. Plus « réalistes », ces gravures représentent principalement des plans à vue de nombreuses villes rhénanes, de monuments (châteaux, églises,...). Le doute sur la validité et l'origine des représentations est quasiment impossible pour la quasi-totalité des gravures présentées ici. Ainsi, les paysages associés semblent correspondre à une réalité passée témoignant de leur évolution, et plus particulièrement des systèmes de haies.

Les dessins, les lithographies, les gravures sur acier, les cartes postales et autres plans anciens complètent cette base de données. Ainsi l'établissement d'une chronologie plus longue est possible (jusqu'au XX^{ème} siècle) sans faire intervenir les données purement géographiques à savoir les cartes IGN, les photos aériennes, etc.

6.3.1 Présentation des œuvres iconographiques retraçant l'évolution de la représentation des haies en Alsace.

Pour cette étude, un panel représentatif de 65 œuvres (peintures, gravures, dessins, lithographies) sont présentées par ordre chronologique de 1444 à 1912. L'ensemble de ces œuvres représentent des espaces du Rhin supérieur. Les figures 6.4 à 6.12 présentent ces œuvres par ordre chronologique.

La figure 6.4 présente des peintures, aquarelles et sculptures de l'an 1444 à 1500. Sur cette première planche, les œuvres correspondent majoritairement à des peintures religieuses représentant des scènes bibliques. On reconnaît par exemple deux scènes de la *Nativité* de Konrad Witz et du Schwabischer Meister, ou encore la célèbre scène de la *Pêche miraculeuse* de Konrad Witz. Ces scènes se passent, d'après l'histoire, dans des régions de monde assez éloignées des territoires rhénans... La *Pêche miraculeuse*, qui se passe normalement sur le Lac de Tibériade en Israël, est représentée au bord du Lac Léman (France/Suisse). En arrière-plan, un paysage de piémont se caractérise par des parcelles agricoles entourées de haies, denses et réparties de manière homogène. Sur les collines au fond, des systèmes bocagers sont également représentés, sur des pentes plus importantes. La *Nativité* de Witz présente

elle aussi de très beaux systèmes de haies très denses et bien homogènes répartis sur l'ensemble de la colline et sur le piémont. *L'adoration des bergers* de Schongauer (1480), le plus régional peut-être des peintres rhénans, laisse entrapercevoir à l'arrière-plan des systèmes de haies en bandes isohypses, dans un paysage qui rappelle beaucoup le Jura suisse, juste au sud de Bâle. Des systèmes de haies moins denses mais tout aussi représentatifs sont observés au travers des autres œuvres de la figure 6.4. La dernière œuvre de cette planche, *Le martyr de Saint Sébastien*, représente quant à elle non pas des systèmes de haies comme nous avons pu le constater jusqu'à présent, mais des rideaux de culture bien marqués entre les deux arbres au second plan. Cette œuvre est exceptionnelle par son réalisme et est un témoignage majeur de la présence de rideaux de culture très développés entre Vosges et Forêt-Noire. Une seule autre œuvre, non présentée sur les planches suggère des rideaux de culture. Il s'agit de l'arrière-plan peint du Retable de *la Vie de la Vierge* (Rhin Supérieur, vers 1480, ancienne église des Franciscains de Colmar – *Musée Unterlinden, Colmar*). Les rideaux y sont suggérés par des ombrages (Froehlicher *et al.*, en préparation). Malgré la petite guerre faite aux Mulhousiens (1466-1468), l'Alsace connaît durant cette période un véritable « Second Âge d'Or » (1450-1550), favorisant le développement économique, politique et social (Boehler, 2014). Ce climat de paix et favorable au développement n'est pas anodin dans la représentation de ces paysages. Ainsi, ces beaux systèmes de haies biens denses associés à des terres labourables, témoignent d'une bonne activité économique dans l'espace du Rhin supérieur à cette période-là.

Sur la figure 6.5, les paysages de haies décrits sont tout aussi denses et représentatifs des paysages bocagers de la figure 6.4. Les peintures de Hans Leu Der Alterer illustrent particulièrement bien ces paysages de bocages en zones collinaires au sein de l'espace rhénan (plus précisément, le lac de Zürich). Hans Leu représente des parcelles qui sont clairement labourées, montrant bien que les haies ne sont pas forcément associées à des usages pastoraux.

Pour la figure 6.6, allant de 1523 à 1587, le type d'œuvre évolue. La seule peinture est *La Mélancolie*, de Lucas Cranach sur laquelle on peut observer en arrière plan des paysages de haies. Ce sont les gravures qui sont les plus abondantes à partir des années 1520. Elles représentent différentes villes alsaciennes (Sélestat, Wissembourg, Landau, Strasbourg) réalisées par des graveurs comme Sébastien Münster ou Daniel Specklin. Sur l'ensemble de ces gravures, on observe des paysages de haies, et même de bocages en arrière plan. Pour la gravure de la ville de Sélestat par Sébastien Munster (1555), au pied des montagnes, un paysage très végétalisé s'inscrit dans les zones collinaires. On y retrouve de nombreuses lignes d'arbres parallèles ou perpendiculaires à la pente, pouvant correspondre à des systèmes de haies. De nombreux arbres parsemés au milieu de ces haies rendent la lecture du paysage assez difficile. La question d'une conversion des pratiques culturelles se pose. S'agit-il d'un espace en transition vers une fermeture progressive du système (abandon des cultures), ou est-ce une transition maîtrisée (présence d'un verger) ? La gravure de Rouffach présente un paysage agricole très dense tout autour de la ville, dans un contexte collinaire. Autour des parcelles on distingue parfois des haies d'arbres. Ces haies ne font néanmoins jamais le tour complet des parcelles. En effet, elles semblent majoritairement orientées dans le sens perpendiculaire à la pente. La gravure de Wissembourg, présente comme celle de Rouffach, un paysage très collinaire. De nombreuses parcelles cultivées apparaissent autour

de la ville et sur le piémont. Nombre de ces parcelles sont entourées de haies, ou du moins un côté de la parcelle. En arrière-plan de la gravure de Landau, devant les montagnes, un magnifique paysage bocager est représenté. Les haies y sont denses et homogènes, elles dominent tout le piémont de la montagne. La gravure de Daniel Specklin représentant Strasbourg en 1588 témoigne quant à elle de systèmes de haies même en plaine, puisqu'on voit tout autour de la ville des petits systèmes bocagers au milieu des cultures. D'un point de vue historique, nous sommes toujours dans le « Second Âge d'Or » de l'Alsace. Néanmoins, la Guerre des paysans de 1525 et l'épidémie de peste qui a touché l'Alsace en 1541 semblent avoir fait pas mal de ravages qui se traduisent par l'abandon de certains espaces. Pour cette période, allant de 1500 à 1550, ce sont essentiellement les gravures de Sébastien Münster qui ont permis de justifier l'existence et l'extension des systèmes de haies dans l'espace rhénan. La densité, l'homogénéité et l'extension de ces représentations de systèmes de haies semblent indiquer une présence encore marquée par les haies dans ces régions à cette période-là, malgré leur dégradation bien visible dans certains cas.

Les figures 6.7 et 6.8 composées uniquement de gravures réalisées pour l'essentiel par Merian (1664) permettent de continuer ce travail de caractérisation de la représentation des systèmes de haies dans l'espace rhénan à travers le temps. Elles détaillent les paysages de Eltville-Am-Rhein (1646), Stein Am Rhein (1653), Soultzbach (1653), Landau (1653), Strasbourg (1653), Wissembourg (1653), Guémar (1653), Lauffenbourg (1653), de Elsass Babern (1653), Rotelen (1653) et Freiburg (1689, 1713 et 1715). Sur l'ensemble de ces gravures, on reconnaît en arrière-plan des paysages de haies bien caractéristiques associés à des terres labourées. La gravure de Stein-Am-Rhein est particulièrement intéressante car elle présente un système bocager dense et complexe, puisqu'on note la présence de deux niveaux de maillage emboîtés du bocage : un premier niveau de haies en apparence plus visible et plus grand au sein duquel se distingue un second niveau de haies plus ténu, découpant le parcellaire en petites parcelles. A l'inverse de Stein-Am-Rhein, la gravure de Soultzbach présente pour la même année, un paysage de haies moins dense mais tout de même présent. On pourrait suggérer sur cette gravure que la forêt vient grignoter les pâturages et les terres labourées indiquant une mutation dans l'occupation du sol. Ce phénomène de grignotage par la forêt s'observe sur d'autres gravures comme celle de Landau, de Wissembourg de Lauffenbourg et de Rotelen. Cette fermeture des paysages s'explique parfaitement en raison du contexte économique, politique et sanitaire dans lequel se trouve l'Alsace à cette période. En 1644, l'Alsace sort à peine de la Guerre de 30 ans qui a causé la perte de 60 % de la population (perte de guerre et famine/épidémie post-guerre). Comme bien souvent après les guerres, de nombreux espaces sont abandonnés, souvent les espaces les plus éloignés des habitations et les moins fertiles. On sait qu'à ces périodes-là, de nombreux villages (10 %) ont disparu, expliquant la fermeture de certains paysages (Drouot, 1961).

La figure 6.9 présente des peintures de 1737 à 1822. Sur ces œuvres on découvre des paysages où les réseaux de haies sont beaucoup moins denses qu'avant, parfois même relictuels. Les raisons de ces évolutions sont à replacer dans un contexte économique et politique bien particulier. Durant cette période-là, le contexte politique et économique s'améliore par comparaison à celui de la guerre de 30 ans. Vers les années 1700, une politique active va se traduire par une grande phase d'immigration pour repeupler l'Alsace. Suisses, Hollandais, Savoyards, Bavares, etc. viennent s'installer. Ainsi, on imagine que la reconquête

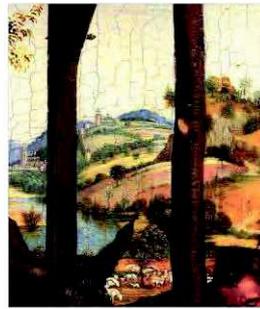
des territoires impliquant la remise en cultures des terres se traduit par de nouveaux paysages (arrachage des haies ?). D'autre part, on sait qu'à cette période, la vigne gagne beaucoup de place dans les cultures (Sittler, 1956). Pendant plus de 70 ans l'Alsace va connaître une période de calme et même une période de progrès, jusqu'en 1775 environ.

Les figures 6.10, 6.11 et 6.12 présentent les dernières œuvres de notre étude et cela sur une période allant de 1823 à 1954. Avec un climat de guerre quasi permanent à partir de l'annexion de l'Alsace-Lorraine en 1870, après la Guerre franco-prussienne, puis les 1^{ère} et 2^{ème} Guerres Mondiales, les paysages représentés témoignent de systèmes de haies relictuels. Les beaux paysages de haies et même de bocage observés 200 ans plus tôt ont disparu. En Alsace, la fin des années 1950 est aussi synonyme de grands remembrements qui impliquent l'arrachage des haies afin d'agrandir les parcelles et rentabiliser un travail avec des machines de plus en plus puissantes.

1444



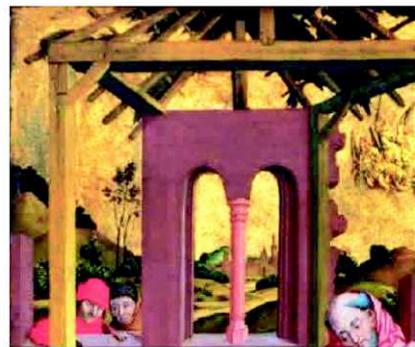
La pêche miraculeuse
(Konrad Witz, 1444)
Conservé à Genève au Musée d'Art et d'Histoire ; Image : wikipedia



Adoration des bergers
(Schongauer, 1480)
Conservé au musée Unterlinden de Colmar.
Photo : wikipedia



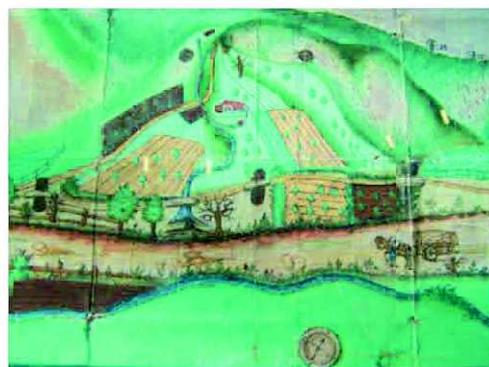
La nativité
(Konrad Witz, 1450)
Conservé au Kunstmuseum Basel ; Photo : D. Schwartz



La nativité
(Schwäbischer Meister, 1490)
Conservé au Kunstmuseum de Bâle
Photo : D. Schwartz



Saint Martin coupant son manteau
(Meister Von Sierentz, 1445/1500)
Conservé au Kunstmuseum Basel
Photo : D. Schwartz



Plan d'abornement du Prieuré de Saint-Gilles du Hohlandsbour
(1500)
Archives Départementale du Haut-Rhin (ADHR)
Photo : D. Schwartz



Le combat de Saint George contre le Dragon
(Meister Von Sierentz, 1445/1450)
Conservé au Kunstmuseum Basel
Photo : D. Schwartz



Le martyre de Saint-Sébastien
(1500/1510)
Conservé au musée Augustinermuseum de Freiburg
Photo : D. Schwartz



Retable avec scènes de la vie de la Vierge et de la Passion
(1450)
Conservé au musée Augustinermuseum
Photo : D. Schwartz

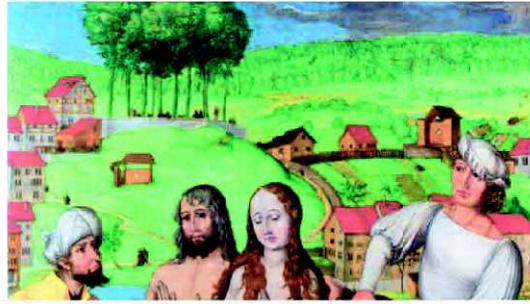
1500

Figure 6.4 : Planche n°1 des œuvres représentant des paysages de haies dans l'espace Rhénan ; Source : Lucie Froehlicher

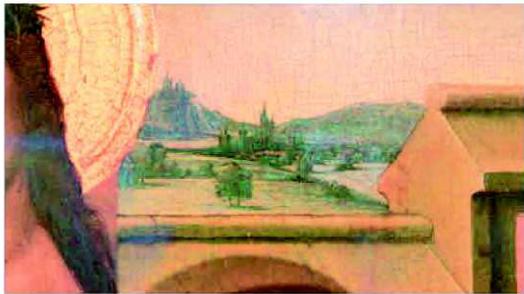
1517



Vitraux Heimholfer d'après un dessin de H. Baldung Grien (Freibur, 1517)
Conservé au musée Augustinermuseum de Freiburg
Photo : D. Schwartz



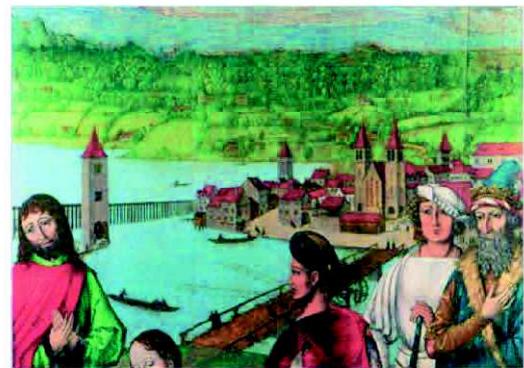
Felix et Regula
Hans Leu Der Alterer, fin XVème siècle
Image : Wikipedia



Ecce Omo
(XVème siècle)
Conservée au musée Unterlinden de Colmar
Photo : D. Schwartz



Wasserkirch
Hans Leu Der Alterer, fin XVème siècle
Image : Wikipedia



Hans Leu der Alterer, fin XVème siècle
Image : Wikipedia



Schmerzensmann zwischen Marie und Johannes
Lucas Cranach, 1524
Conservée au musée Augustinermuseum
Photo : D. Schwartz

1524



Hans Leu der Alterer, fin XVème siècle
Image : Wikipedia

Figure 6.5 : Planche n°2 des œuvres représentant des paysages de haies dans l'espace Rhénan ; Source : Lucie Froehlicher

1523



(Lucas Cranach l'Ancien, 1523)
Conservé au musée Unterlinden de Colmar
Photo : D. Schwartz

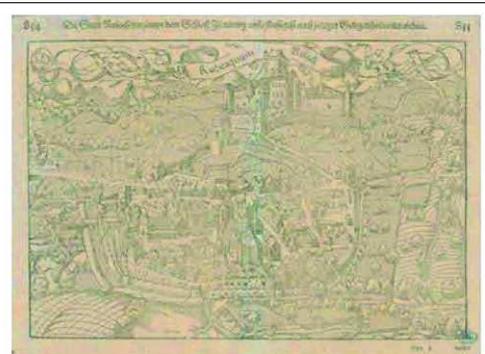


Ein Landsknecht, ein Reishaufen und Prostituierte
mit der lauernden Ted im baum ; Urs Graf, 1524
Conservée au Kunstmuseum Basel
Image : Numistral.fr

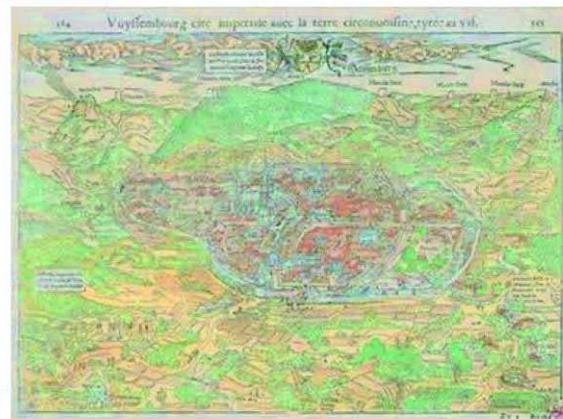
1550



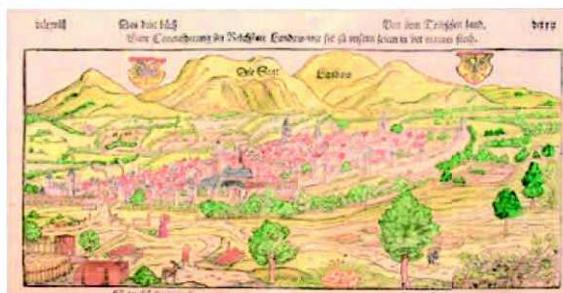
Gravure de la ville de Sélestat (67)
(Sébastien Munster, 1550)
Image ; Münster, 1555



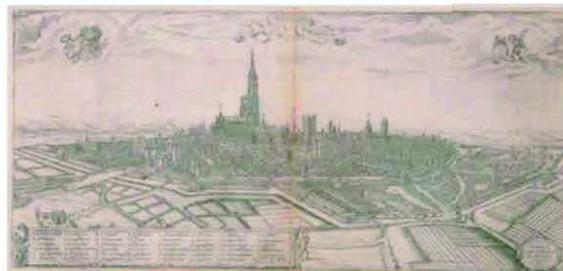
Gravure de la ville de Rouffach
(Sébastien Munster, 1550)
Image : Numistral.fr



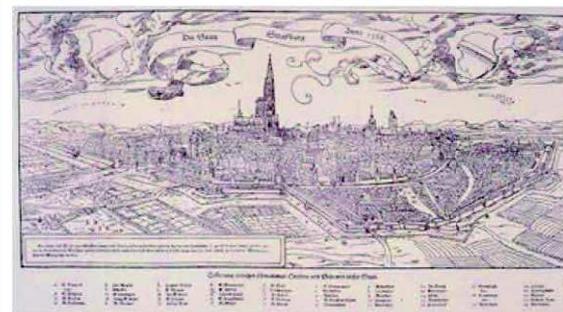
Gravure de la ville de Wissembourg
(Sébastien Munster, 1550)
Image : Numistral.fr



Gravure de la ville de Landau
(Sébastien Munster, 1550)
Image : Numistral.fr



Gravure de la ville de Strasbourg
(Daniel Specklin, 1587)
Image : Numistral.fr

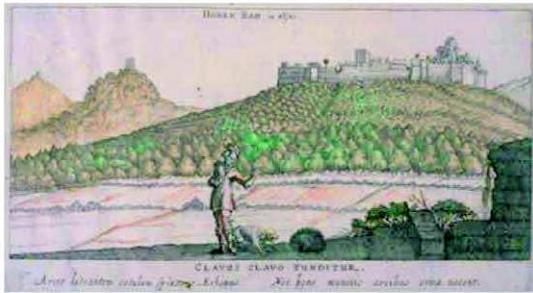


Gravure de la ville de Strasbourg
(Sébastien Munster, 1588)
Image : Numistral.fr

1587

Figure 6.6 : Planche n°3 des œuvres représentant des paysages de haies dans l'espace Rhénan ; Source : Lucie Froehlicher

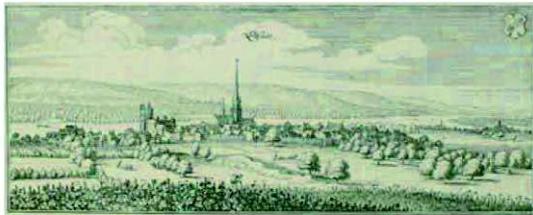
1644



Gravure sur cuivre du Château du Haut-Barr
(Source Inconnu, 1644)
Image : Numistral.fr



Gravure de la ville de Landau
(Matthai Merian, 1653)
Image : Numistral.fr



Eiltville Am Rhein
(Matthieu Merian, 1646)
Image : Numistral.fr

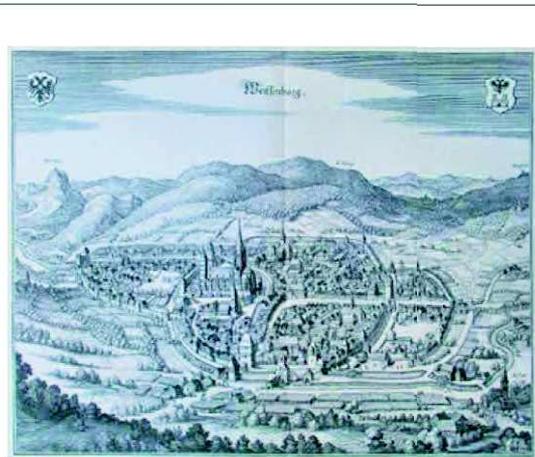


Gravure de la ville de Strasbourg
(Matthieu Merian, 1653)
Image : Numistral.fr

1653



Stein Am Rhein
(Matthaeus Merian, 1653)
Image : Numistral.fr



Gravure de la ville de Wissembourg
(Matheu Merian, 1653)
Image : Numistral.fr



Gravure de la ville de Soultzbach
(Matthe Merian, 1653)
Image : Numistral.fr

1653

Figure 6.7 : Planche n°4 des œuvres représentant des paysages de haies dans l'espace Rhénan ; Source : Lucie Froehlicher

1653



Gravure de la ville de Guémar
(Matthieu Merian, 1653)
Conservée au musée Unterlinden de Colmar
Image : Numistral.fr



Gravure de la ville de Lauffenburg
(Matthieu Merian, 1653)
Conservée au musée Unterlinden de Colmar
Image : Numistral.fr

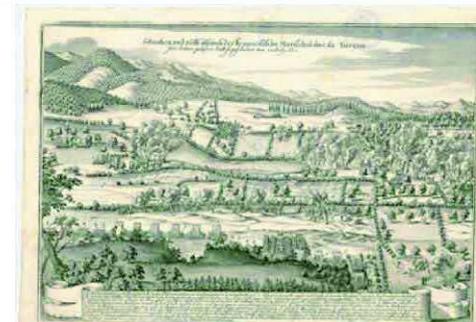


Gravure d'Elsass Babern
(Matthieu Merian, 1653)
Conservé au musée Unterlinden de Colmar
Image : www.BillerAntik.de



Gravure de Rotelen
(Matthieu Merian, 1653)
Image : www.BillerAntik.de

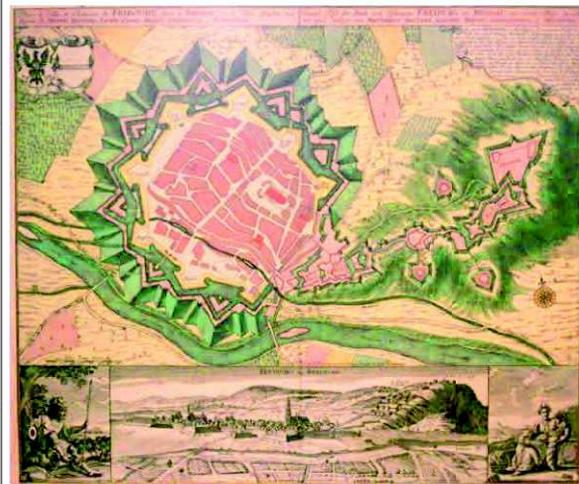
1675



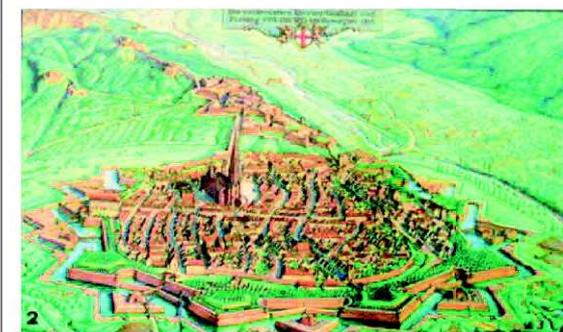
Situation und orth allwoh der francaishe Marishal du de Turene sein
leben gelassen hatt, so geschehen des 27 July 1675
(Caspar Merian, 1682) ; Image : www.numistral.fr



Die Gemarkung der Städt Freiburg
(Anonym, 1689)
Musée historique de la ville de Fribourg ; Photo : Dominique Schwartz



Plan de la Ville et Chateaux de Fribourg
(Tabias Conrad ; 1713)
Musée historique de la ville de Fribourg ; Photo : Dominique Schwartz



Die vorderostern Universitätsstadt und festung Freiburg In Breisgau ;
(Anonym) 1715)
Musée historique de la ville de Fribourg ; Photo : Dominique Schwartz

1715

Figure 6.8 : Planche n°5 des œuvres représentant des paysages de haies dans l'espace Rhénan ; Source : Lucie Froehlicher

1737



Vue Cavalière de Colmar
(Ambroise Müller, 1737),
Conservée au Musée Unterlinden de Colmar ; Photo : D. Schwartz

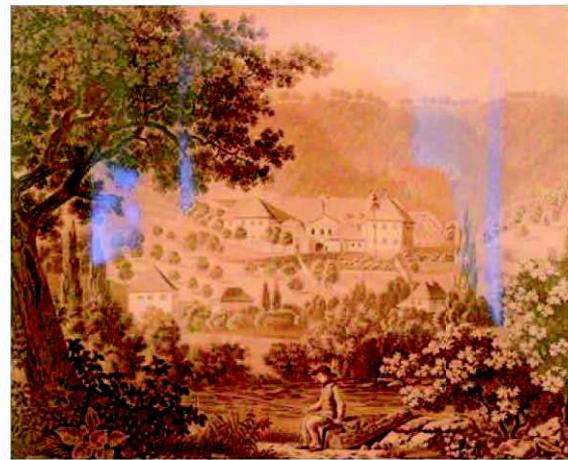


Vue de la carrière de Muttenz sur Bâle
(Peter Birmann, 1812)
Conservé au Kunstmuseum de Bâle
Image : www.numistral.fr

1775



Vue du Haut-Rhin (vers 1775),
(Walter François, 4ème quart du XVIIIème siècle)
Conservé au Musée Unterlinden, Base de données « Joconde ».



Die Karthause
(Wilhelm Johannes Esaias Nilson nach Rudolf Follnveiden, Freiburg nach 1821)
Conservée au Musée Historique de Freiburg ; Photo : Dominique Schwartz

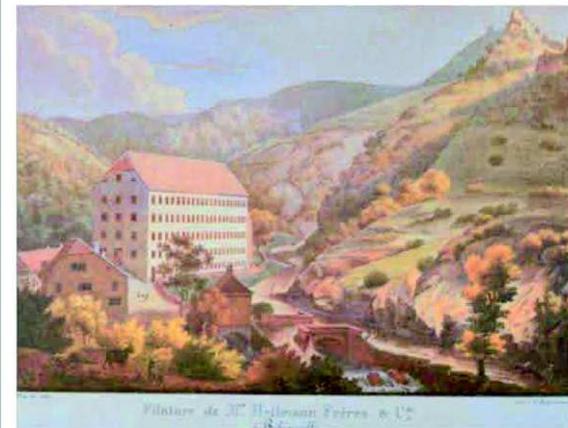


Weg an der Kartause
Anton Küsswieden ; Freiburg vor 1794 ;
Conservée au Musée historique de Freiburg ; Photo : Dominique Schwartz

1800



Lithographie de "Sainte Marie aux Mines"
Engelmann Godefroy, 1800
Image : www.numistral.fr



Filature de Mrs Heimann Frères et Cie à Ribeauvillé
(Engelmann Godefroy, 1822)
Image : BNUS/galica.bnf.fr

1822

Figure 6.9 : Planche n°6 des œuvres représentant des paysages de haies dans l'espace Rhénan ; Source : Lucie Froehlicher

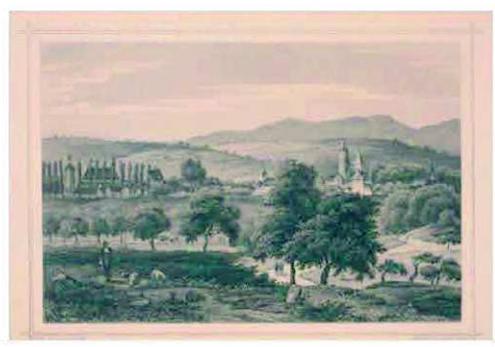
1823



Fabrique d'horlogerie et de Quincaillerie de Mr Japy Frères (Haut-Rhin)
(Engelmann Godefroy, 1823)
Source: Bwww.gallica.bnf.fr



Goldbach
(Adolphe Braun, 1858-1859)
Cabinet des Estampes (Colmar, Bibliothèque Municipale)
Image : Unterlinden, 2011



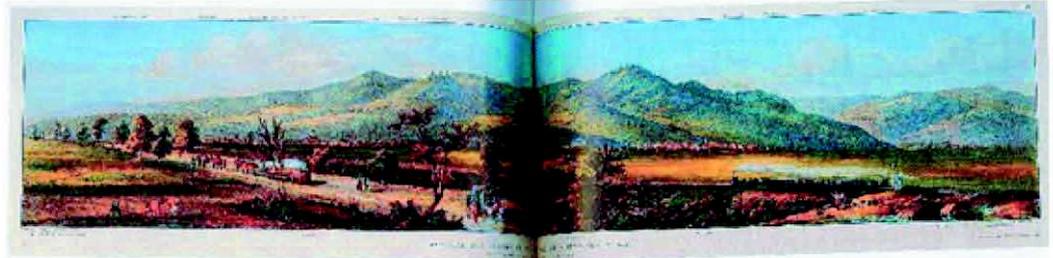
Wissembourg In Elsass
(Ludwig Rohbock, 3ème quart du XIXème siècle)
Conservé au Musée Unterlinden de Colmar
Image : www.numistral.fr



Ribeauville
Auguster Cammisar, 1873)
www.galeriekiwior.com

1873

1842



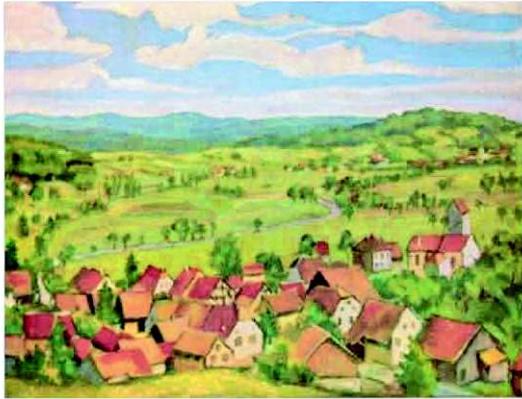
De Dambach au château de Kintzheim
(Théodore Muller, 1842)
Cabinet des Estampes de Strasbourg Source : Unterlinden, 2011



Augefertigt auf Anordnung des Gemeinderathes durch Vol. Wilh. Ferch von Freiburg in Jahr 1852
Conservé au Musée Historique de Freiburg ; Photo : Dominique Schwartz

Figure 6.10 : Planche n°7 des œuvres représentant des paysages de haies dans l'espace Rhénan ; Source : Lucie Froehlicher

1904



Carte postale de la ville d'Altkirch
(Inconnu, XXème siècle)
Image : www.galica.fr



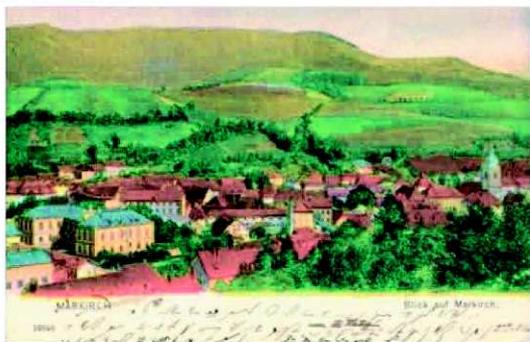
Carte postale de la ville de Markirch.
(Non renseigné, XXème siècle)
Image : www.galica.fr



Un matin d'hiver dans la forêt noire
(1904 ; Hermann Dischler)
Conservée au Musée Augustinermuseum de Freiburg
Photo : D. Schwartz



Landschaft auf der Barr
(Hans Thomas, 1911)
Conservée au Augustinermuseum
Photo : Lucie Froehlicher



Dessin de la ville de Markirch
(Non renseigné, 1908)
Image : www.galica.fr

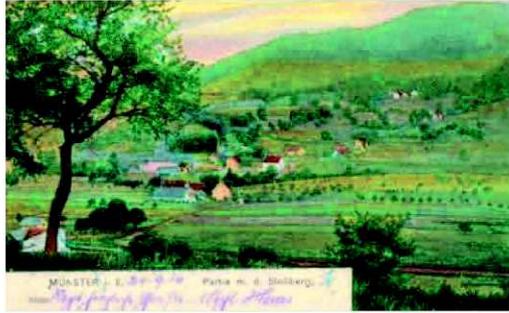


Pré avec Arbres, près de Sasbach ;
(Vitus Staudach, 1912)
Conservée au Musée Augustinermuseum de Freiburg
Photo : Dominique Schwartz

1912

Figure 6.11 : Planche n°8 des œuvres représentant des paysages de haies dans l'espace Rhénan ; Source : Lucie Froehlicher

1914



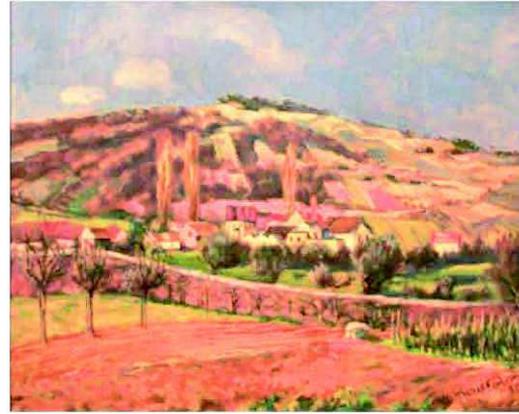
Carte postale de la ville de Munster
(Non renseigné, 1914)
Image : www.galica.fr



Vallée Alsace des Vosges du Nord
(Gustave Mullet, 1854-1954)
Image : www.galeriekiwior.com



Zoom sur l'en tête du Plan d'assemblage de
la commune d'Habsheim au 1/10 000
(MCARTE554 / 1918)
Image : BNUS / MCARTE554



Village Alsacien avec colline au loin
(François Charles Schenckbecher, 1935)
Image : www.galeriekiwior.com

1935



Vue générale de Ribeauvillé
(Edouard Hirth, 1954)
Image : mamcs.videomuseum.fr



Paysage
(Alfred Giess, 1957)
Image : www.galeriekiwior.com

1957

Figure 6.12 : Planche n°9 des œuvres représentant des paysages de haies dans l'espace Rhénan ; Source : Lucie Froehlicher

6.3.2 Synthèse de l'évolution des systèmes de haies en relation avec les événements historiques.

Afin de visualiser l'évolution des systèmes de haies au sein de l'espace du Rhin supérieur depuis le XV^{ème} siècle, nous proposons une frise chronologique en lien avec l'histoire de cet espace (figure 6.13).

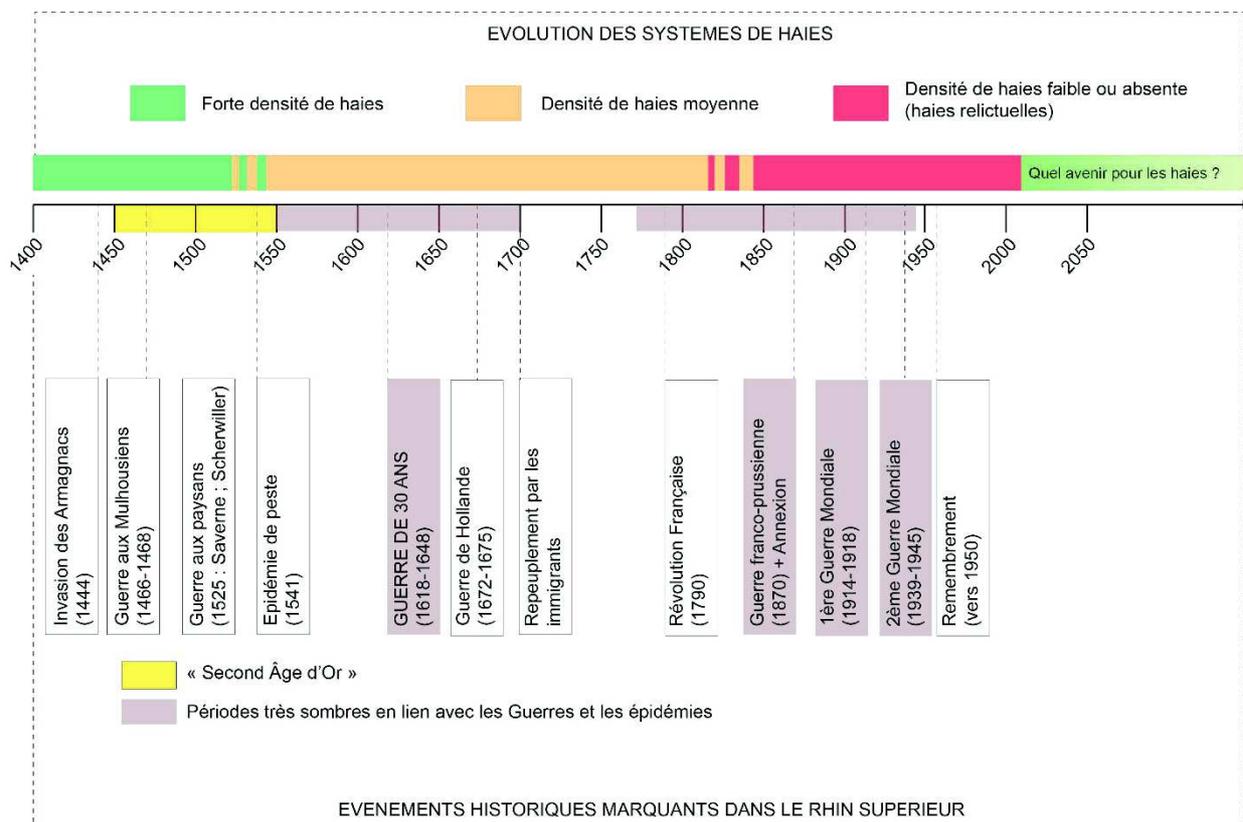


Figure 6.13 : Frise chronologique de l'évolution des haies dans le Rhin Supérieur en fonction des événements historiques ;
Source : Lucie Froehlicher

Si l'on observe dans un premier temps l'axe des événements historiques qui ont touché le Rhin supérieur depuis les années 1444, on se rend compte que les guerres et autres tensions économiques, sociales et politique sont quasi constantes jusqu'à la moitié du XX^{ème} siècle. De l'invasion des Armagnacs à la 2^{ème} Guerre Mondiale, cet espace a été littéralement ravagé et les villages exsangues de leur population (60 % de la population disparaît en Alsace pendant la Guerre de Trente Ans) (Vogler *et al.*, 1990).

Si l'on observe en parallèle de ces événements historiques l'évolution des systèmes de haies, on comprend que les conséquences de ces événements sur les paysages agricoles est sans appel. En raison des grandes pertes humaines, de nombreux espaces sont laissés à l'abandon, laissant la végétation reprendre le dessus. Ainsi, on voit des paysages entiers disparaître sous un couvert forestier sur de longues périodes et en plusieurs phases.

La première grande phase de disparitions des systèmes de haies par le grignotage progressif de la forêt sur les terres labourables est à mettre en lien avec la Guerre de 30 ans dont ces conséquences vont se ressentir sur le monde agricole jusque vers 1750. Ainsi, sur le massif du Rossberg entre Masevaux et Thann, l'abandon des pâturages a lieu en 1634, paroxysme de la crise de la guerre de Trente Ans. « Entre 1633 et 1639, la population baisse drastiquement, le nombre d'agriculteurs aussi. Grandes famines, les gens en sont réduits à manger des racines et on signale des cas de cannibalisme. Les paysans craignent de s'éloigner de la ville » (Drouot, 1961). Il faut attendre entre 1722 et 1785 pour que les forêts pionnières soient défrichées pour rouvrir les pâtures (Goepf, 2007). En plaine, de nombreux immigrants des pays voisins viendront dès 1700 combler les pertes humaines du Rhin Supérieur. Ils vont défricher à nouveau ces territoires sans pour autant y planter des haies, signe peut-être de pratiques agricoles différentes.

Après la Révolution française (1789), les paysages de haies n'ont pas repris l'emprise originelle que l'on a connue trois siècles auparavant. Au contraire, ces systèmes parfois préservés dans certaines villes restent majoritairement relictuels, et il nous est impossible de parler de paysages de bocages comme nous avons pu le faire pour les périodes précédentes. Le XX^{ème} siècle, bien chargé historiquement avec ses deux Guerres Mondiales et les grands remembrements des années 1950 sonne le glas des systèmes de haies dans cet espace.

Aujourd'hui, il est encore possible d'observer des paysages de haies dans certains villages du Rhin supérieur. Il s'agit de communes où le remembrement « n'est pas passé » sur toutes les terres agricoles. En Alsace, c'est dans le Sundgau que l'on retrouve essentiellement ces espaces préservés de cette uniformisation des paysages, en particulier dans les zones collinaires relativement pentues. Néanmoins, il faut imaginer qu'il y a plusieurs siècles de ça, la majorité des paysages étaient recouverts de haies.

6.4 Résultats de l'analyse LIDAR à l'échelle de l'Alsace

Afin de se rendre compte de l'ampleur que pouvait prendre les systèmes de haies en Alsace, à leur apogée vers les XV/XVI^{ème} siècles, nous avons réalisé une étude sur la détection manuelle des haies et des structures associées, les rideaux de culture, à partir des images LIDAR, des photos aériennes disponibles sur l'Alsace et de relevés de terrains.

6.4.1 Bilan sur la couverture des rideaux de culture en Alsace à partir des images LIDAR disponibles et des prospections de terrains.

La figure 6.14 présente l'emprise estimée des systèmes de haies d'après les relevés LIDAR, satellitaires et de terrain. Ce sont les structures de type rideaux de culture et les linéaires de haies existant qui ont servi à estimer cette emprise, confortée par ailleurs par les toponymes (figure 6.1) et les mentions. La zone couverte, en vert, recouvre en termes de topographie toutes les zones montagneuses, collinaires et les piémonts. Ainsi, on note que des systèmes de haies sont détectables sur une superficie équivalente à 50 % du territoire. Des rideaux de culture sont détectés jusqu'à 950 m d'altitude, comme par exemple autour des villages de

Geishouse et Goldbach-Altenbach. Notons deux points importants. En premier lieu, toute la zone en vert ne correspond pas à des espaces occupés par des haies, ne serait-ce que du fait de la présence permanente de forêts dans de nombreux secteurs. Toute la zone en blanc ne correspond pas forcément à une zone exempte de haies. Simplement, dans cette unité cartographique, l'absence de reliefs marqués ne permet pas la formation de rideaux de culture, témoins privilégiés de ce type de structure.

Les cartouches de LIDAR et d'orthophotos de la figure 6.14 illustrent quelques exemples de ces structures de haies et rideaux de culture associés à divers endroits du territoire. Quelques belles reliques de ces structures perdurent dans le Bas-Rhin et encore plus dans le Haut-Rhin.

6.4.2 Reconstitution des paysages : l'Alsace, un territoire de haies

Avec une couverture de haies qui était bien plus généralisée dans le passé, on imagine bien que les paysages d'autrefois devaient être bien différents de ceux d'aujourd'hui. En d'autres termes, la lecture des paysages actuels ne permet pas forcément de les visualiser. Une première façon de reconstituer ces paysages du passé consiste à plaquer virtuellement des réseaux de haies sur les images LIDAR sur lesquelles les rideaux de culture témoignent de la présence passée de haies. L'hypothèse retenue est que chaque talus correspond à une haie. Nous avons testé ce modèle à partir d'un exemple, celui de Luemswiller dans le Sundgau (figure 6.15), village présentant de très nombreux rideaux de culture. Ceux-ci sont, dans leur grande majorité, perpendiculaires à la pente, et très resserrés (20m), l'écartement variant cependant avec la pente.

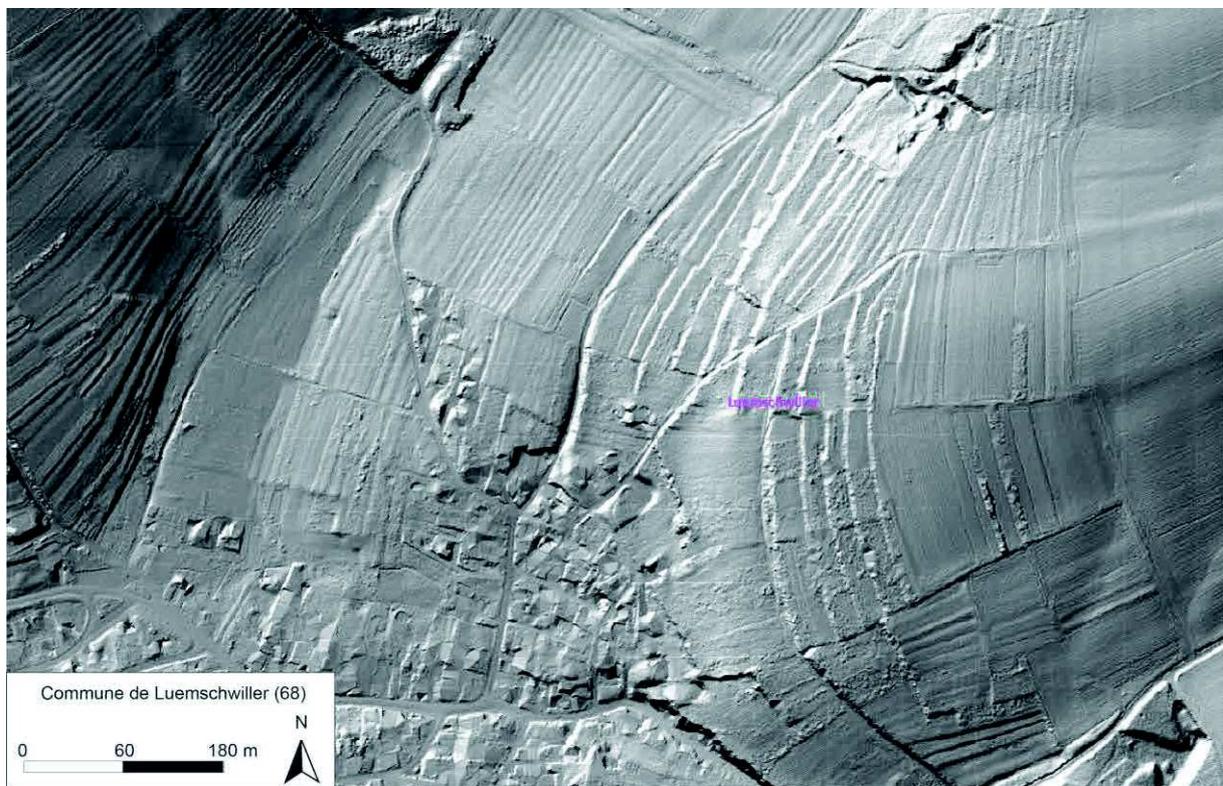


Figure 6.15 : LIDAR de la commune de Luemswiller (68) ; Source : Infogéo68

Si l'on implante virtuellement des haies sur l'ensemble des rideaux visibles sur l'image LIDAR, on obtient l'extension maximale du réseau de haies sur la zone considérée (figure 6.16).

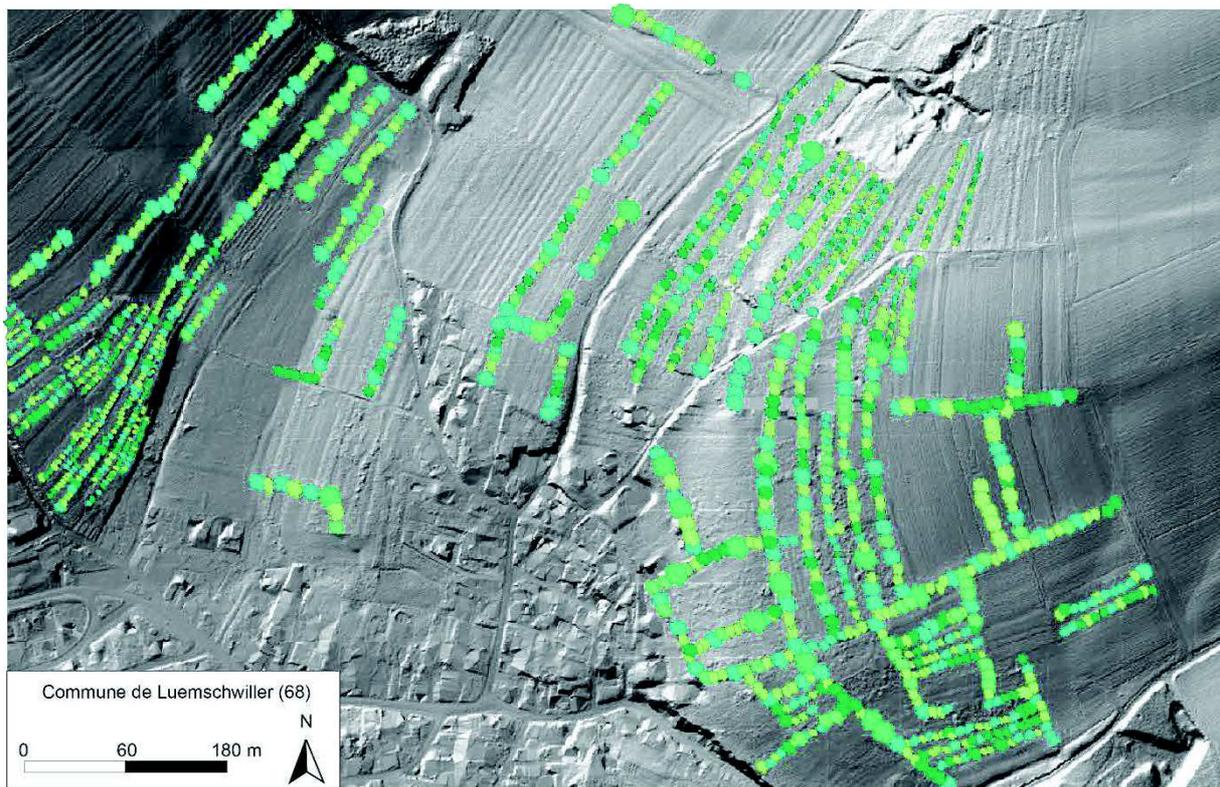


Figure 6.16 : Reconstitution du paysage de haies à partir du LIDAR de la commune de Luemswiller (68) ;
Source : Lucie Froehlicher à partir du fond Infogéo68

Ce type de paysage, en bandes très allongées, n'est pas sans rappeler les systèmes de haies parallèles entre elles et alignées sur les courbes de niveau, représentées sur les enluminures (figure 6.2) que nous avons désignées sous le nom de systèmes de haies en bandes isohypses, faute de nom consacré par l'usage. Ces systèmes semblent résulter d'une planification planimétrique, pour reprendre une expression de Chouquer (2007, 2009). Pour cet auteur, ces systèmes témoignent d'une mise en valeur collective de toute une portion du territoire sous l'égide d'une autorité, la régularité des bandes faisant supposer qu'aucune occupation antérieure ne vient contrarier cette planification, d'où une attribution aux époques médiévales.

En France, des systèmes de ce type encore fonctionnels ne semblent pas exister. Un survol sur Google Earth nous a en revanche montré que des parcellaires de ce type étaient relativement fréquents en république tchèque, notamment dans les Monts Métallifères, à la frontière allemande. Une prospection de terrain sur quelques zones présélectionnées nous a montré que ces réseaux de haies étaient bien associés à des rideaux de culture. L'espacement entre les haies est du même ordre de grandeur que dans les vallées alsaciennes et varie également avec la pente. Qui plus est, certaines des parcelles inter-haies sont encore cultivées. Les sites sélectionnés pour cette étude sont ceux de Peltlery/ Domašín ($50^{\circ}25'18.67''\text{N} / 13^{\circ}10'03.46''\text{E}$), Louny ($50^{\circ}24'22.53''\text{N} / 13^{\circ}48'48.28''\text{E}$) et Velké Chvojno ($50^{\circ}44'29.03''\text{N} / 14^{\circ}00'13.12''\text{E}$).

Sur le site de Peltlery/ Domašín (figure 6.17), on observe des systèmes de haies très denses caractérisés par de nombreuses bandes végétales très longues avec des linéaires de parfois

plus de 500 m de long, perpendiculaires à la pente et dont l'espacement entre chaque haie est mince et régulier en lien avec la valeur de la pente.

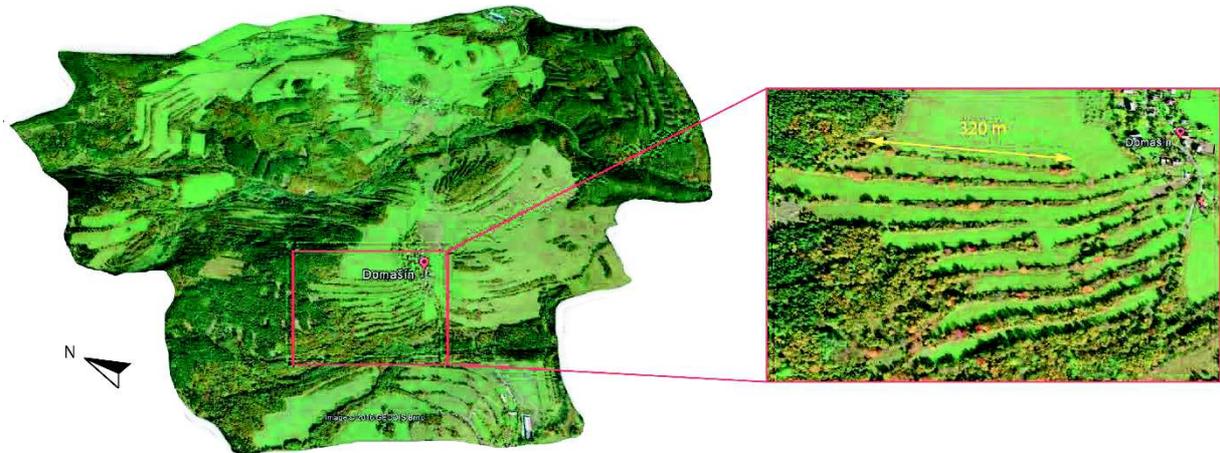


Figure 6.17 : Exemple de haies fonctionnelles à Pelttery / Domašín (République Tchèque) ; Source : Lucie Froehlicher d'après Google Earth

Un autre exemple de système de haies très dense et encore actif est observé à Louny sur une petite colline proche de la ville (figure 6.18). L'agencement de ces haies est différent du précédent, réticulaire et comparable à un système de bocage. De plus, à la différence du système de haies précédent, la plupart des parcelles est encore cultivée, témoignant de la persistance de ces systèmes ancestraux même au XXI^{ème} siècle. Autre différence, un certain nombre de haies s'est installé non pas sur des rideaux de culture, mais sur des murs (haies sur pierriers), en particulier des haies orientées dans le sens de la pente.



Figure 6.18 : Exemple de haies fonctionnelles à Louny (République Tchèque) ; Source : Lucie Froehlicher d'après Google Earth

Enfin, un dernier secteur d'étude (Velké Chvojno), nous a permis de découvrir des structures de haies encore plus denses et plus importantes que les précédentes (figure 6.19). Avec des haies mesurant parfois plus de 1 km de long et espacées d'une vingtaine de mètres, ces

systèmes révèlent les rideaux de culture les plus impressionnants jamais observés jusque-là atteignant parfois plus de 5 mètres de haut (figure 6.20). Ici, ces systèmes ne sont plus associés à des activités agricoles, mais à des prairies. Certains secteurs, laissés à l'abandon montrent une colonisation par la forêt. Sur l'image de Google Earth, des alignements d'arbres en milieux maintenant forestiers sont les derniers témoins du réseau de haies. Cet exemple montre, qu'avec beaucoup de retard sur l'Alsace, ces systèmes de haies sont également en déclin en république tchèque.

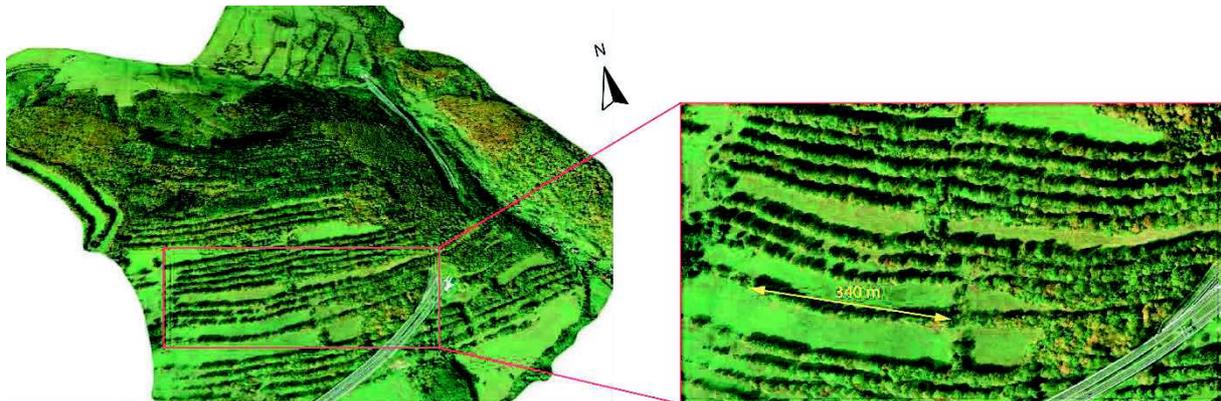


Figure 6.19 : Exemple de haies fonctionnelles à Velké Chvojno (République Tchèque) ; Source : Lucie Froehlicher d'après Google Earth



Figure 6.20 : Rideau de culture du site de Velké Chvojno en République Tchèque ; Source : Lucie Froehlicher

6.5 Interprétations et reconstitutions des paléo-paysages

La présence généralisée des rideaux de culture dans le Rhin Supérieur permet d'établir un bilan clair : les haies ont été présentes dans la majorité du territoire et ce depuis plusieurs

siècles. Les premières mentions datant du IX^{ème} siècle nous donne la fourchette basse des témoins de ces implantations. L'étude des toponymes et du LIDAR précise la spatialisation de ces structures pour l'Alsace avec une meilleure documentation pour le Haut-Rhin. L'étude du LIDAR permet de créer une carte caractérisant l'extension des rideaux de culture, plus de 70 % du territoire potentiel (zones vallonnées) est encore couvert de ces structures qui témoignent de l'implantation d'anciennes haies. Néanmoins, en raison d'une couverture LIDAR du Bas-Rhin très incomplète et de l'absence ou perte des ouvrages anciens pour ce département, nous nous sommes résignée à ne pas approfondir l'étude sur cette zone, sans les occulter toutefois. Les biais de détection en lien avec la forme des rideaux de culture sont non négligeables. Ainsi, la confusion avec des terrasses, des failles, etc. constitue une des limites majeures quant à l'interprétation des résultats de l'analyse LIDAR. Seules les prospections de terrain permettent de lever ces biais. Pour l'étude des toponymes, nous rappelons les incertitudes des sens des mots hag, heck, hagen, etc. auxquels différentes significations ont pu être attribuées correspondant à des haies, des haies défensives/ des châteaux ou des forêts. Ainsi, il faut rester prudent lors de l'utilisation de ces toponymes. Malgré ces limites d'interprétation, cette étude spatio-temporelle sur les haies présente un grand intérêt, et reste pour le moment la première tentative de lecture et d'interprétation des structures de haies et rideaux de culture en Alsace. Les récentes études réalisées en parallèle de cette thèse, toujours sur la problématiques des haies, montrent que l'ampleur de l'extension de ces structures ne se limite pas à l'Alsace, mais se propage de manière continue aux Vosges, à la Lorraine et certainement encore plus loin (Schwartz *et al.*, travaux en cours). La problématique des systèmes de haies n'est pas uniquement une question étudiée sur la rive gauche du Rhin. Nous avons pu constater l'intérêt grandissant que portent nos voisins allemands sur ces structures de haies non loin de nos terrains d'étude dans le secteur de Freiburg (Allemagne) (communication orale, Benoît Sittler). Un travail conjoint avec nos collègues allemands permettrait de révéler l'ampleur de ces structures non pas en fonction de limites administratives mais bien en fonction de limites naturelles, qui permettent de regrouper des ensembles en fonction de leurs caractéristiques climatiques, topographiques, biologiques, morphologiques, hydrographiques. D'autre part, dépasser les frontières administratives pour ce type d'étude et prendre en compte les limites socio-culturelles permettraient aussi de retrouver des origines communes dans les pratiques historiques expliquant leurs origines, leurs formes, leurs rôles et leurs évolutions.

Chapitre 7 : Evolution spatio-temporelle des systèmes de haies à l'échelle des sites d'étude depuis le XIX^e siècle (Habsheim, Uffheim)

L'objet de ce chapitre est de présenter à l'échelle du site l'ensemble des évolutions remarquables, spatiales et temporelles, des rideaux de culture. Les résultats présentés ici résultent de l'analyse systématique de l'ensemble des lots de documents cartographiques propres à chaque site. Avec quelques disparités selon les sites, ces résultats proviennent de l'analyse des plans de finage du XVIII^e siècle, de plans et cartes allemandes du XIX^e siècle ainsi que de photos aériennes IGN couvrant la période de 1934 à l'Actuel. Enfin, l'analyse détaillée du LIDAR de chacun des bassins versants des sites révèle l'ensemble des structures agraires de types rideaux de cultures et autres structures semblables observables par ce type d'imagerie. Les relevés LIDAR permettent d'établir un bilan sur l'emprise de ces systèmes, associés autrefois à des haies. Le calcul des linéaires de rideaux de culture digitalisés permettra de quantifier l'évolution de ces structures à l'échelle de chaque commune. Enfin, une dernière étude sur l'évolution du parcellaire agricole est effectuée pour établir l'évolution des surfaces cultivées au fil du temps en relation avec l'évolution des formes du parcellaire et du linéaire de haies.

7.1 Les toposéquences de Habsheim : « HABS » et « CIG »

Les documents géo-historiques relatifs à la toposéquence « HABS » se composent d'une couverture LIDAR de l'ensemble de la commune (données CG68), de quatre cartes anciennes et d'un set de sept photos aériennes IGN de 1934 à 1991. Quatre dalles orthophotos IGN de 2007 (CG68) ont été utilisées comme support de digitalisation des cartes et photos anciennes, et comme base de l'état actuel du site. L'étude concerne l'ensemble de la commune, soit 15.63 km².

7.1.1 Etat de l'occupation du sol du site « HABS » en 1883 et 1885 à partir des cartes anciennes

La digitalisation de la carte de 1883, transposée sur l'orthophoto de 2007 pour en faciliter la lecture, met en évidence un couvert de haies assez dense réparti sur l'ensemble de la zone vallonnée à l'ouest de Habsheim (figure 7.1).

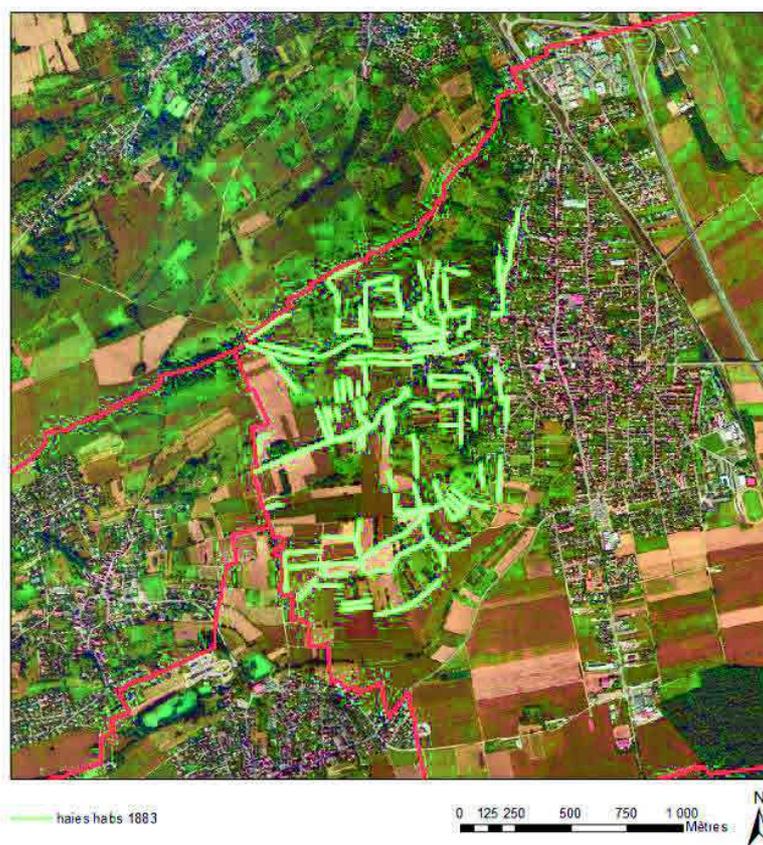
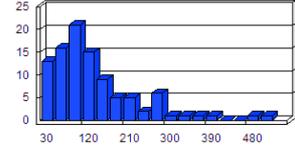


Figure 7.1 : Digitalisation des haies à partir de la carte ancienne de 1883 pour la commune de Habsheim : Source : Carte de 1883 Mulhausen Ost 3685 / BNUS, M Carte 1196-130

Les données statistiques de ce shapefile permettent de quantifier la densité de la couverture des haies (tableau 7.1). Ces données, ainsi que toutes les suivantes, sont produites directement à partir de la digitalisation sur ArcGis. Pour l'année 1883, un total de 14177 m de haies est mesuré, avec une longueur maximale de 511 m et un minimum de 30 m. L'ensemble de ces 14 km est à répartir d'après notre digitalisation sur un total de 98 haies détectées sur la commune. Leur longueur moyenne est de l'ordre de 145 m.

Tableau 7.1 : Données statistiques sur les haies pour l'année 1883 pour la commune de Habsheim ; Source : Lucie Froehlicher

Statistiques des haies (HABSHEIM/1883)		
Nombre total de haies	98	Distribution des fréquences Nombre de haies 
Longueur minimum (m)	30	
Longueur maximum (m)	511	
Longueur totale cumulée (m)	14177	
Longueur moyenne des haies (m)	144.7	

A titre de comparaison, le même travail de digitalisation a été réalisé sur une autre carte quasiment contemporaine de la précédente, datée de 1885. La figure 7.2 en présente le résultat. La densité des haies/talus digitalisés est tout aussi importante que celle de la carte de 1883.

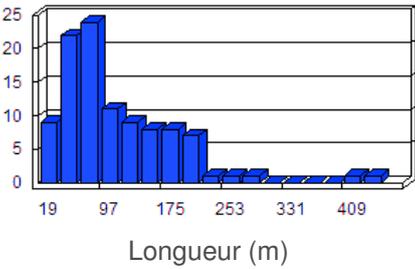


Figure 7.2 : Digitalisation des haies en 1885 pour la commune de Habsheim ; Source : Carte ancienne de Mulhouse et ses environs, Reichsamt, 1885, BNUS

De fait, les données statistiques de 1885 (tableau 7.2) sont relativement comparables à celles de 1883 : 103 haies, pour une longueur totale de 11859 m. Les longueurs minimum et maximum (19/440) sont proches de celles de 1883 (30/511). La cohérence des résultats suggère que bien qu'établies par des auteurs différents, avec sans doute des relevés de terrain et des systèmes de représentation graphique différents, ces deux cartes reflètent la réalité de l'état des haies. Avec un total de 15 km et 12 km pour respectivement les années 1883 et 1885 sur le ban de Habsheim, les haies/talus occupaient encore une place importante dans les paysages. La différence de 3 km de linéaire entre les deux années qui séparent les cartes n'est probablement pas liée à la perte de haies/talus sur la commune, mais plutôt à un

problème de figuration sur les cartes, en lien avec la subjectivité de l’auteur, ou le cahier des charges qu’il s’est fixé, sur les objets à représenter.

Tableau 7.2 : Données statistiques sur les haies pour 1885 pour la commune de Habsheim ; Source : Lucie Froehlicher

Statistiques des haies (HABSHEIM/1885)		
Nombre total de haies	103	Distribution des fréquences Nombre de haies 
Longueur minimum (m)	19	
Longueur maximum (m)	440	
Longueur totale cumulée (m)	11859	
Longueur moyenne des haies (m)	115	

7.1.2 Evolution de l’occupation du sol du site « HABS » de 1934 à 2007 à partir des photos aériennes IGN et d’une orthophoto de 2007

La digitalisation des haies a été effectuée à partir de cinq jeux de photos aériennes. Nous présenterons ici les résultats carte par carte, avant d’en faire une synthèse.

La figure 7.3 et le tableau 7.3 présentent les résultats de la digitalisation de la carte de 1934. Le constat est clair : il n’y a plus que quelques haies visibles sur le ban d’Habsheim. Seulement dix haies ont été digitalisées, correspondant à une longueur totale de de 1430 m. Une partie de cette apparente régression s’explique peut-être par la mauvaise qualité du cliché, qui aboutit sans doute à sous-estimer l’importance du système. Mais celle-ci ne peut tout expliquer. En effet, le cliché a été réalisé le 12 mai, à une date donc où le développement du feuillage permet de bien visualiser les haies, d’autant plus que l’année 1934 a connu un printemps chaud : les 15 et 16 avril, par exemple, la température a atteint 29°C à Strasbourg (www.meteo-paris.com/chronique/annee/1934).

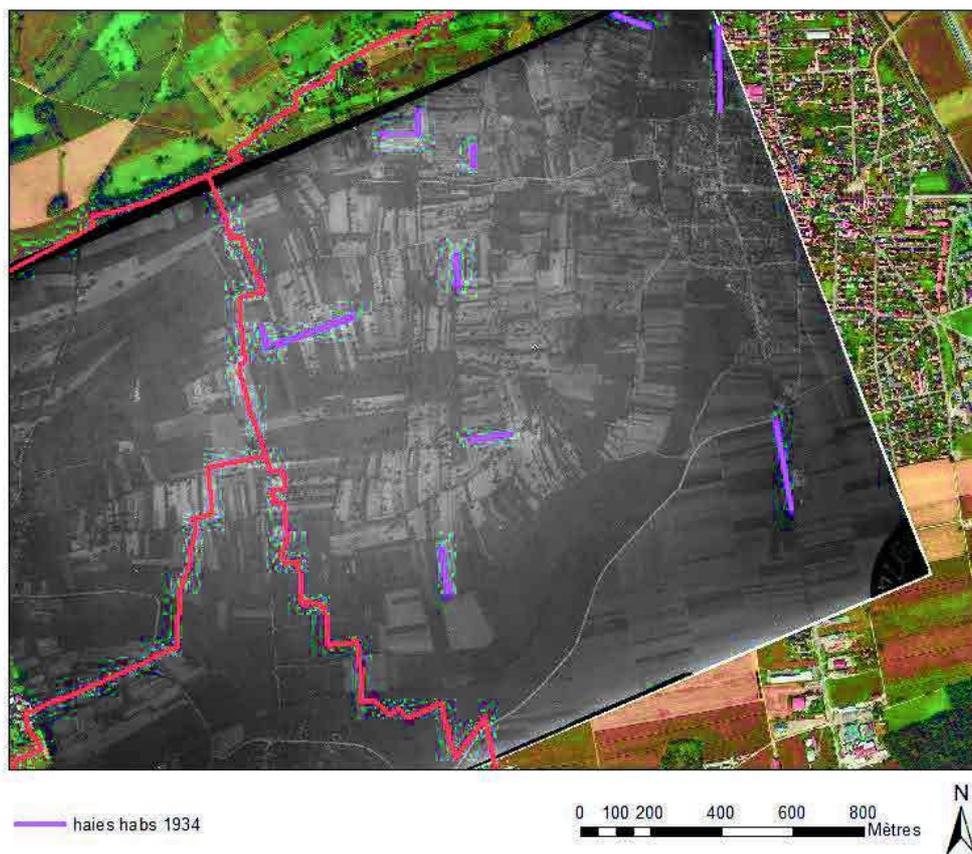


Figure 7.3 : Digitalisation des haies pour l'année 1934 pour la commune de Habsheim (photo : Géoportail) ; Source : Lucie Froehlicher

Tableau 7.3 : Données statistiques sur les haies pour la commune de Habsheim en 1934

Statistiques des haies (HABSHEIM/1934)		
Nombre total de haies	10	Distribution des fréquences
Longueur minimum (m)	55	Nombre de haies
Longueur maximum (m)	251	
Longueur totale cumulée (m)	1430	
Longueur moyenne des haies (m)	143	

Pour l'année 1951, on observe une augmentation de la densité des haies détectées (figure 7.4). Les données statistiques tirées de la digitalisation montrent qu'entre 1934 et 1951, le nombre des haies a quasiment doublé : on passe de 10 à 18 haies, leur longueur totale passant de 1430 m à 2001 m (tableau 7.4).

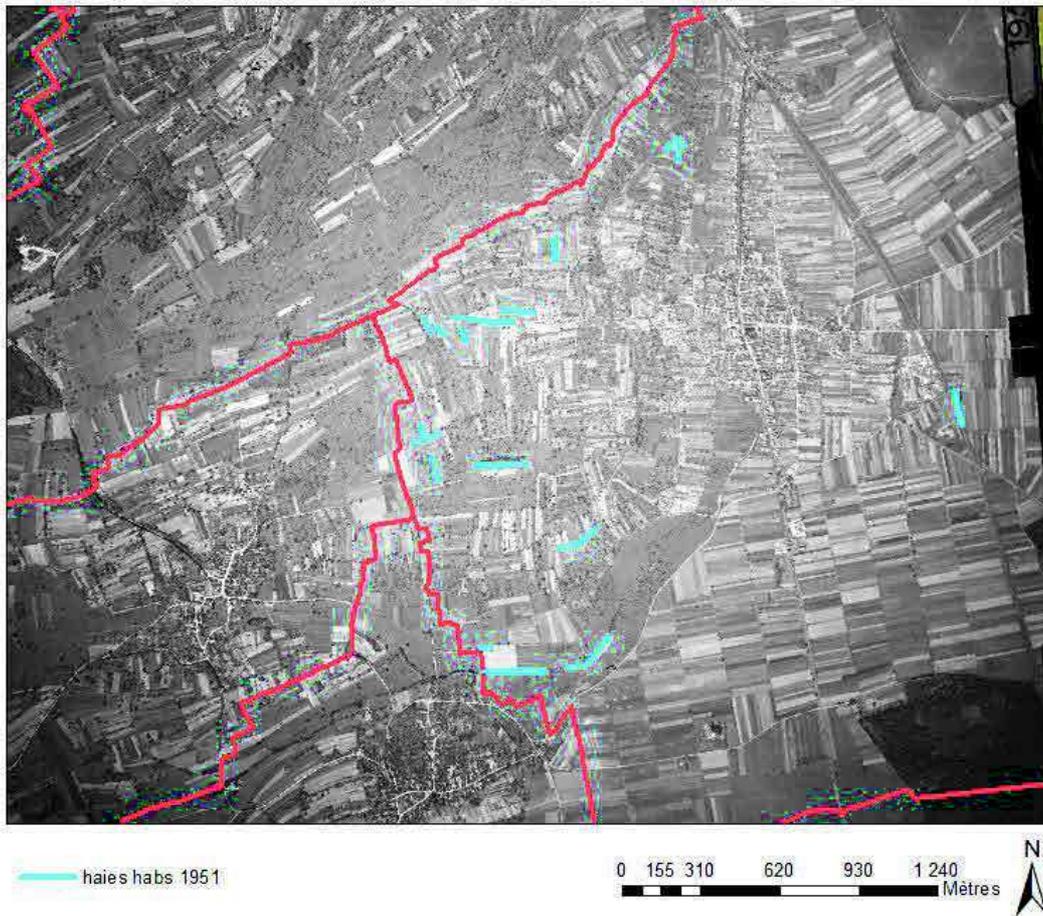


Figure 7.4 : Digitalisation des haies en 1951 pour la commune de Habsheim (photo : Géoportail) ; Source : Lucie Froehlicher

Tableau 7.4 : Données statistiques sur les haies pour la commune de Habsheim en 1951 ; Source : Lucie Froehlicher

Statistiques des haies (HABSHEIM/1951)		
Nombre total de haies	18	Distribution des fréquences Nombre de haies
Longueur minimum (m)	28	
Longueur maximum (m)	233	
Longueur totale cumulée (m)	2001	
Longueur moyenne des haies (m)	111	

L'analyse de la photo aérienne de 1963 montre une relative stabilité du nombre de haies digitalisées et de la longueur totale cumulée (figure 7.5 et tableau 7.5) : on passe de 18 à 25

haies détectées et de 2001 à 2048 m de linéaire. D'un point de vue historique, cette période-là (de 1950 à 1965 environ) correspond en Alsace à une période où les remembrements sont, d'une manière générale, très importants. De nombreuses haies, pour ne pas dire la quasi-totalité des haies sont arrachées afin d'ouvrir les terres labourables à une agriculture modernisée. Mais le Sundgau a été en partie préservé de ce remembrement en comparaison avec le Kochersberg dans le Bas-Rhin. Le ban d'Habsheim ne fait pas exception à cette règle locale.

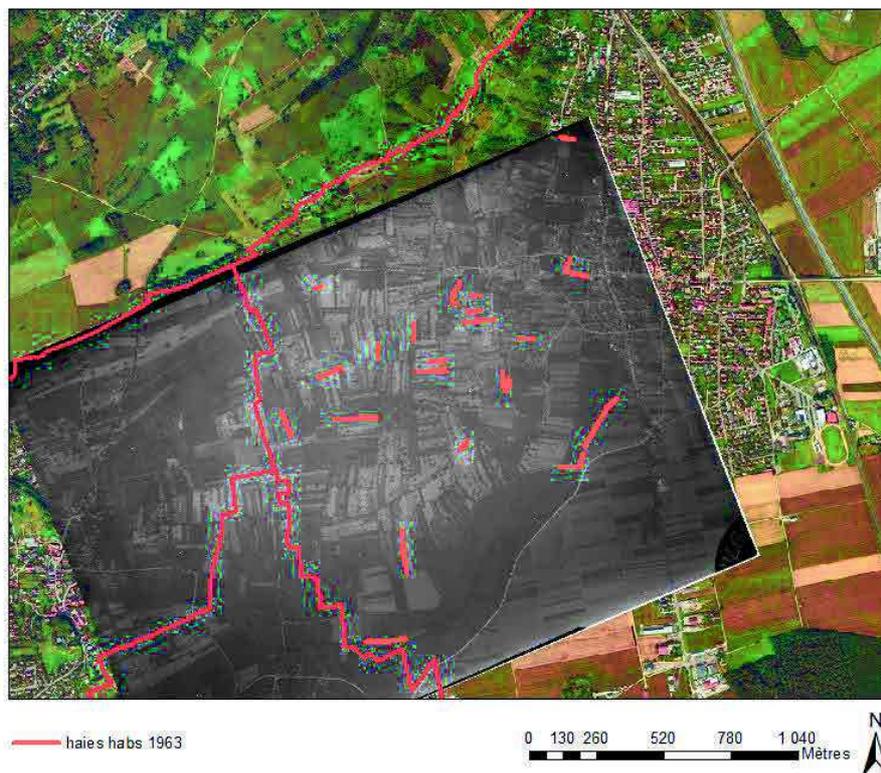


Figure 7.5 : Digitalisation des haies pour la commune de Habsheim en 1963 (photo : Géoportail) ; Source : Lucie Froehlicher

Tableau 7.5 : Données statistiques sur les haies pour la commune de Habsheim en 1963

Statistiques des haies (HABSHEIM/1963)		
Nombre total de haies	25	Distribution des fréquences Nombre de haies
Longueur minimum (m)	24	
Longueur maximum (m)	223	
Longueur totale cumulée (m)	2048	
Longueur moyenne des haies (m)	81	

Dix ans plus tard, en 1973, on note une légère augmentation de la densité des haies sur la commune (figure 7.6). Les données statistiques montrent cette évolution. On passe d'un linéaire total de haies de 2048 à 2660 m (tableau 7.6). Le nombre de haies est relativement stable (27 contre 25). En revanche, il ne s'agit souvent pas des mêmes. Nombreuses sont celles qui ont disparu entre les deux dates, remplacées à d'autres endroits par de nouvelles formations.

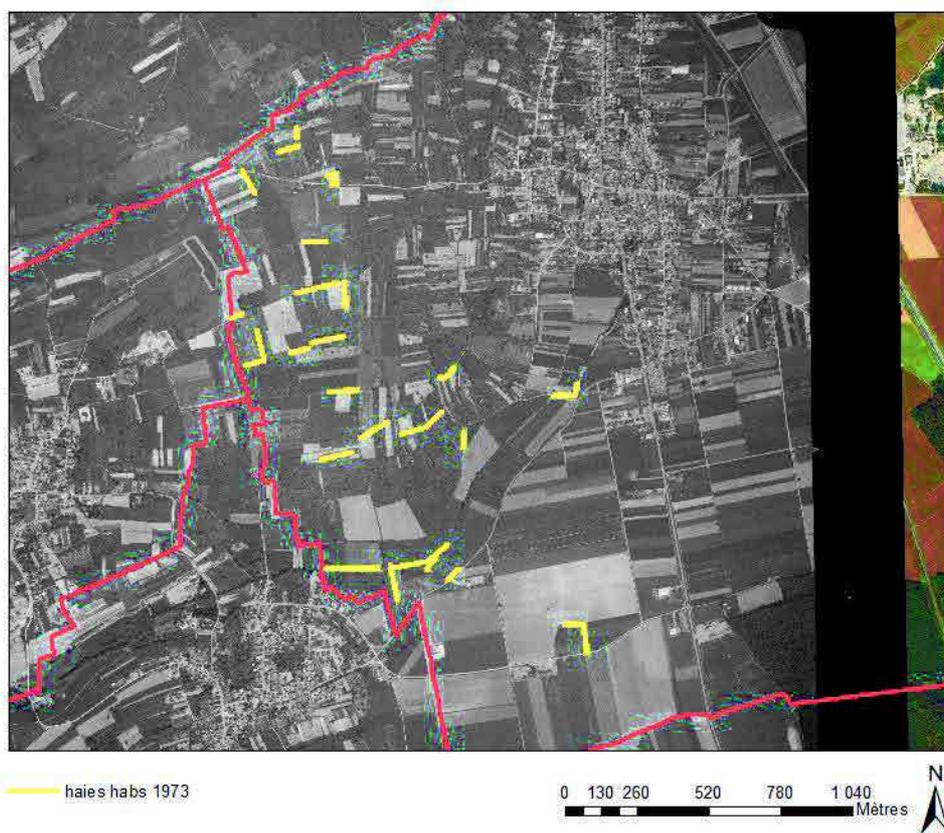


Figure 7.6 : Digitalisation des haies en 1973 pour la commune de Habsheim (photo : Géoportail) ; Source : Lucie Froehlicher

Tableau 7.6 : Données statistiques sur les haies pour la commune de Habsheim en 1973 ; Source : Lucie Froehlicher

Statistiques des haies (HABSHEIM/1973)		
Nombre total de haies	27	Distribution des fréquences Nombre de haies
Longueur minimum (m)	2	
Longueur maximum (m)	217	
Longueur totale cumulée (m)	2660	
Longueur moyenne des haies (m)	98	

Pour l'année 1984, le constat est totalement différent. On a une augmentation flagrante du linéaire de haies par comparaison avec tous les jeux de photos précédents (figure 7.7). Les données chiffrées montrent l'étendue de cette évolution. En mètres linéaires, on passe de 2660 m à 3559 m de haies, soit quasiment un gain de 1 km de haies sur l'ensemble de la commune. En nombre de haies supplémentaires, on passe d'un total de 27 en 1973 à 43 en 1984 (Tableau 7.7).

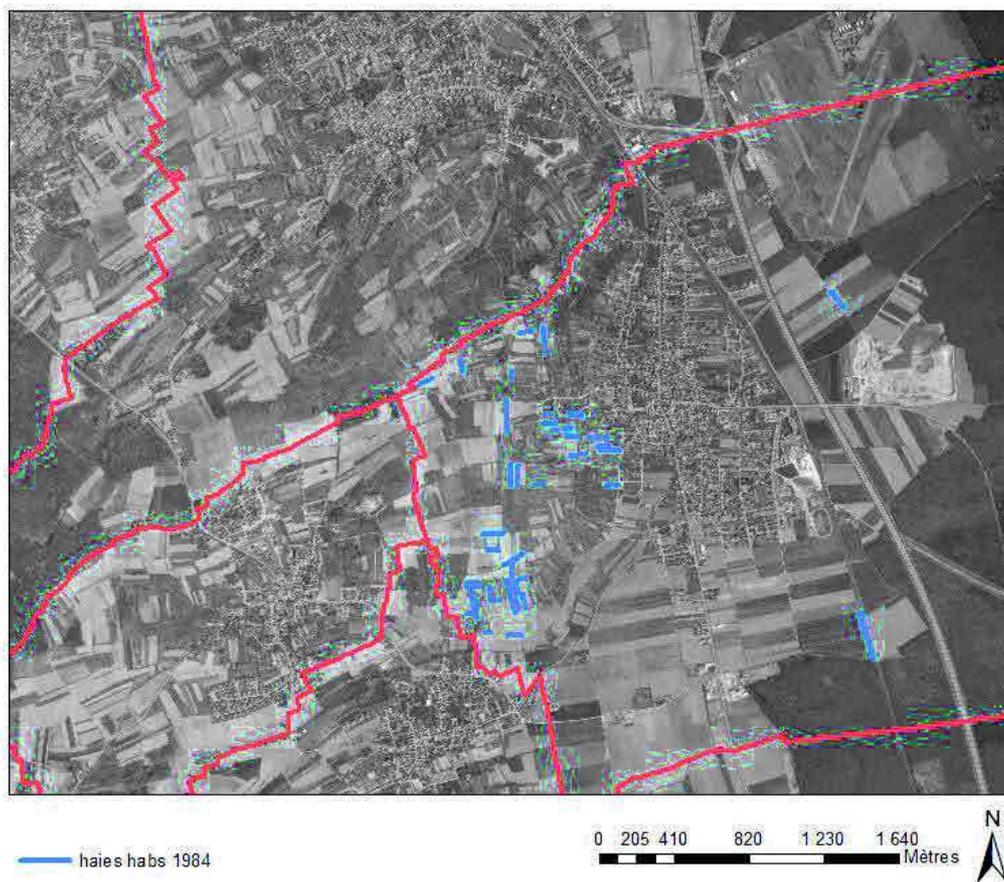
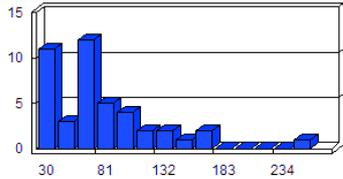


Figure 7.7 : Digitalisation des haies en 1984 pour la commune de Habsheim (photo : Géoportail) ; Source : Lucie Froehlicher

Tableau 7.7 : Données statistiques sur les haies pour la commune de Habsheim en 1984

Statistiques des haies (HABSHEIM/1984)		
Nombre total de haies	43	Distribution des fréquences Nombre de haies  Longueur (m)
Longueur minimum (m)	30	
Longueur maximum (m)	264	
Longueur totale cumulée (m)	3559	
Longueur moyenne des haies (m)	82	

La situation des haies sur la photo aérienne de 1991 est globalement comparable à celle de 1984. L'essentiel des haies digitalisées sont les mêmes qu'en 1984, la seule différence étant que ces dernières se sont densifiées et sont donc beaucoup plus faciles à observer (figure 7.8). Elles se sont également allongées, passant de 3559 m linéaires en 1984 à 3984 m en 1991, pour une seule haie supplémentaire (tableau 7.8).

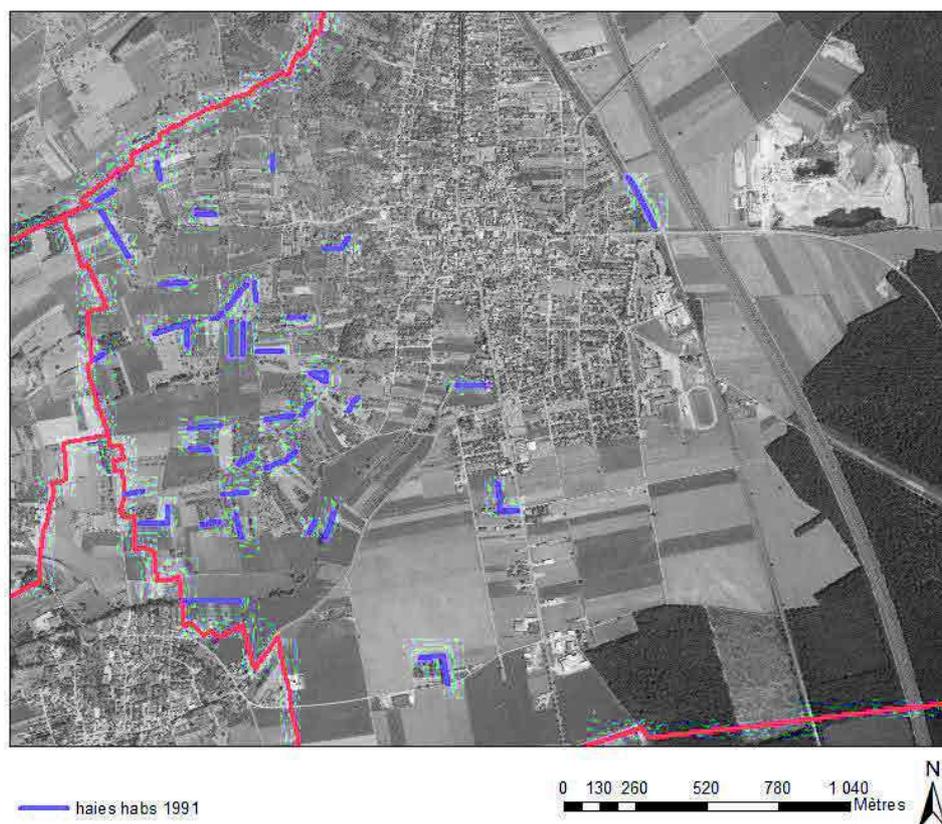


Figure 7.8 : Digitalisation des haies en 1991 pour la commune de Habsheim (photo : Géoportail) ; Source : Lucie Froehlicher

Tableau 7.8 : Données statistiques sur les haies pour la commune de Habsheim en 1991

Statistiques des haies (HABSHEIM/1991)		
Nombre total de haies	44	Distribution des fréquences Nombre de haies
Longueur minimum (m)	33	
Longueur maximum (m)	201	
Longueur totale cumulée (m)	3984	
Longueur moyenne des haies (m)	90	

L'état des haies présenté sur la figure 7.9 à partir de l'orthophoto de 2007 décrit un paysage bien plus dense que celui de 1991. Les données statistiques en fournissent les détails : il y a un total de 95 haies détectées, correspondant à un linéaire de 7561 mètres (tableau 7.9).



Figure 7.9 : Etat des systèmes de haies dans la commune d'Habsheim à partir de l'orthophoto de 2007 ;
Source : Lucie Froehlicher à partir des données IGN/CG68

Tableau 7.9 : Données statistiques sur les haies pour la commune de Habsheim en 2007 ; Source : Lucie Froehlicher à partir des données IGN/CG68

Statistiques des haies (HABSHEIM/2007)		
Nombre total de haies	95	Distribution des fréquences Nombre de haies
Longueur minimum (m)	18	
Longueur maximum (m)	245	
Longueur totale cumulée (m)	7561	
Longueur moyenne des haies (m)	44	

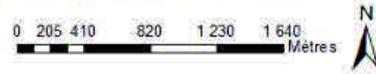
7.1.3 Bilan des évolutions des systèmes de haies de 1934 à 2007

Le bilan que l'on peut dresser sur l'évolution des systèmes de haies à partir des photos aériennes de 1934 à 1991 révèle une évolution certaine. Même si les comparaisons d'un jeu de photos à l'autre montrent une augmentation du nombre de mètres linéaires de haies assez lente, l'évolution globale entre 1934 et 1991 est tout de même importante (figure 7.10a). On passe d'un linéaire de 1430 m à 3984 m de haies détectées, soit un différentiel de 2554 m supplémentaires en 57 ans. Les périodes récentes montrent une accélération du phénomène. Entre 1991 et 2007, soit en 16 ans, le linéaire augmente encore de 3577 m (tableau 7.10). Pour des raisons de lecture, la couverture de 2007 est présentée à part (figure 7.10b)

A



- haies habs 1934
- haies habs 1951
- haies habs 1963
- haies habs 1973
- haies habs 1984
- haies habs 1991



B



— Haie_Habsheim_2007

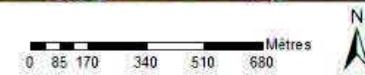


Figure 7.10 : Synthèse des digitalisations des haies des photos aériennes de 1934 à 1991 pour la commune de Habsheim (7.10A) et 2007 (7.10B) ; Source : Lucie Froehlicher

Tableau 7.10 : Evolution des linéaires de haies par année de 1883 à 2012 pour la commune de Habsheim ; Source : Lucie Froehlicher

Année du document digitalisé	Linéaire total des haies par année en mètre
1883	14 177
1885	11 859
1934	1 430
1951	2 001
1963	2 048
1973	2 660
1984	3 559
1991	3 984
2007	7 561

Le graphique associé à ce tableau permet de visualiser cette évolution (figure 7.11). Globalement, le graphique commence par une régression nette des haies, entre 1883 et 1934, puis par une tendance inverse, lente au départ, plus rapide à partir de 1960. Nous avons déjà discuté des risques de biais : subjectivité de la représentation sur les deux premiers documents - des cartes - et mauvaise qualité de l'image pour la photo de 1934. Les arguments que nous avons développés montrent que ces biais ne peuvent constituer l'explication principale, d'autant plus que la courbe d'ensemble est régulière et non chaotique. Il convient donc de rechercher les facteurs explicatifs aux variations enregistrées. On notera dans un premier temps que le net déclin des haies se situe dans la première moitié du XX^{ème} siècle. Habsheim se différencie ainsi nettement de l'évolution générale, qui situe le déclin des haies dans la deuxième moitié du XX^{ème} siècle, en lien net avec la politique d'arrachage des haies qui a accompagné les grands remembrements. L'inversion de tendance se situe dans les années 1935-1950. Il n'est pas impossible que la deuxième Guerre Mondiale ait joué un rôle de ce point de vue. La mobilisation d'une partie de la population agricole sous les drapeaux, puis la nécessité de parer au plus important (assurer la production dans un contexte difficile de rationnement) a peut-être conduit à un regain des haies par abandon de l'entretien des espaces ruraux. On notera que l'essor moderne des haies suit le remembrement, tendance inverse à celle notée en général. Mais si l'on observe attentivement les photos, on note que ce remembrement n'a pas été total. Il concerne principalement la plaine. Les parcelles situées sur les zones vallonnées n'ont pas été concernées. Dès lors s'est sans doute mise en place une agriculture à deux vitesses : une agriculture intensive de plaine, dans les zones remembrées, et une agriculture plus vivrière œuvre de doubles actifs sur les zones de collines, pour laquelle la présence de haies ne constitue pas un obstacle à la production. Pour la dernière période (2000-2007), les incitations à la plantation ou l'entretien des haies par la PAC (Agreau, 2015) a sans doute également joué un rôle.

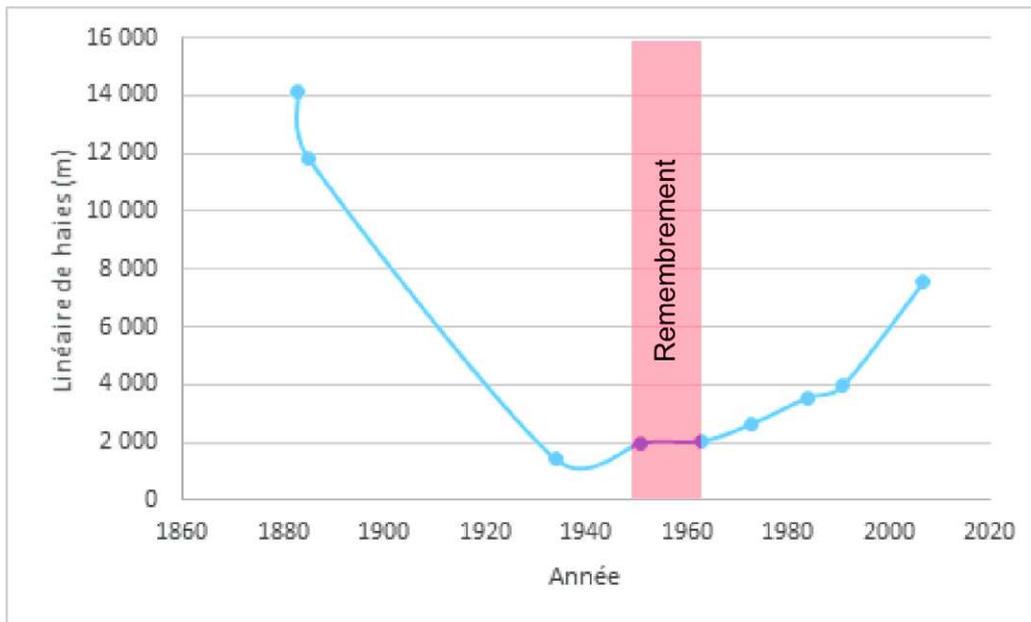


Figure 7.11 : Graphique d'évolution du linéaire de haies (m) sur la commune de Habsheim en fonction des années ; Source : Lucie Froehlicher

7.1.4 Relevé par le LIDAR des structures de type rideaux de culture sur le banc d'Habsheim

L'apport du LIDAR est important dans cette étude sur l'évolution spatio-temporelle des systèmes de haies à l'échelle des sites. La détection et la digitalisation de talus permet de quantifier le développement des rideaux de culture et d'estimer ainsi la couverture maximale qu'ont pu atteindre les haies à leur apogée.

La digitalisation des rideaux de culture pour la commune d'Habsheim met en évidence une couverture très dense sur l'ensemble des zones collinaires (figure 7.12).

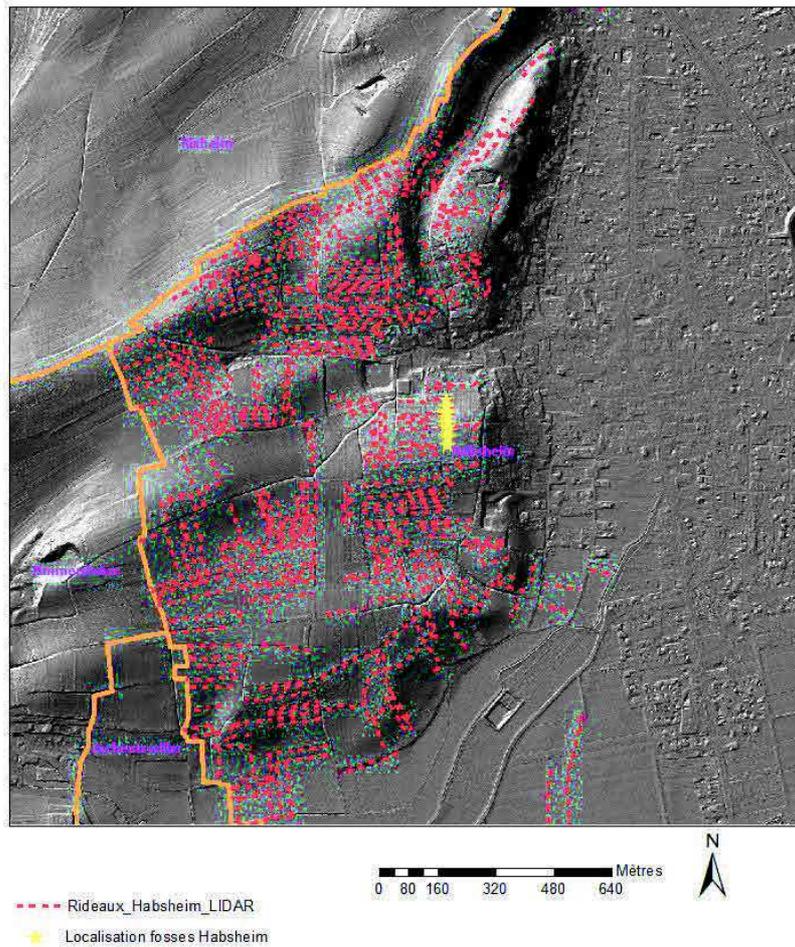
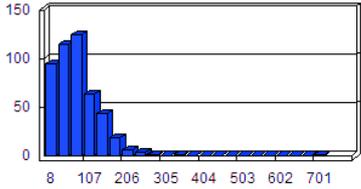


Figure 7.12 : Mise en évidence des rideaux de culture à partir du LIDAR ; Fonds LIDAR : CG68

Les données statistiques de ce shapefile sont les suivantes : 468 structures ont été détectées, représentant un linéaire de 41224 m de rideaux (tableau 7.11).

Tableau 7.11 : Statistiques sur les rideaux de culture à Habsheim d'après le LIDAR

Statistiques des rideaux de cultures (HABSHEIM/LIDAR)		
Nombre total des rideaux de culture	468	Distribution des fréquences Nb de rideaux 
Longueur minimum (m)	8	
Longueur maximum (m)	716	
Longueur totale cumulée (m)	41224	
Longueur moyenne des rideaux de culture (m)	88	

7.1.5 Evolution du parcellaire agricole de la commune d'Habsheim

L'évolution du linéaire de haies questionne leur origine. En dehors des quelques remarques déjà formulées *supra* (§ 7.1.3), nous avons essayé d'aller plus loin en nous fondant sur deux analyses du parcellaire. La première a consisté à établir l'existence potentielle d'un lien entre le type d'occupation du sol (prairies/vergers/prés, champs, vignes) et la présence de haies. A cet effet, nous avons digitalisé toutes les parcelles agricoles selon ces trois classes pour les années 1951, 1984, 1991 et 2007. Les autres dalles n'ont pas été retenues en raison de leur qualité médiocre ou parce que la superficie couverte n'est pas suffisante pour une comparaison. La seconde approche a consisté à observer s'il y avait une corrélation entre la taille des parcelles et la présence de haies.

Au-delà de la seule corrélation, nous avons cherché à établir les liens de causalité éventuels avec la présence ou non de haies.

7.1.5.1 Caractérisation du parcellaire de la commune d'Habsheim en 1951

En 1951, le parcellaire de Habsheim a la morphologie classique des paysages ruraux alsaciens avant remembrement (figure 7.13), avec des parcelles très étroites et allongées. Ce parcellaire d'openfield est dit en « lames de parquet » ou en « touches de piano » (Lebeau, 2000). La surface des parcelles digitalisées correspond à une S.A.U. de 5.33 km², c'est-à-dire à un tiers de la superficie communale, soit 15.63 km².

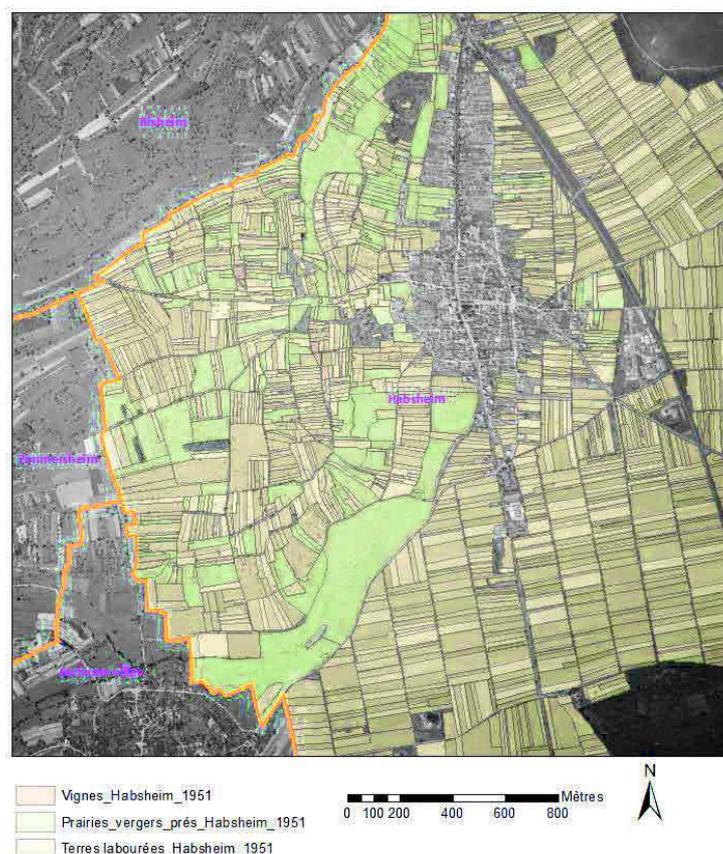
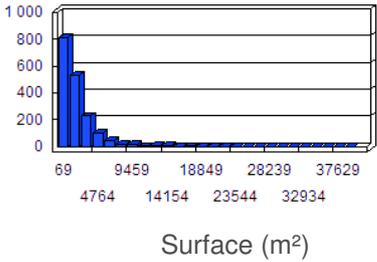


Figure 7.13 : Parcellaire de la commune d'Habsheim en 1951 (zoom sur la partie centrale de la commune) ; Source : Lucie Froehlicher

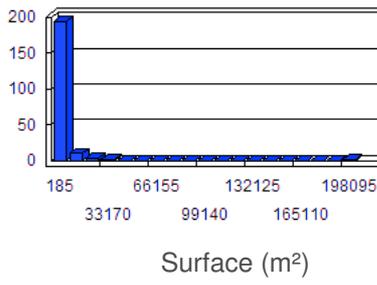
Les données statistiques attachées à ce découpage sont présentées dans les tableaux 7.12 à 7.14. En 1951, les champs sont très majoritaires (tableau 7.12). On compte 1757 parcelles correspondant à 4.35 km². Leur taille varie de 69 m² à 4 ha, avec une moyenne de 0.25 ha.

Tableau 7.12 : Statistiques des zones labourées pour la commune d'Habsheim en 1951

Statistiques des zones labourées (HABSHEIM/1951)		
Nombre total de parcelles	1757	Distribution des fréquences Nombre total de parcelles 
Surface minimum (m ²)	69	
Surface maximum (m ²)	40477	
Surfaces cumulées (m ²)	4348960	
Surface moyenne (m ²)	2475	
Pourcentage de la S.A.U.	81.6 %	

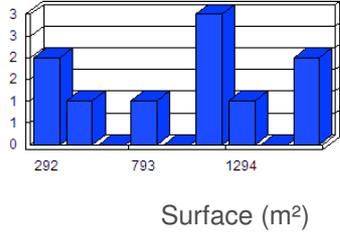
Les prairies, vergers et prés représentent 209 parcelles, soit 0.97 km² (tableau 7.13). Leur taille moyenne est bien plus grande que celle des parcelles labourées. Leur surface moyenne est de 4.7 ha, le minimum de 185 m² et le maximum de 20 ha.

Tableau 7.13 : Statistiques des zones de prairies, vergers et prés pour la commune d'Habsheim en 1951

Statistiques des zones de prairies_vergers_prés (HABSHEIM/1951)		
Nombre total de parcelles	209	Distribution des fréquences Nombre total de parcelles 
Surface minimum (m ²)	185	
Surface maximum (m ²)	206308	
Surfaces cumulées (m ²)	974782	
Surface moyenne (m ²)	4664	
Pourcentage de la S.A.U.	18.2 %	

Les vignes ont en 1951 une superficie vraiment anecdotique en comparaison des parcelles labourées et en vergers. Seule 10 parcelles sont identifiées, soit total de 1 ha (tableau 7.14).

Tableau 7.14 : Statistiques des zones de vignes pour la commune d'Habsheim en 1951

Statistiques des zones de vignes (HABSHEIM/1951)		
Nombre total de parcelles	10	Distribution des fréquences Nombre total de parcelles 
Surface minimum (m²)	292	
Surface maximum (m²)	1739	
Surfaces cumulées (m²)	10244	
Surface moyenne (m²)	1024	
Pourcentage de la S.A.U.	0.2 %	

7.1.5.2 Caractérisation du parcellaire de la commune d'Habsheim en 1984

En 1984, un changement majeur de la structure du parcellaire est nettement observable. Les parcelles labourées en « lames de parquets » décrites en 1951 ont disparu sur la plus grande partie de la commune. Quelques lanières labourées subsistent dans les zones les plus escarpées, mais même ces parcelles allongées procèdent du regroupement de parcelles initiales très étroites. Cette image rend bien compte de l'effet du remembrement effectué entre 1951 et 1963 (figure 7.14). D'autre part, la S.A.U. a diminué. On passe de 5.33 km² en 1951 à 4.7 km². Les raisons de cette diminution sont à mettre en lien avec l'extension de l'habitat qui s'étend de manière concentrique autour du village. Visuellement, les espaces labourés semblent être les premières victimes de cette extension.

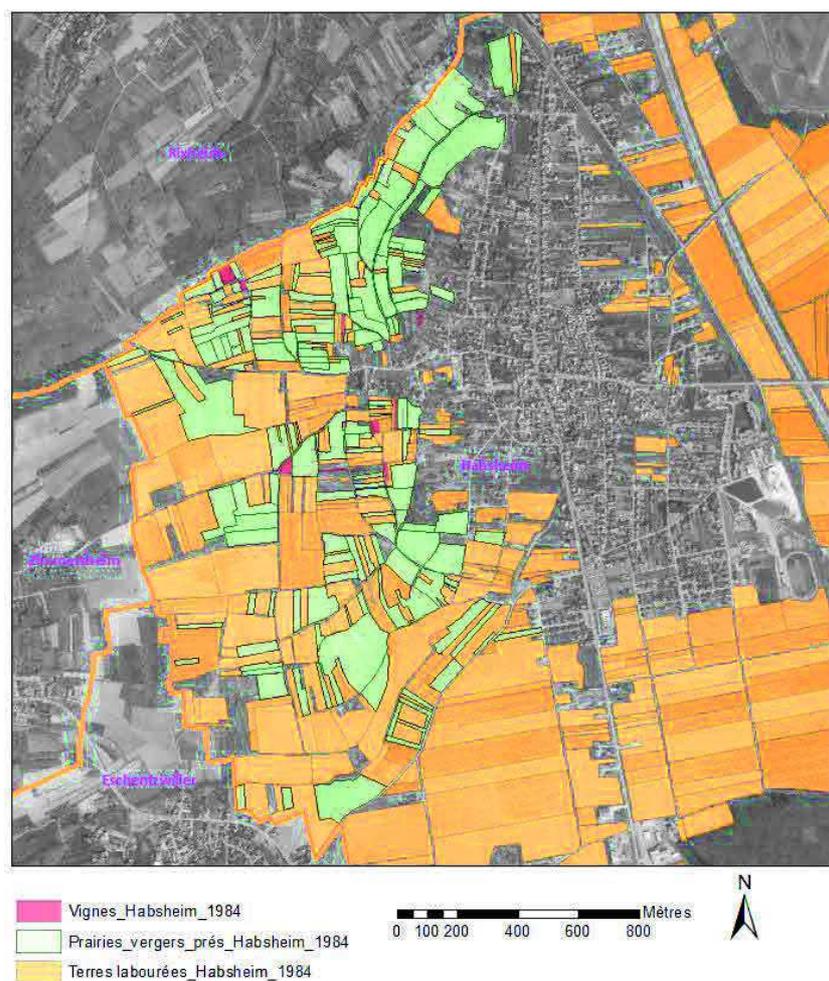


Figure 7.14 : Parcellaire de la commune d'Habsheim en 1984 ; Source : Lucie Froehlicher

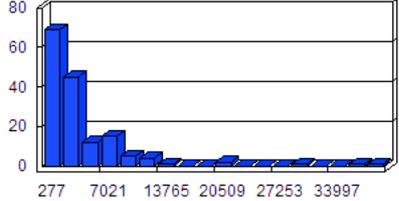
Les données statistiques précisent ces évolutions. On passe de 1757 parcelles de terres labourées, soit 4,35 km², à 435 parcelles d'une superficie totale de 3,9 km² (tableau 7.15). La taille des parcelles varie ici de 184 m² à 19,3 ha avec une moyenne de 0,89 ha.

Tableau 7.15 : Statistiques des zones labourées pour la commune d'Habsheim en 1984

Statistiques des zones labourées (HABSHEIM/1984)		
Nombre total de parcelles	435	Distribution des fréquences Nombre total de parcelles
Surface minimum (m ²)	184	
Surface maximum (m ²)	193405	
Surfaces cumulées (m ²)	3888686	
Surface moyenne (m ²)	8939	
Pourcentage de la S.A.U.	84,5 %	
		Surface (m ²)

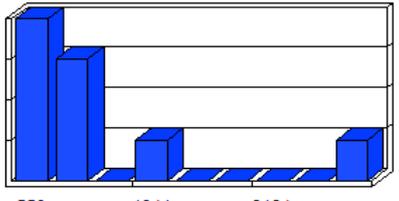
Le nombre de prairies, de vergers et de prés diminue aussi. On passe de 209 parcelles en 1951 à 156 en 1984. En termes de superficie, cette évolution n'est pas négligeable puisqu'on passe de 0,98 à 0,7 km² (tableau 7.16).

Tableau 7.16 : Statistiques des zones de prairies, vergers et prés pour la commune d'Habsheim en 1984

Statistiques des zones de prairies_vergers_prés (HABSHEIM/1984)		
Nombre total de parcelles	156	Distribution des fréquences Nombre total de parcelles 
Surface minimum (m ²)	277	
Surface maximum (m ²)	40231	
Surfaces cumulées (m ²)	703586	
Surface moyenne (m ²)	4510	
Pourcentage de la S.A.U.	15,3 %	
		Surface (m ²)

Pour les parcelles de vigne, on note peu d'évolution : 9 parcelles contre 10 en 1951. Leur superficie totale est elle aussi similaire, 1 ha (tableau 7.17).

Tableau 7.17 : Statistiques des zones de vignes pour la commune d'Habsheim en 1984

Statistiques des zones de vignes (HABSHEIM/1984)		
Nombre total de parcelles	9	Distribution des fréquences Nombre total de parcelles 
Surface minimum (m ²)	558	
Surface maximum (m ²)	2722	
Surfaces cumulées (m ²)	10001	
Surface moyenne (m ²)	1111	
Pourcentage de la S.A.U.	0,2 %	
		Surface (m ²)

7.1.5.3 Caractérisation du parcellaire de la commune d'Habsheim en 1991

Même si elle n'a que 7 ans de plus que la précédente, la photo aérienne de 1991 montre de grandes évolutions (figure 7.15). La première grande modification est à nouveau à mettre en lien avec l'extension des zones d'habitation qui ont grignoté les parcelles labourées et les prairies. De plus, on a pu observer qu'une bonne partie des espaces prairiaux et/ou de vergers s'est complètement enfrichée et constitue aujourd'hui de petits accrus forestiers, notamment au N.O. de l'agglomération. D'autres parcelles ont été transformées en terres labourables.

L'ensemble de ces modifications a réduit la S.A.U. à 4,12 km² contre 5,35 km² en 1951 et 4.7 km² en 1984. On observe aussi que la taille des parcelles labourées a encore augmenté.

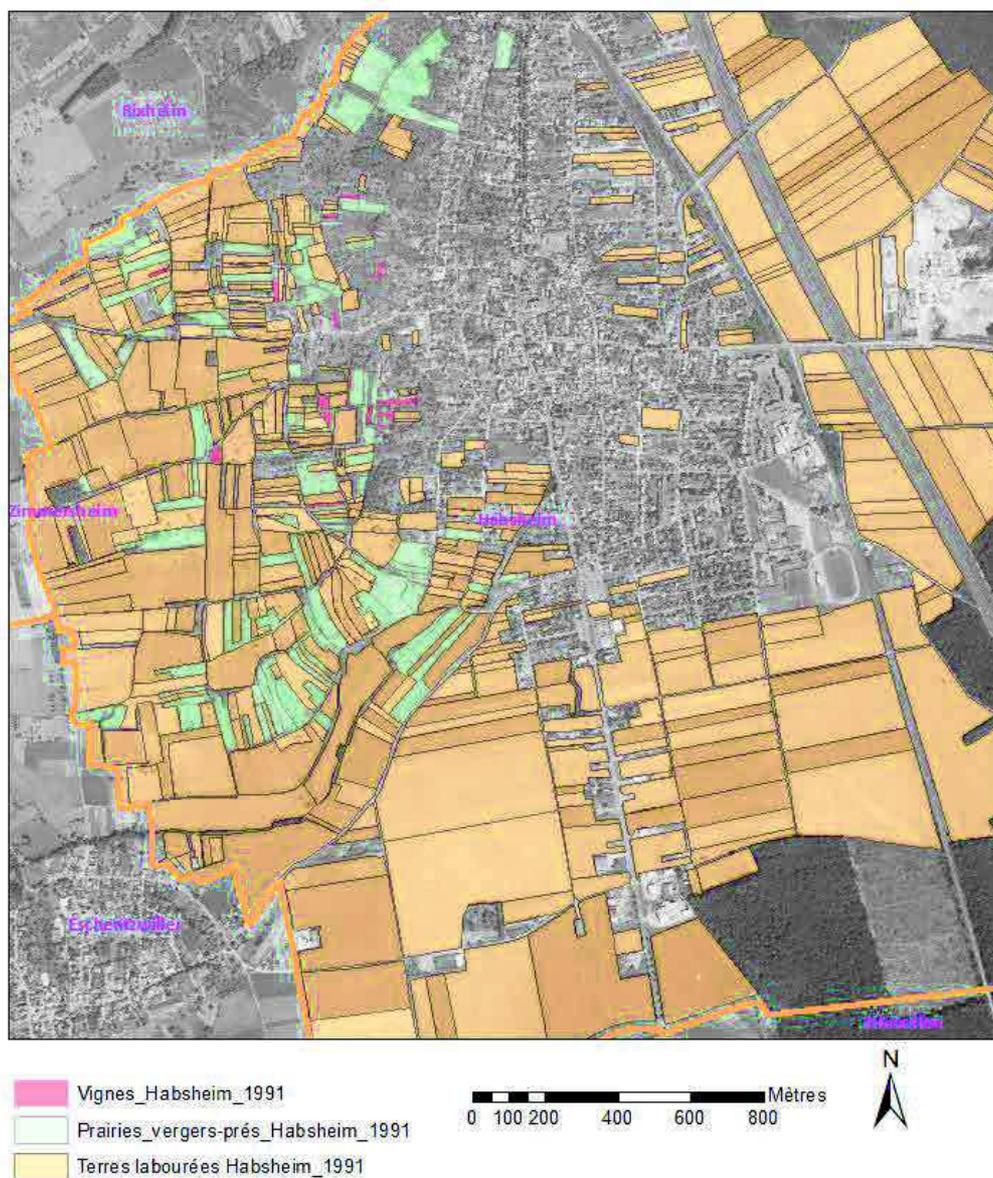


Figure 7.15 : Parcellaires de la commune d'Habsheim en 1991 ; Source : Lucie Froehlicher

Les données statistiques chiffrant ces évolutions (tableau 7.18). Le nombre de parcelles labourées augmente, passant à 489 contre 435 en 1984. En revanche, leur surface cumulée diminue légèrement : de 3,9 km² à 3,8 km². Leur taille moyenne diminue plus fortement, passant de 0,89 à 0,77 ha. Ces chiffres s'expliquent par la transformation de parcelles de prairies et vergers (de plus petite taille en moyenne que les champs) en terres labourables, qui compensent la perte de terres par l'urbanisation. Les données statistiques sur la catégorie des surfaces herbagères confirment bien qu'elles régressent, aussi bien en nombre de parcelles (93 contre 156 en 1984) qu'en superficie (0,34 km² contre 0,7 km²) ou en part de S.A.U. (8,2 contre 14,9 %) (tableau 7.19).

Tableau 7.18 : Statistiques des zones labourées pour la commune d'Habsheim en 1991

Statistiques des zones labourées (HABSHEIM/1991)		
Nombre total de parcelles	489	Distribution des fréquences
Surface minimum (m ²)	282	Nombre total de parcelles
Surface maximum (m ²)	126149	
Surfaces cumulées (m ²)	3771450	
Surface moyenne (m ²)	7712	
Pourcentage de la S.A.U.	91,5 %	
		Surface (m ²)

Tableau 7.19 : Statistiques des zones de prairies, vergers et prés pour la commune d'Habsheim en 1991

Statistiques des zones de prairies_vergers_prés (HABSHEIM/1991)		
Nombre total de parcelles	93	Distribution des fréquences
Surface minimum (m ²)	481	Nombre total de parcelles
Surface maximum (m ²)	27162	
Surfaces cumulées (m ²)	337286	
Surface moyenne (m ²)	3627	
Pourcentage de la S.A.U.	8.2 %	
		Surface (m ²)

Pour leur part, le nombre de parcelles en vigne double entre 1984 et 1991. Les superficies augmentent très légèrement, de 1 ha en 1984 à 1,2 ha en 1991 (tableau 7.20).

Tableau 7.20 : Statistiques des zones de vignes pour la commune d'Habsheim en 1991

Statistiques des zones de vignes (HABSHEIM/1991)		
Nombre total de parcelles	18	Distribution des fréquences
Surface minimum (m ²)	317	Nombre total de parcelles
Surface maximum (m ²)	1254	
Surfaces cumulées (m ²)	11650	
Surface moyenne (m ²)	647	
Pourcentage de la S.A.U.	0,3 %	
		Surface (m ²)

7.1.5.4 Caractérisation du parcellaire d'Habsheim en 2007

En 2007, l'habitat progresse encore au détriment de la S.A.U. D'autre part, on note un découpage plus fin dans le maillage des parcelles labourées. Cette évolution est peut-être à mettre en lien avec un changement des pratiques agricoles en raison du statut bien connu et répandu dans le secteur d'agriculteurs pluriactifs, n'exerçant leur activité agricole qu'en complément d'une activité salariée principale (figure 7.16).

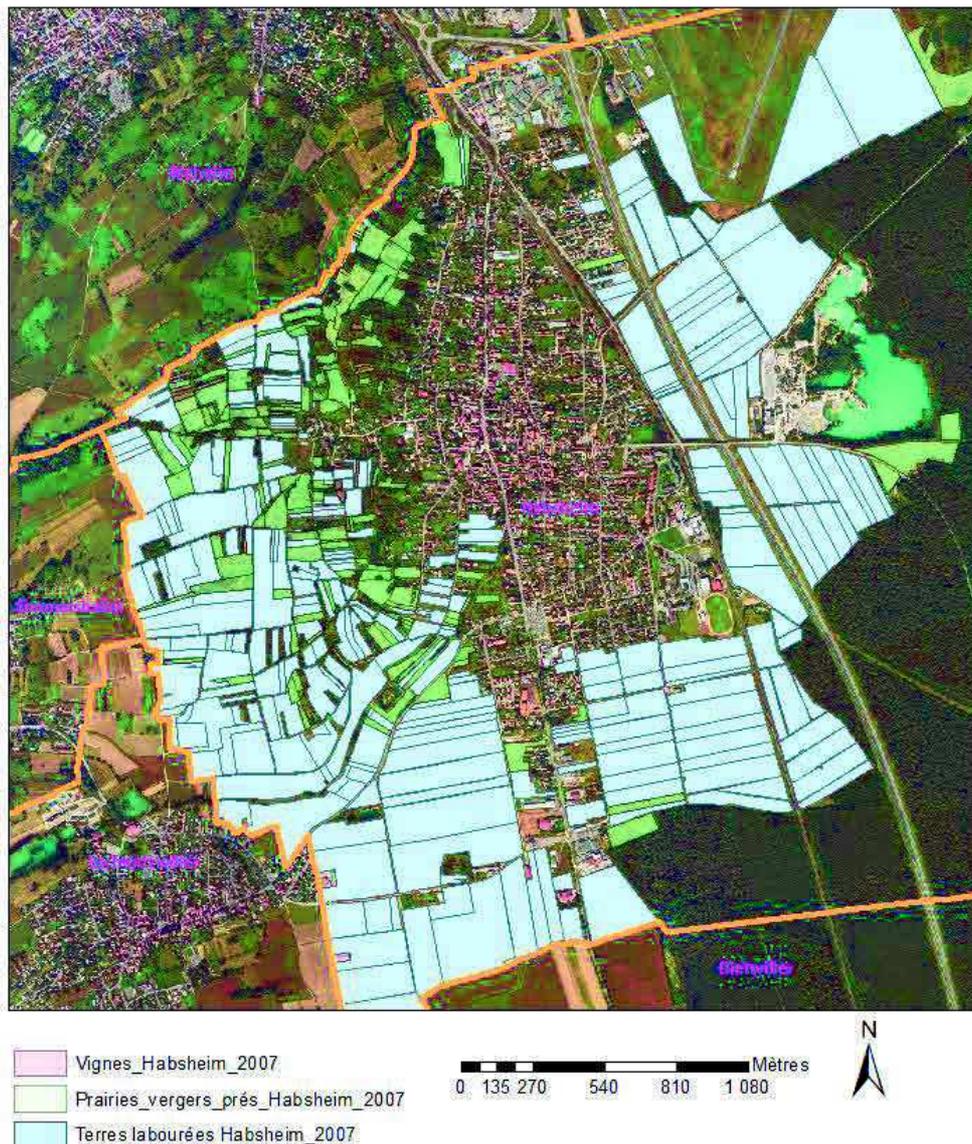
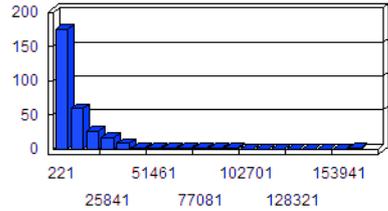


Figure 7.16 : Parcellaire de la commune d'Habsheim en 2007 ; Source : Lucie Froehlicher

Les données statistiques montrent une baisse considérable du nombre de parcelles labourées : on passe de 489 parcelles en 1991 à 295 parcelles. En revanche, la diminution de la superficie occupée par ces parcelles est limitée (on passe de 3.8 km² à 3.5 km²) et fort logiquement la taille moyenne des parcelles augmente (tableau 7.21). La contradiction avec

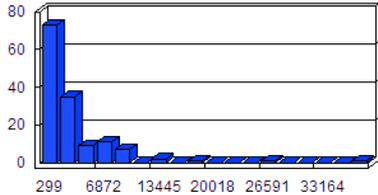
le fait que les grandes parcelles ont été subdivisées n'est qu'apparente. L'ensemble des données indique clairement que c'est surtout les très petites parcelles qui ont disparu, principalement par urbanisation.

Tableau 7.21 : Statistiques des zones labourées pour la commune d'Habsheim en 2007

Statistiques des zones labourées (HABSHEIM/2007)		
Nombre total de parcelles	295	Distribution des fréquences Nombre total de parcelles 
Surface minimum (m²)	221	
Surface maximum (m²)	170104	
Surfaces cumulées (m²)	3503867	
Surface moyenne (m²)	11877	
Pourcentage de la S.A.U.	86.4 %	

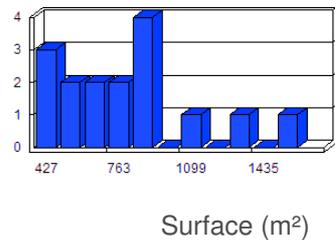
La part des surfaces en prairies, vergers et prés dans la S.A.U. augmente de 5 % par rapport à 1991 : on passe de 0.34 km² à 0.54 km². Les raisons de cette évolution sont à mettre en lien avec une transformation de parcelles labourées en zones de prairies. De ce point de vue, les mesures agro-environnementales (M.A.E.) de la PAC ont sans doute joué un rôle. Ces nouveaux espaces peuvent aussi correspondre à une reconquête végétale spontanée d'anciennes parcelles agricoles abandonnées. Sur le terrain, ceci a été observé à maintes reprises dans le secteur, consécutivement sans doute à l'arrêt de l'activité d'un agriculteur sans reprise de l'exploitation. Ces espaces sont voués à se refermer totalement après quelques années sans entretien et ne sont donc que temporairement des prairies (tableau 7.22).

Tableau 7.22 : Statistiques des zones de prairies, vergers et prés pour la commune d'Habsheim en 2007

Statistiques des zones de prairies_vergers_prés (HABSHEIM/2007)		
Nombre total de parcelles	140	Distribution des fréquences Nombre total de parcelles 
Surface minimum (m²)	299	
Surface maximum (m²)	38450	
Surfaces cumulées (m²)	540512	
Surface moyenne (m²)	3861	
Pourcentage de la S.A.U.	13.3 %	

Le parcellaire viticole est resté relativement stable : 16 parcelles sur l'orthophoto de 2007 pour une superficie qui est en très légère hausse, de 1,3 ha (tableau 7.23). Notons toutefois, sur la base des prospections de terrain, que plus de la moitié de ces parcelles sont en réalité à l'abandon même si elles sont toujours bien identifiables comme vigne sur photo.

Tableau 7.23 : Statistiques des zones de vignes pour la commune d'Habsheim en 2007

Statistiques des zones de vignes (HABSHEIM/2007)		
Nombre total de parcelles	16	Distribution des fréquences Nombre total de parcelles 
Surface minimum (m²)	427	
Surface maximum (m²)	1571	
Surfaces cumulées (m²)	13432	
Surface moyenne (m²)	839	
Pourcentage de la S.A.U.	0.3 %	

7.1.6 Relations entre les haies et l'évolution du parcellaire pour la commune d'Habsheim

Le tableau 7.24 présente les informations clés à retenir des différentes évolutions du parcellaire, présentées au regard de l'évolution du linéaire de haies. La part des parcelles labourées dans la S.A.U. est comprise entre 81.6 % et 91,5 % entre 1951 et 2007. Ainsi, les cultures sont largement dominantes en comparaison avec la part des parcelles en vergers, prairies et prés qui ne dépasse pas 18.2 % et celle des vignes, au maximum 0,3 %. Aucune corrélation nette ne se dégage de la comparaison entre le linéaire de haies et l'importance relative des différents types d'occupation du sol.

Tableau 7.24 : Tableau récapitulatif de l'évolution du type d'occupation du sol pour la commune d'Habsheim ; Source : Lucie Froehlicher

Année	Linéaire de haies (m)	Surface (%) de parcelles labourées par rapport à la S.A.U.	Surface (%) de parcelles en prairies, prés et vergers	Surface (%) de vignes
1951	2001	81,6	18,2	0,2
1984	3559	84,5	15,3	0,2
1991	3984	91,5	8,2	0,3
2007	7561	86,4	13,3	0,3
Coeff. Corr	Y1	Y2	Y3	Y4
	/	Coeff. Corr Y1/Y2	Coeff. Corr Y1/Y3	Coeff. Corr Y1/Y4
	/	0,37	-0,37	-0,19

Nous avons donc testé d'autres paramètres : relations entre le linéaire de haies et la taille moyenne des parcelles (tableau 7.25) et entre le linéaire de haies et le nombre de parcelles (tableau 7.26).

Le tableau 7.25 montre qu'une nette corrélation de 0.89 se dégage entre le linéaire de haies et la taille moyenne des parcelles labourées.

Tableau 7.25 : Calcul du coefficient de corrélation entre le linéaire de haies et la taille moyenne des parcelles ; Source : Lucie Froehlicher

Année	Linéaire de haies (m)	Taille moyenne des parcelles labourées	Taille moyenne des parcelles en prairies, prés et vergers	Taille moyenne des parcelles en vignes
1951	2001	2475	4664	1124
1984	3559	8939	4510	1111
1991	3984	7712	3627	647
2007	7561	11877	3861	839
Coeff. Corr	Y1	Y2	Y3	Y4
	/	Coeff. Corr Y1/Y2	Coeff. Corr Y1/Y3	Coeff. Corr Y1/Y4
	/	0,89	-0,63	-0,49

Il n'est donc pas surprenant de noter une forte corrélation entre le nombre de parcelles labourées et le linéaire de haies (tableau 7.26), dans la mesure où le nombre de parcelles et la taille moyenne des parcelles varient en sens inverse.

Tableau 7.26 : Calcul du coefficient de corrélation entre le linéaire de haies et le nombre de parcelles ; Source : Lucie Froehlicher

Année	Linéaire de haies (m)	Nombre de parcelles labourées	Nombre de parcelles en prairies, prés et vergers	Nombre de parcelles en vignes
1951	2001	1757	209	10
1984	3559	435	156	9
1991	3984	489	93	18
2007	7561	295	140	16
Coeff. Corr	Y1	Y2	Y3	Y4
	/	Coeff. Corr Y1/Y2	Coeff. Corr Y1/Y3	Coeff. Corr Y1/Y4
	/	-0,726389883	-0,458827865	0,57978787

Si l'on s'intéresse à l'évolution des surfaces des différents modes d'occupation des sols (tableau 7.27), on note une très forte corrélation négative entre l'évolution des surfaces de terres labourables, de vignes ou de la S.A.U. avec le linéaire de haies. Compte-tenu de la part marginale des vignes, il est difficile d'en conclure à des liens directs : une surface totale de l'ordre de 1 ha ne peut expliquer l'évolution d'un linéaire de plusieurs kilomètres.

Tableau 7.27 : Calcul du coefficient de corrélation entre les surfaces de terres labourables, de vignes ou de la S.A.U. et le linéaire de haies; Source : Lucie Froehlicher

Année	Linéaire de haies (m)	Surface labourée	Surface PVP	Surface vignes	Surface S.A.U
1951	2001	4348960	974782	10244	5333986
1984	3559	3888686	703586	10001	4602273
1991	3984	3771450	377286	11650	4160386
2007	7561	3503867	540512	13432	4057811
Coeff. Corr	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
	/	Coeff. Corr Y1/Y2	Coeff. Corr Y1/Y3	Coeff. Corr Y1/Y4	Coeff. Corr Y1/Y5
	/	-0.92	-0.59	0.92	-0.81

Si l'on résume, les évolutions observées à Habsheim sont relativement simples. De 1951 à 2007, la régression de la S.A.U, et des surfaces labourables, l'augmentation de la taille des parcelles labourées et la diminution du nombre de champs suivent une dynamique continue. Parallèlement, le linéaire de haies augmente régulièrement, ce qui explique les forts coefficients de corrélation. La corrélation positive entre la taille des parcelles labourées (ou négative avec le nombre de parcelles) et la présence de haies peut sembler paradoxale, tant est ancrée l'idée que l'agriculture intensive est synonyme de recul des haies. Il n'empêche que cette corrélation est bien réelle, et un élément de réponse tient sans doute dans le fait que la régression du nombre de parcelles se fait pour les plus petites d'entre elles, larges de quelques mètres à peine pour certaines. Or, il est difficile lorsque les parcelles sont si étroites d'y associer des haies ; le pourcentage de terres perdues est trop important par rapport au bénéfice escompté. Lorsqu'on les regroupe, la présence de haies devient possible car elle est moins gênante. Le regroupement favorise ainsi indirectement l'augmentation du linéaire de haies. A cette tendance de fond se surimpose un deuxième phénomène, sensible depuis 1991 environ. On note en effet à partir de cette date, un changement net, marqué par (1) une inversion de tendance de l'évolution des surfaces enherbées, qui augmentent après un recul continu, et par (2) une augmentation sans précédent du linéaire de haies. En 16 ans, de 1991 à 2007, celui-ci augmente de 3500 m, contre une augmentation de 2000 m sur les 40 années précédentes (1951-1991). Il faut y voir sans nul doute les effets des M.A.E de la PAC.

7.2 La toposéquence d'Uffheim « UFF »

La toposéquence « UFF » étant située à la jonction des deux villages de Sierentz et Uffheim, nous avons décidé d'analyser l'évolution des haies sur l'ensemble constitué par les deux communes, soit une superficie totale de 17.58 km².

7.2.1 Caractérisation du parcellaire des communes de Sierentz et Uffheim en 1880

Un grand nombre de structures linéaires correspondant à des talus/terrasses/haies est représenté sur la carte allemande au 1/50000 de 1880 (figure 7.17 et tableau 7.28).

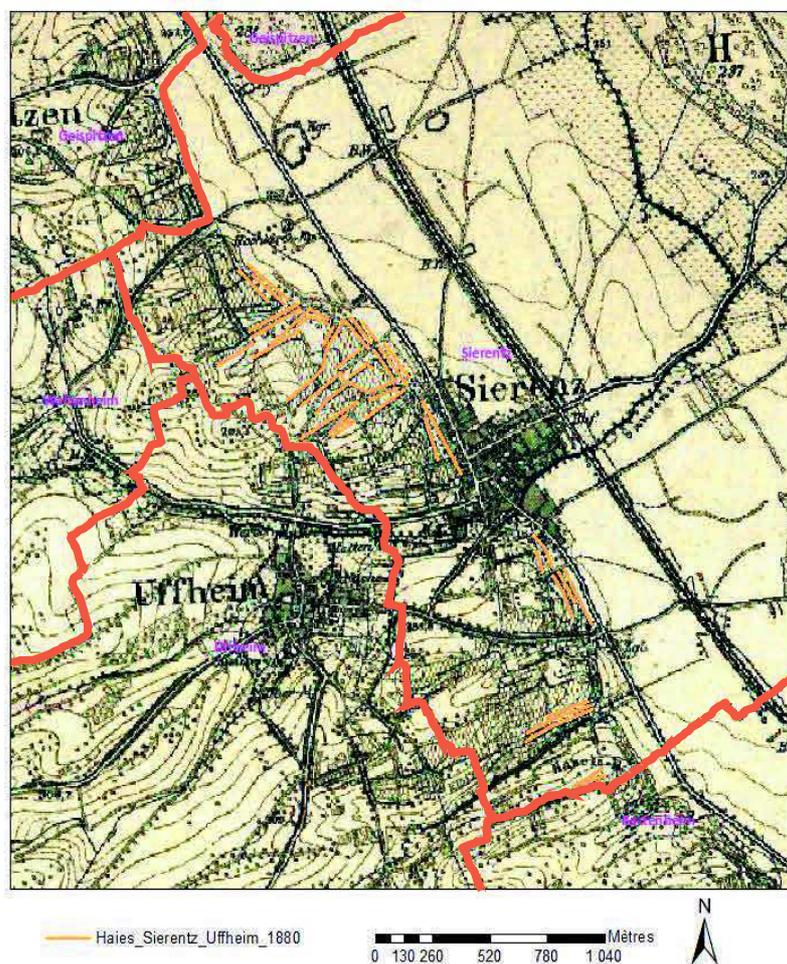


Figure 7.17 : Digitalisation des haies représentées sur la carte de 1880 pour les communes d'Uffheim et Sierentz (Carte : Preuss. Geod. Institut Potsdam, 2006) ; Source : Lucie Froehlicher

Tableau 7.28 : Statistiques des haies pour les communes d'Uffheim et de Sierentz en 1880 ; Source : Lucie Froehlicher

Statistiques des haies/talus (UFFHEIM/SIERENTZ/1880)		
Nombre total de haies	47	Distribution des fréquences Nb de haies
Longueur minimum (m)	61.5	
Longueur maximum (m)	296.5	
Longueur totale cumulée (m)	7988	
Longueur moyenne des haies (m)	170	
		Longueur (m)

7.2.2 Evolution de l'occupation du sol du site « UFF » de 1934 à 2007 partir des photos aériennes IGN

L'évolution du linéaire de haies est analysée à partir de plusieurs dalles de photos aériennes couvrant la période entre 1934 et 2007. La qualité et le niveau de couverture n'est pas le même en fonction des années.

Les photos aériennes de 1934 (figure 7.18) ne couvrent qu'une partie des communes d'Uffheim et de Sierentz. Ceci n'est toutefois pas gênant, dans la mesure où la zone non couverte est une zone de plaine. Or, la présence des haies semble se restreindre aux collines, à l'exclusion des zones de plaine pour peu que l'on puisse en juger à partir de la large portion de territoire couverte par les photos. Le réseau de haies semble plus dense sur la colline d'Uffheim, en particulier sur la zone collinaire qui nous intéresse à la jonction des deux communes.

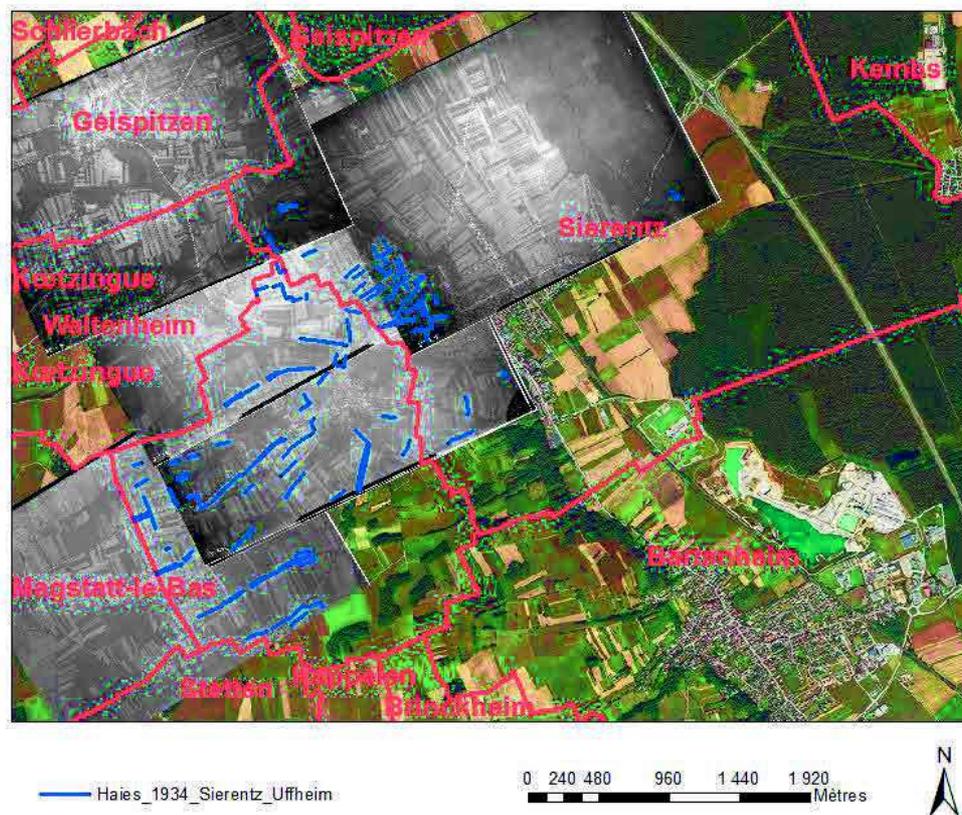
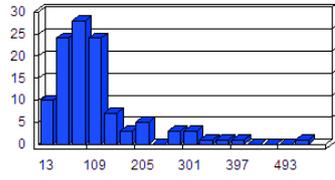


Figure 7.18: Les occurrences de haies en 1934 dans les communes de Sierentz et Uffheim Source Lucie Froehlicher

En 1934, on dénombre 111 structures, pour un linéaire total de 13638 m (tableau 7.29).

Tableau 7.29 : Statistiques des haies en 1934 pour les communes de Sierentz et Uffheim

Statistiques des haies (UFFHEIM/SIERENTZ/1934)		
Nombre total de haies	111	Distribution des fréquences Nb de haies 
Longueur minimum (m)	13	
Longueur maximum (m)	543	
Longueur totale cumulée (m)	13638	
Longueur moyenne des haies (m)	123	
		Longueur (m)

La couverture de l'année 1949 est également incomplète. La comparaison avec la première couverture est toutefois possible, les zones occupées par les haies étant représentées sur les deux jeux. On note ainsi une augmentation assez conséquente tant du nombre de structures relevées que du linéaire : 16763 m, soit une augmentation de plus de 3 km (figure 7.19 et tableau 7.30).

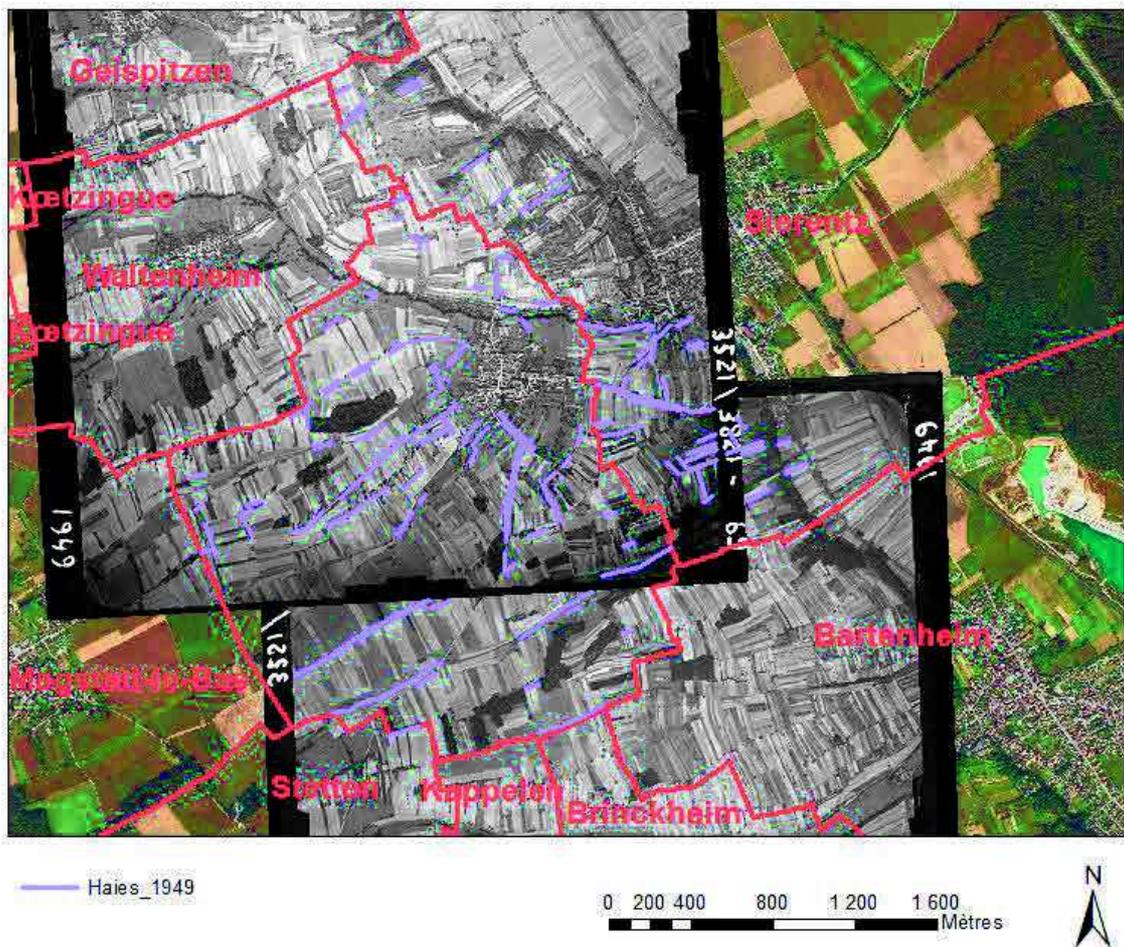
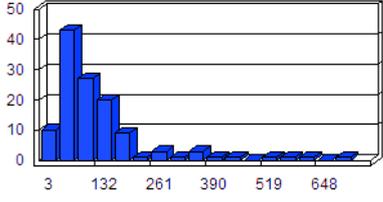


Figure 7.19 : Occurrences des haies en 1949 dans les communes de Sierentz et Uffheim

Tableau 7.30 : Statistiques de haies en 1949 pour les communes de Sierentz et Uffheim

Statistiques des haies (UFFHEIM/SIERENTZ/1949)		
Nombre total de haies	123	Distribution des fréquences Nb de haies 
Longueur minimum (m)	3	
Longueur maximum (m)	730	
Longueur totale cumulée (m)	16763	
Longueur moyenne des haies (m)	136	

En 1956, la couverture photographique des communes de Sierentz et d'Uffheim est complète. Ainsi, on observe bien que les haies sont extrêmement limitées dans la plaine (figure 7.20). En comparaison avec l'année 1949, les systèmes de haies sont moins développés (tableau 7.31) : on perd 3 km de linéaire en l'espace de 7 ans. Cette baisse coïncide avec des modifications paysagères visibles sur les photos, un remembrement. On note en effet qu'entre 1949 et 1956 de nombreuses petites parcelles en « lames de parquets » ont été réunies.

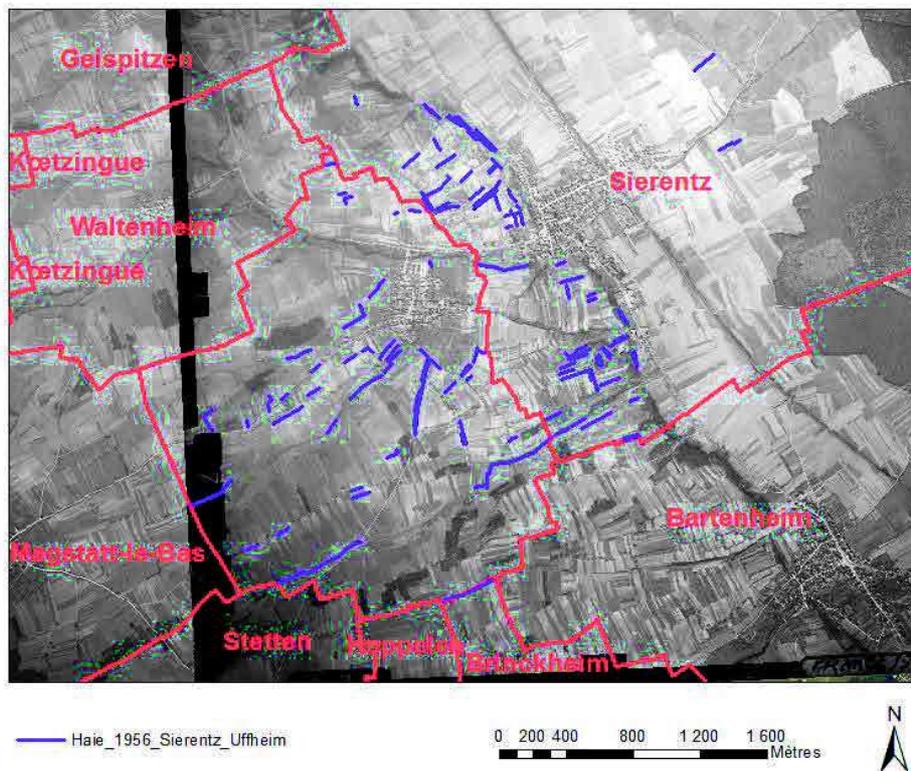
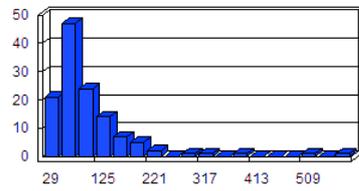


Figure 7.20 : Etat des haies en 1956 dans les communes de Sierentz et Uffheim

Tableau 7.31 : Statistiques de haies en 1956 pour les communes de Sierentz et Uffheim

Statistiques des haies (UFFHEIM/SIERENTZ/1956)		
Nombre total de haies	125	Distribution des fréquences Nb de haies 
Longueur minimum (m)	29	
Longueur maximum (m)	575	
Longueur totale cumulée (m)	13833	
Longueur moyenne des haies (m)	111	

En 1966, la tendance change à nouveau. Comme on peut l'observer sur la photo, de nombreuses haies sont détectées (figure 7.21).

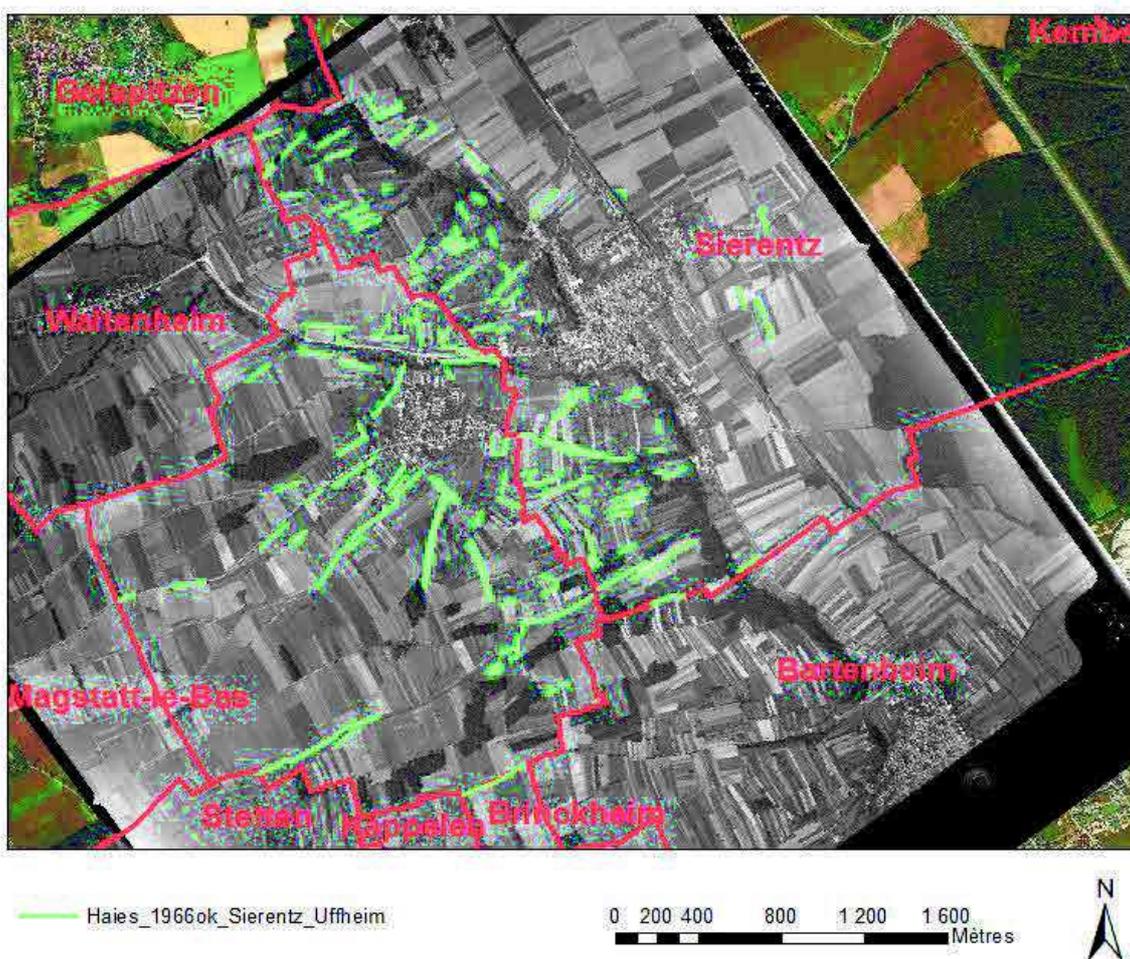
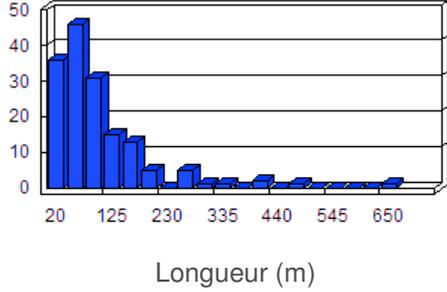


Figure 7.21 : Etat des haies en 1966 dans les communes de Sierentz et Uffheim ; Source : Lucie Froehlicher

Les données chiffrées montrent une augmentation de 3,5 km de linéaire de haies en 10 ans, ainsi qu'une augmentation proportionnellement équivalente du nombre de haies, dont la longueur moyenne est stable (tableau 7.32).

Tableau 7.32 : Statistiques de haies en 1966 pour les communes de Sierentz et Uffheim

Statistiques des haies (UFFHEIM/SIERENTZ/1966)		
Nombre total de haies	157	Distribution des fréquences Nb de haies 
Longueur minimum (m)	20	
Longueur maximum (m)	651	
Longueur totale cumulée (m)	17334	
Longueur moyenne des haies (m)	110	

En 1985, la tendance est à la baisse. Les linéaires de haies observés sont en moyenne moins longs. Les raisons de cette diminution du linéaire sont sans doute à mettre en relation avec l'extension des zones d'habitats qui ont entraîné la perte de terres cultivées et donc de haies par la même occasion. Il est vraisemblable que la modification dans le découpage parcellaire induit par un nouveau remembrement entre les deux prises de vue ait également joué un rôle (figure 7.22).



Figure 7.22 : Etat des haies en 1985 dans les communes de Sierentz et Uffheim

Les chiffres traduisent cette baisse du linéaire entre 1966 et 1985 : 3 km en 19 ans (tableau 7.33). En revanche, le nombre de structures n'a pas beaucoup diminué : 151 contre 157. Ce sont donc des haies de grandes dimensions qui ont disparu.

Tableau 7.33 : Statistiques de haies en 1985 pour les communes de Sierentz et Uffheim

Statistiques des haies (UFFHEIM/SIERENTZ/1985)		
Nombre total de haies	151	Distribution des fréquences Nb de haies
Longueur minimum (m)	15	
Longueur maximum (m)	342	
Longueur totale cumulée (m)	14442	
Longueur moyenne des haies (m)	96	

L'année 1991 témoigne de la continuité d'une conversion dans la gestion des terres agricoles. La taille des parcelles a encore augmenté et le parcellaire en lames de parquet disparaît. Parallèlement, le linéaire de haies a lui aussi beaucoup diminué (figure 7.23).

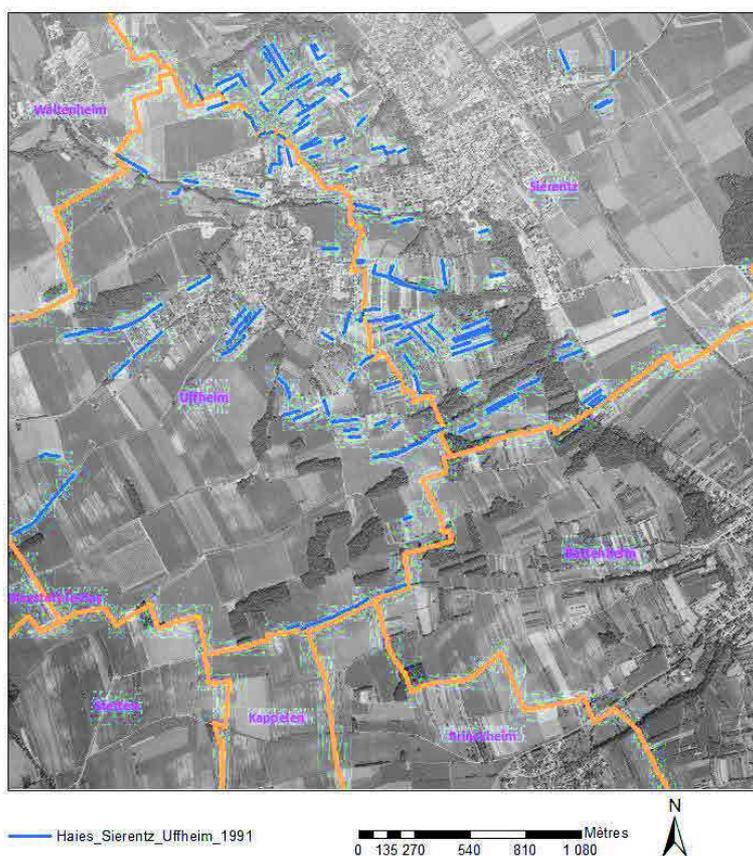


Figure 7.23 : Etat des haies en 1991 dans les communes de Sierentz et Uffheim

Le tableau 7.34 précise ces évolutions. Le nombre total de haies passe de 151 à 130 pour un linéaire total de 12507 m, soit une perte de 2 km en 6 ans.

Tableau 7.34 : Statistiques de haies en 1991 pour les communes de Sierentz et Uffheim

Statistiques des haies (UFFHEIM/SIERENTZ/1991)		
Nombre total de haies	130	Distribution des fréquences Nb de haies
Longueur minimum (m)	11	
Longueur maximum (m)	425	
Longueur totale cumulée (m)	12507	
Longueur moyenne des haies (m)	65	

En 2007, la densité des systèmes de haies semble plus importante qu'en 1991. L'essentiel des haies relevées est situé à la jonction des deux communes (figure 7.24).

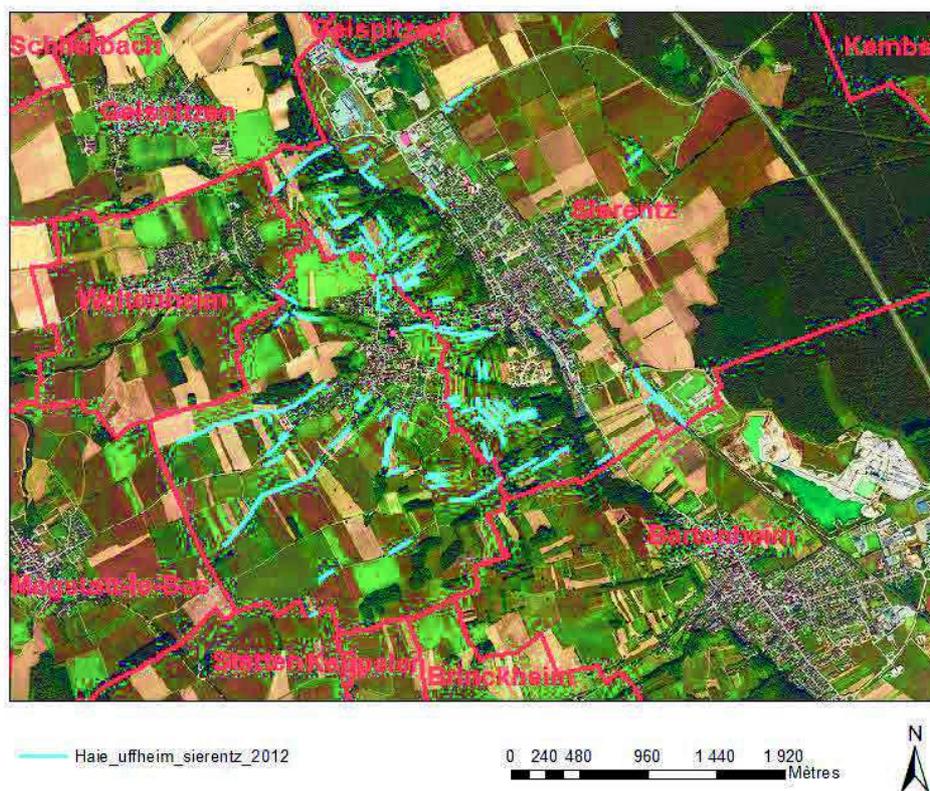
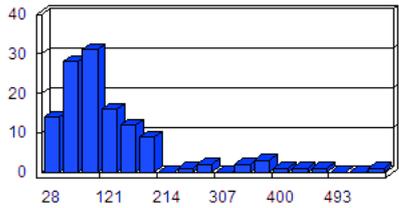


Figure 7.24 : Digitalisation des haies en 2007 (Image : CG68) ; Source : Lucie Froehlicher

L'analyse statistique du shapefile produit précise les valeurs associées à cette digitalisation (tableau 7.35). On détecte sur ces deux communes en 2007, 122 haies qui représentent un linéaire de 16592 m. Le nombre total de haies se réduit donc encore légèrement, tandis que le linéaire augmente considérablement, 33 % (4 km) en 6 ans.

Tableau 7.35 : Statistiques des haies dans les communes d'Uffheim et Sierentz en 2007

Statistiques des haies (UFFHEIM/SIERENTZ/2007)		
Nombre total de haies	122	Distribution des fréquences Nb de haies 
Longueur minimum (m)	28	
Longueur maximum (m)	559	
Longueur totale cumulée (m)	16592	
Longueur moyenne des haies (m)	96.6	

7.2.3 Bilan des évolutions des systèmes de haies de 1934 à 2007

Le tableau 7.36 synthétise l'ensemble des évolutions du linéaire de haies et du nombre de structures observées sur les communes d'Uffheim et de Sierentz de 1880 à 2007. La figure 7.25 associée à ce tableau, rend compte visuellement de cette évolution, que l'on peut caractériser ici de chaotique... Aucune tendance ne se dégage de cette évolution.

Tableau 7.36 : Bilan sur les évolutions des linéaires des systèmes de haies à Uffheim et Sierentz entre 1880 et 2007.

Année	Nombre de structure	Linéaire (m)
1880	47	7988
1934	111	13638
1949	123	16763
1956	125	13833
1966	157	17334
1985	151	14442
1991	130	12507
2007	122	16592

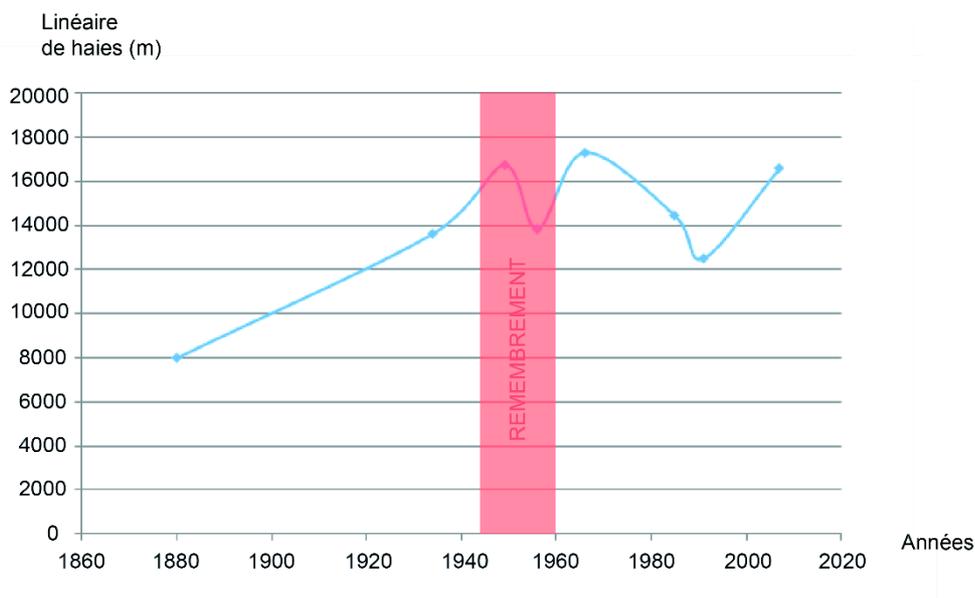


Figure 7.25 : Evolution des linéaires de haies à Uffheim et Sierentz entre 1880 et 2007 ; Source : Lucie Froehlicher

7.2.4 Détection des structures agraires de type rideaux de culture par le LIDAR pour les bancs d'Uffheim et de Sierentz

La digitalisation des rideaux de culture sur les communes d'Uffheim et de Sierentz montre une densité de structures importante sur les zones de collines à l'ouest de Sierentz et à l'est

d'Uffheim (figure 7.26). Le tableau 7.37 précise les statistiques en lien avec ces relevés et montre un total de linéaire digitalisé de plus de 26 km sur les deux communes. Si l'on se réfère au linéaire maximum établi à partir de la digitalisation des haies sur les photos aériennes, on voit que la couverture maximale détectée était d'environ 17 km en 1966. Ainsi, on comprend que le linéaire de 26 km de rideaux de culture correspond à une couverture maximale potentielle de haies que le site a peut-être connu, mais dont nous ne pouvons prouver l'existence dans une extension aussi importante. Néanmoins, avec des linéaires de haies détectées compris entre 13 et 17 km, on peut dire que, proportionnellement, le système est bien pourvu.

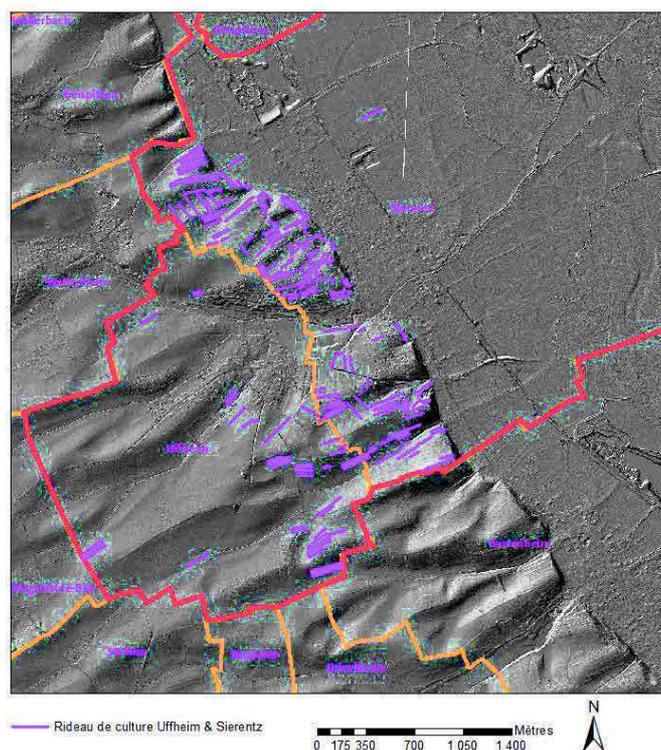


Figure 7.26 : Relevé des rideaux de culture sur une image LIDAR (CG68) ; Source : Lucie Froehlicher

Tableau 7.37 : Etat du linéaire pour les rideaux de culture détectés sur les communes d'Uffheim et de Sierentz ; Source : Lucie Froehlicher

Statistiques des rideaux de culture (UFFHEIM/SIERENTZ/LIDAR/2012)		
Nombre total de rideaux	264	Distribution des fréquences Nb de rideaux
Longueur minimum (m)	0,3	
Longueur maximum (m)	279	
Longueur totale cumulée (m)	26724	
Longueur moyenne des rideaux (m)	101	

7.2.5 Evolution du parcellaire agricole des communes d'Uffheim/Sierentz

Sur le même principe que pour la commune de Habsheim, le but est ici de relier l'évolution du parcellaire des deux communes avec l'état des systèmes de haies. En revanche, nous n'avons pas testé de lien entre la présence de haies et le type de parcelles, les vignes et vergers étant absents du secteur jusqu'en 2007. Par ailleurs, cette analyse ne porte que sur trois dalles, les autres étant incomplètes ou de trop mauvaise qualité : 1956, 1985 et 2007. Si ces biais n'entachent pas la qualité de l'inventaire du linéaire de haies (quasi absent de la zone non couverte), ils sont en revanche rédhibitoires pour chiffrer l'évolution du parcellaire. C'est pourquoi, pour ce site d'étude, aucune étude statistique essayant d'établir des corrélations entre les évolutions ne sera faite.

7.2.5.1 Caractérisation du parcellaires de la commune d'Uffheim et de Sierentz en 1956

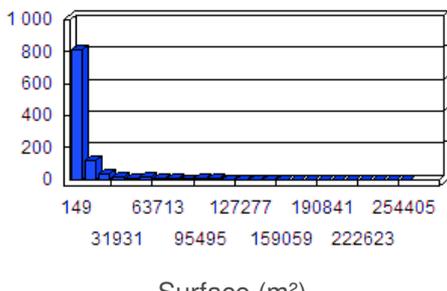
La première photo de 1956 (figure 7.27) présente un découpage parcellaire assez diversifié mélangeant des parcelles déjà remembrées dans les zones de plaine et des parcelles très petites en lames de parquets dans les zones de collines à la jonction des deux communes et à proximité des deux villages.



Figure 7.27: Parcellaires des communes d'Uffheim et de Sierentz en 1956 (photo : Géoportail) ; Source : Lucie Froehlicher

L'analyse des statistiques qui résultent de cette digitalisation montre que 1026 parcelles labourées ont été observées pour une surface correspondant à 9.9 km². Avec une superficie de 13.2 km² pour la commune de Sierentz et de 4.4 km² pour la commune d'Uffheim, plus de la moitié du territoire des deux communes est recouvert par des cultures pour cette année-là (tableau 7.38).

Tableau 7.38 : Statistiques des zones labourées pour les communes d'Uffheim et de Sierentz en 1956 ; Source : Lucie Froehlicher

Statistiques des zones labourées (UFFHEIM/SIERENTZ/1956)		
Nombre total de parcelles	1026	Distribution des fréquences Nombre de parcelles 
Surface minimum (m ²)	149	
Surface maximum (m ²)	254 764	
Surfaces cumulées (m ²)	9 883 095	
Surface moyenne (m ²)	9 633	

7.2.5.2 Caractérisation du parcellaires de la commune d'Uffheim et de Sierentz en 1985

Un gap conséquent sépare la prise de vue de la photo de 1956 et de 1985. A cette date-là, le paysage a considérablement évolué. Les communes de Sierentz et de Uffheim ont vu leur zone d'habitations s'agrandir au dépend des parcelles agricoles dont leur superficie totale diminue à vue d'œil. La structure du parcellaire a elle aussi évolué puisque les parcelles sont de plus en plus grandes en raison d'un remembrement (figure 7.28). On note aussi une extension de certains parcellaires forestiers non digitalisés ici. Ces parcelles forestières correspondent à la reconquête forestière en lien avec l'abandon de certaines terres.



Figure 7.28 : Parcelles des communes d'Uffheim et de Sierentz en 1985 (photo : Géoprotail) ; Source : Lucie Froehlicher

Les caractéristiques statistiques en lien avec l'année 1985, présentées dans le tableau 7.39, montrent une baisse du nombre de parcelles détectées. On passe de 1026 à 818 structures. Mais cette baisse n'est pas uniquement en lien avec l'extension des zones d'habitation. Elle est aussi liée au fait que la dalle ne couvre pas l'ensemble des deux communes. Une petite partie à l'ouest d'Uffheim n'est pas couverte, ainsi qu'une autre au nord-est de la commune de Sierentz. Ces zones sans couverture ont été quantifiées. On évalue la surface manquante à 1.6 km² de terres labourées, sans pouvoir préciser la taille des champs. En ajoutant ces 1,6 km² estimés à la surface mesurée sur la photo de 1985, le total est de 8.3 km², ce qui reste inférieur à la surface mesurée en 1956.

Tableau 7.39 : Statistiques des zones labourées pour les communes d'Uffheim et de Sierentz en 1985 ; Source : Lucie Froehlicher

Statistiques des zones labourées (UFFHEIM/SIERENTZ/1985)		
Nombre total de parcelles	818	Distribution des fréquences
Surface minimum (m ²)	94	Nombre de parcelles
Surface maximum (m ²)	158 173	
Surfaces cumulées (m ²)	6 745749	
Surface moyenne (m ²)	8246	

7.2.5.3 Caractérisation du parcellaires de la commune d'Uffheim et de Sierentz en 2007

L'image de 2007 présente une couverture totale sur l'ensemble des deux communes. Par comparaison aux deux premières photos, la superficie des terres labourées a encore diminué en raison de la reconquête forestière d'un bon nombre de parcelles et de l'extension des habitations d'autre part (figure 7.29).



Figure 7.29 : Surface labourée des communes d'Uffheim et Sierentz en 2007

Il y a une baisse de la surface des terres labourées (7,6 km²) et du nombre de parcelles (122) dont la taille moyenne augmente (1,5 ha contre 0,8 en 1985) (tableau 7.40).

Tableau 7.40 : Statistiques sur les surfaces labourées des communes d'Uffheim et Sierentz en 2007

Statistiques des zones labourées (UFFHEIM/SIERENTZ/2007)		
Nombre total de parcelles	490	Distribution des fréquences Nombre de parcelles
Surface minimum (m ²)	138	
Surface maximum (m ²)	185 279	
Surfaces cumulées (m ²)	7 565 976	
Surface moyenne (m ²)	15 441	

7.3 Conclusion

Le premier bilan que l'on peut faire de cette étude est que les évolutions spatiales et temporelles des structures de type haies/rideaux de culture ne suivent pas de loi générale. Chaque site est unique. Nos deux secteurs d'étude, Habsheim et Sierentz/Uffheim, situés pourtant à moins de 15 km l'un de l'autre ne présentent pas du tout les mêmes évolutions, tant au niveau du redécoupage lié aux remembrements que de l'évolution du linéaire des haies. Le manque de données correctement exploitables pour les communes de Sierentz et d'Uffheim constitue un biais non négligeable qui nuancera ces propos. Néanmoins, des corrélations ont tout de même pu être établies sur la commune d'Habsheim. Ainsi, on montre l'existence d'un lien positif entre le linéaire de haies et la taille moyenne des parcelles labourées et négatif entre linéaire de haies et surface labourée, et nombre de parcelles labourées. Ce travail montre qu'il est impossible de généraliser l'information produite à l'ensemble du territoire alsacien. Nous ne pouvons pas prédire l'importance du linéaire pour une époque donnée, les évolutions étant totalement discontinues et déconnectées les unes des autres. L'extension maximale peut être calculée à partir de l'imagerie LIDAR : c'est le linéaire des rideaux de culture. Ceci dit, rien ne prouve qu'à une époque donnée, l'ensemble des rideaux était associé simultanément à des haies. Par ailleurs, une stabilité du linéaire occupé par des haies ne prouve pas que le système soit figé. Au contraire, l'analyse à laquelle nous nous sommes livrée montre que l'emplacement des haies n'est pas fixe. Des haies disparaissent ou apparaissent en un lieu donné à des fréquences variables que seule une analyse photographique détaillée peut mettre en évidence.

Par ailleurs, ces résultats nuancent fortement des idées reçues sur la disparition des haies, sur l'effet systématiquement nocif des remembrements et sur l'existence d'un schéma général de l'évolution des haies aux XX^{ème} et XXI^{ème} siècles en Alsace, ou tout au moins dans le Sundgau.

Chapitre 8 : Analyses pédologiques : caractérisations des sols et toposéquences

L'objectif de ce chapitre est de présenter en détail les toposéquences et fosses étudiées en s'appuyant sur la description minutieuse des sols, leur caractérisation analytique et l'étude des variations latérales de l'horizonation.

8.1 Description et organisation des sols des sites et toposéquences d'étude

8.1.1 Les sites de référence

8.1.1.1 HABSREF : Référence sous prairie

Ce sol est en prairie ou verger depuis au moins 1760, soit plus de 250 ans (figure 8.1). La fosse HABSREF à une profondeur de 1,15 m. Jusqu'à 1,10 m se développe un sol limoneux calcaire, développé dans des colluvions de bas de pente. Ces colluvions sont entièrement pédogénétisées, d'où le terme de « SC » employé pour désigner l'horizon principal, et l'absence de réel horizon C. Ce sol recouvre un paléosol dont la partie supérieure (horizon IIA) est très sombre. Les détails de la description sont présentés sous forme de fiche (annexe 13 (Y)). De nombreux artefacts archéologiques (os, tuiles, clous, tessons,...) dispersés dans l'horizon SC témoignent de l'intensité de l'activité érosive avant la stabilisation du milieu par le couvert prairial.

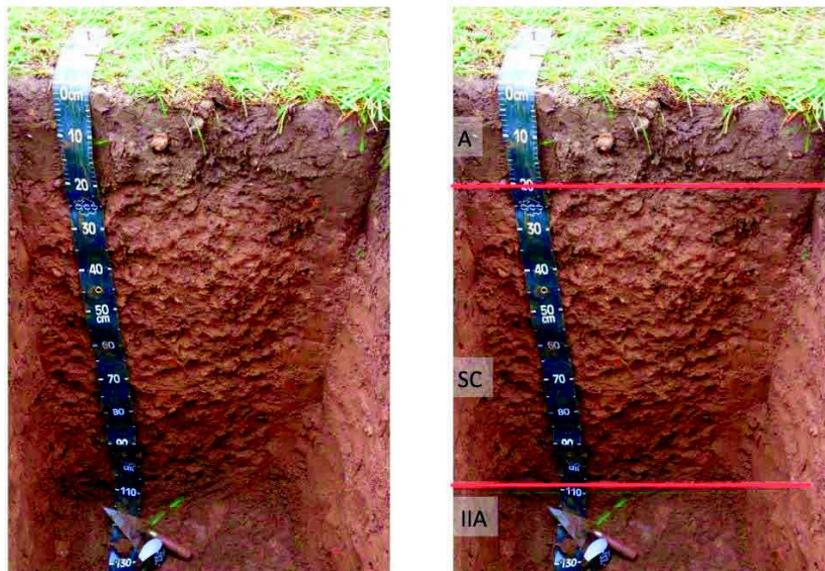


Figure 8.1 : Fosse HABSREF avec délimitation des horizons ; photo : Lucie Froehlicher

8.1.1.2 ZOO : Référence sous forêt

La fosse ZOO est sous forêt depuis plus de 500 ans (voir chapitre 5). D'une profondeur de 1 m, la fosse « ZOO » correspond à un luvisol (sol brun lessivé) à profil A/E/BT/C complet, absolument pas érodé. Ce profil est sans doute un des plus beaux luvisols que l'on puisse observer en Alsace (Schwartz, comm. orale). L'absence totale de traits imputables à des phases d'érosion suggère un très long passé sans culture. La très faible épaisseur de l'horizon A (moins de 10 cm) est une caractéristique d'un très vieux sol forestier. Aucun artefact archéologique n'a été observé. La description de la fosse ainsi que les détails des prélèvements réalisés sont présentés sur la fiche de la fosse en annexe 13 (Z).

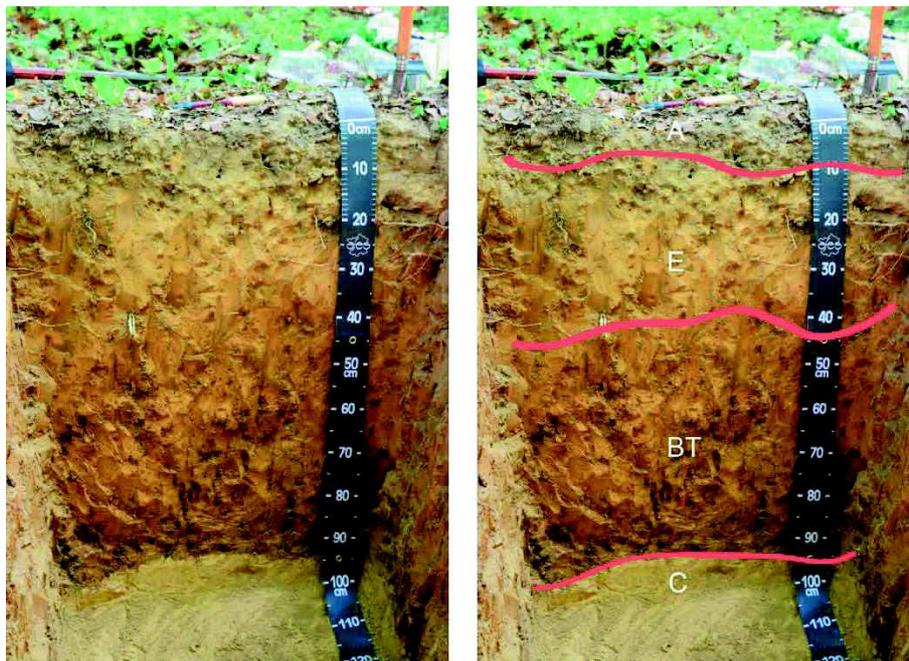


Figure 8.2 : Fosse ZOO avec délimitation des horizons ; Source : Lucie Froehlicher

8.1.2 Les toposéquences d'Uffheim « UFF » et de Habsheim « HABS » : formation et évolution de sols associés à la présence de haies

Deux toposéquences sont décrites ici. La plus simple est celle d'Uffheim (UFF) ; il s'agit d'une seule parcelle agricole associée à un rideau de culture placé en contrebas. Nous la présenterons dans un premier temps, car elle facilitera la compréhension de la toposéquence de Habsheim (HABS), bien plus complexe, car formée par une succession de trois tronçons agricoles séparés par deux rideaux.

8.1.2.1 La toposéquence d'Uffheim (UFF)

Cette toposéquence est longue d'une cinquantaine de mètres environ. Trois fosses ont été réalisées sur le transect (UFF 01, UFF 02 et UFF 03) (figure 8.3). L'organisation latérale des horizons a été affinée à l'aide de sondages à la tarière.

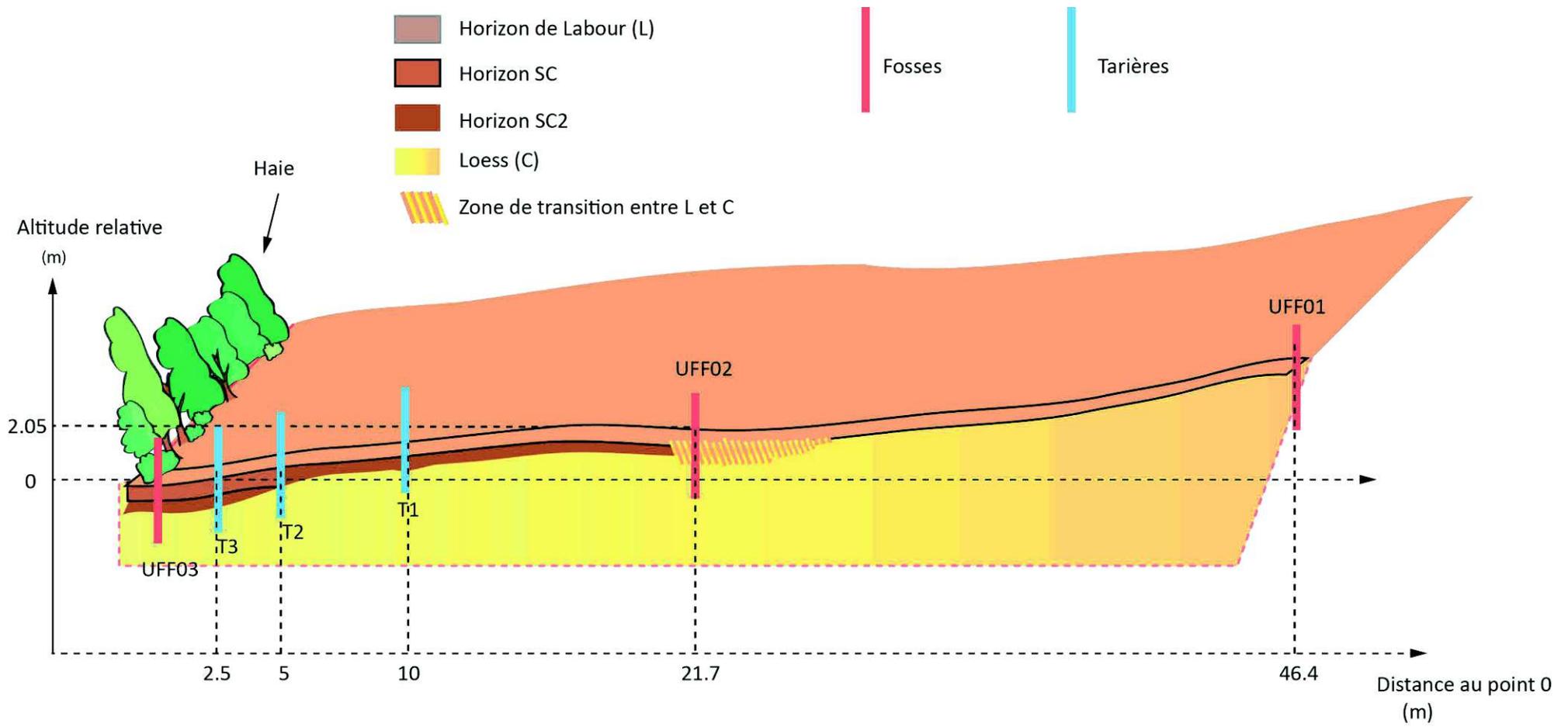


Figure 8.3 : Toposéquence d'Uffheim "UFF" : organisation latérale des sols ; Source : Lucie Froehlicher

A l'amont de la toposéquence, le sol (profil UFF 01) est très mince. Il est caractérisé par la succession d'un horizon de labour L de 25cm d'épaisseur au contact brutal de l'horizon de loëss altéré C. Ce type de sol tronqué est caractéristique des zones où l'érosion est importante. En milieu de parcelle, la fosse UFF 02 présente un sol un peu plus épais que UFF 01. L'horizon de labour fait 32 cm (contre 25 pour le précédent) et la transition avec le loëss se fait par l'intermédiaire d'un petit horizon de transition LC de 8 cm d'épaisseur, caractérisé par d'abondantes galeries de vers de terre. L'horizon C débute à 40 cm de profondeur. Il s'agit aussi d'un sol complètement tronqué au départ, mais présentant un début de colluvionnement. La fosse UFF 03, située en bas de parcelle, à l'amont du rideau de culture occupée par une haie, correspond à un sol colluvial : l'ensemble des horizons précédant le loëss fait 110 cm d'épaisseur. L'épaississement lié au colluvionnement est donc d'au moins 85 cm. L'ensemble des colluvions étant pédogénétisés, nous avons appelé SC les horizons intermédiaires, en distinguant deux horizons SC1 et SC2 sur la base de leur couleur et de leur texture (figure 8.4). Cinq fragments d'un vase tripode ont été collectés dans l'horizon SC1. Ces fragments s'assemblent tous et proviennent d'un gros tesson fragmenté sur place.

Les descriptions complètes de ces sols sont présentées en annexe 5 (M,N,O).

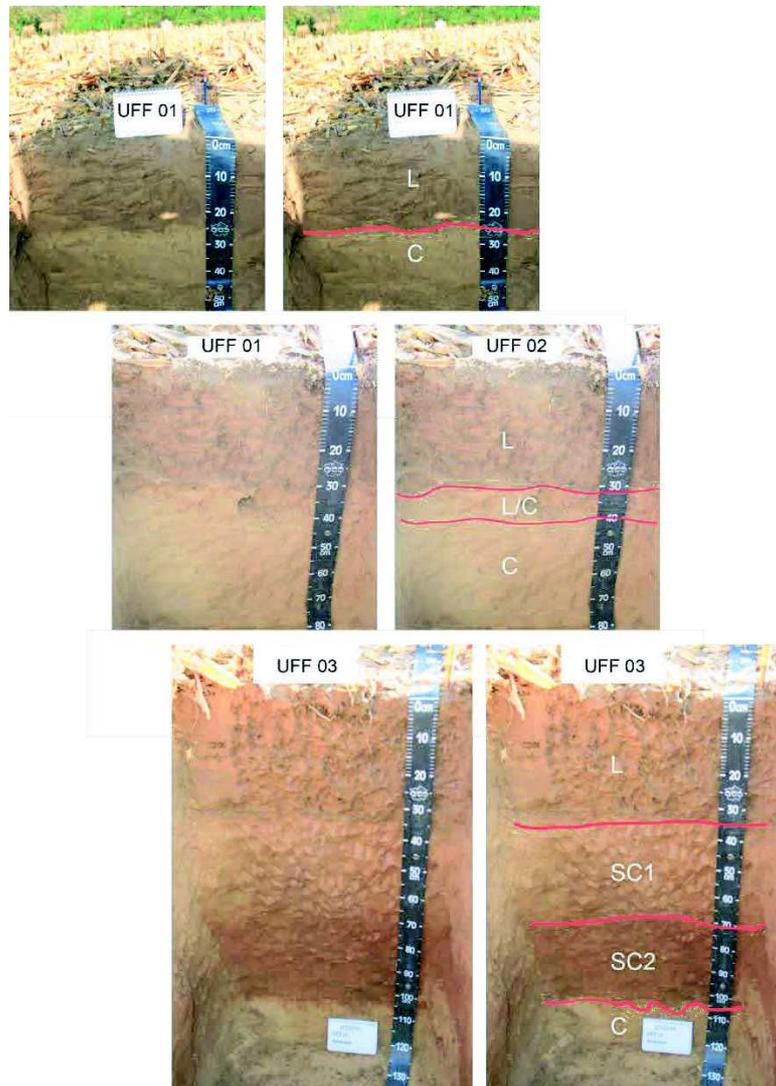


Figure 8.4 : Photos des fosses UFF 01, UFF 02 et UFF 03 avec délimitation des horizons ; Photos : Lucie Froehlicher

Les caractéristiques des sols de la toposéquence d'Uffheim et leur organisation permettent une première interprétation sur les phases érosives qui se sont succédé. Nous partons ici de l'hypothèse que le sol initial était un luvisol. Ces sols sont actuellement peu répandus en Alsace, mais semblaient généralisés autrefois, comme le montre la présence fréquente de lambeaux de luvisols tronqués latéralement mais aussi dans leur partie sommitale, sur les zones de loëss excavées par des chantiers archéologiques. La toposéquence d'Habsheim (*cf. infra*) conforte également cette hypothèse. Il apparaît ainsi que le luvisol présent sur cette toposéquence a été complètement tronqué lors d'une première phase d'érosion avant l'installation de la haie située à l'aval. Une autre phase d'érosion est perceptible postérieurement à l'établissement de la haie, comme en témoigne le stockage de colluvions responsables de la formation du rideau de culture. Avant même les datations OSL (*cf. chap. 8.5.3*), les éléments archéologiques recueillis dans la fosse UFF 03 permettent de donner un âge maximal aux colluvions superficielles. Le tripode (figure 8.5) dont les fragments ont été retrouvés dans la tranche 40-72 cm de profondeur est relativement caractéristique du XVII^{ème} siècle (communication orale de J.J. Schwien, MCF archéologue UNISTRA). Les colluvions des 40 cm supérieurs ont ainsi moins de 400 ans.

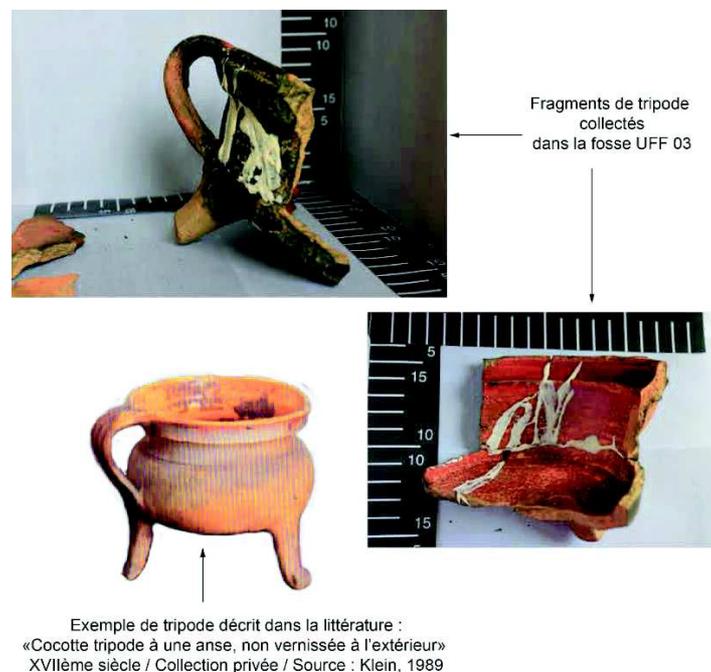


Figure 8.5 : Reconstitution du tripode retrouvé dans la fosse UFF 03 et comparaison avec un tripode de la littérature (Klein, 1989) ; photo : Lucie Froehlicher

8.1.2.2 La toposéquence d'Habsheim (HABS)

La toposéquence de Habsheim « HABS » est composée de trois paliers séparés par deux rideaux de culture. Sur chacun de ces trois paliers ont été réalisés 3 fosses. Ces 9 fosses (HABS01, HABS02, HABS03 ; HABS05, HABS10, HABS06 ; HABS07, HABS08, HABS09 ; voir les descriptions complètes en annexe 4 (D, E, F, G, H, I, J, K, L) et plus d'une dizaine de sondages à la tarière, ont permis d'établir une coupe présentant l'organisation pédologique de la séquence (figure 8.6).

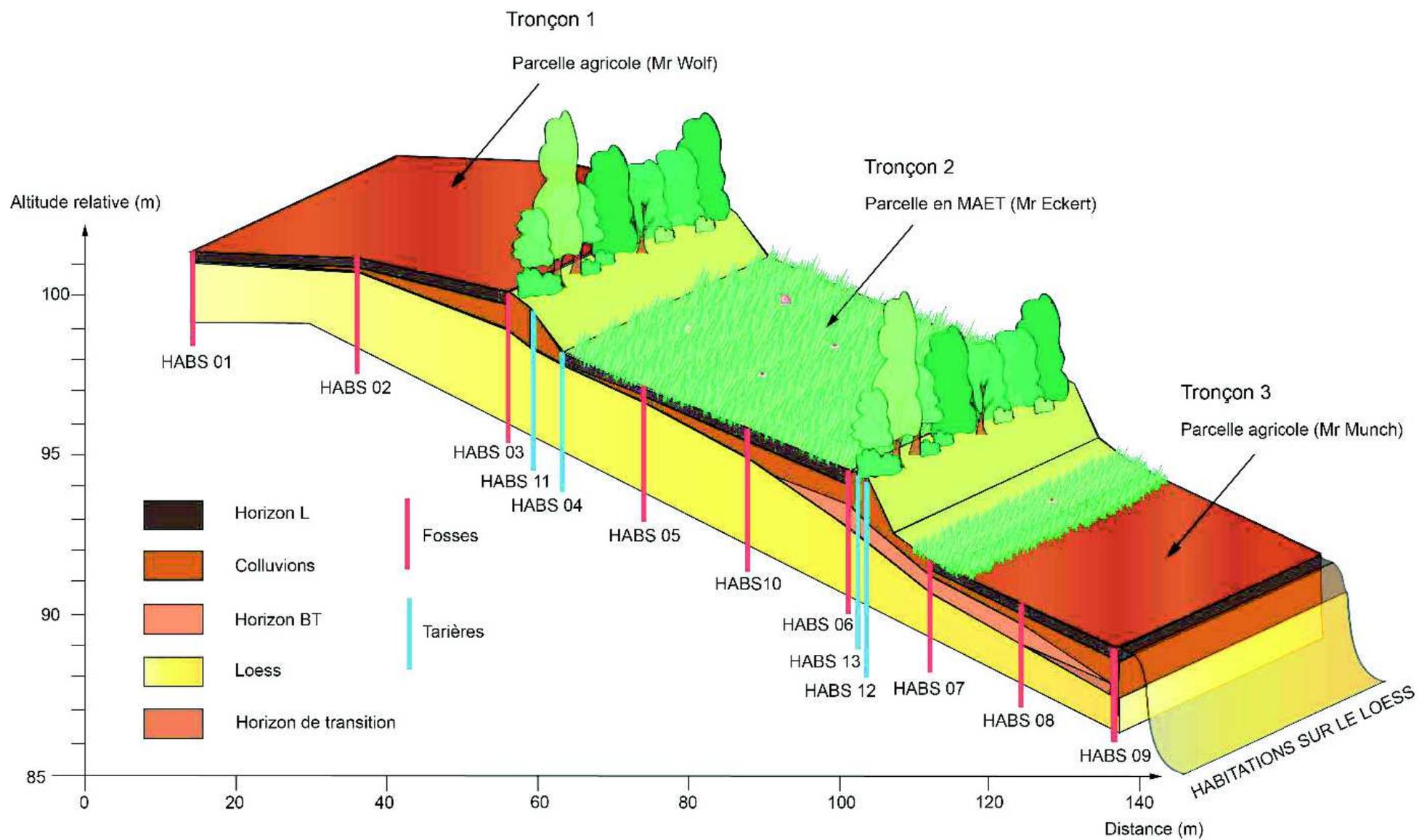


Figure 8.6 : Toposéquence de Habsheim "HABS" ; Source : Lucie Froehlicher

Description du tronçon amont (profils HABS 1 à 3)

La pente moyenne sur ce tronçon, entre HABS 01 et HABS 03, est de 2,82 %. Quasiment nulle entre HABS 01 et HABS 02, et est de 4,35 % entre HABS 02 et HABS 03. Dans les deux premières fosses (HABS 01 & HABS 02), situées à l'amont de la toposéquence, sur le sommet tabulaire de la colline, l'horizon de labour L, épais de 39 cm est au contact direct du loëss. Le profil est typique des sols complètement tronqués par l'érosion. La netteté du contact parfaitement plane et l'absence d'horizon de transition entre L et C suggère que l'érosion est encore active. Le profil HABS 03 est situé à 20 m environ en contrebas de HABS 02, juste au-dessus du rideau de culture qui limite ce tronçon. Sous un horizon de labour L de 38 cm on trouve une accumulation de colluvions carbonatées, en cours de pédogenèse (horizon SC) d'une épaisseur de 57 cm. A 95 cm de profondeur, le loëss (horizon C) apparaît après une transition de quelques centimètres (figure 8.7).

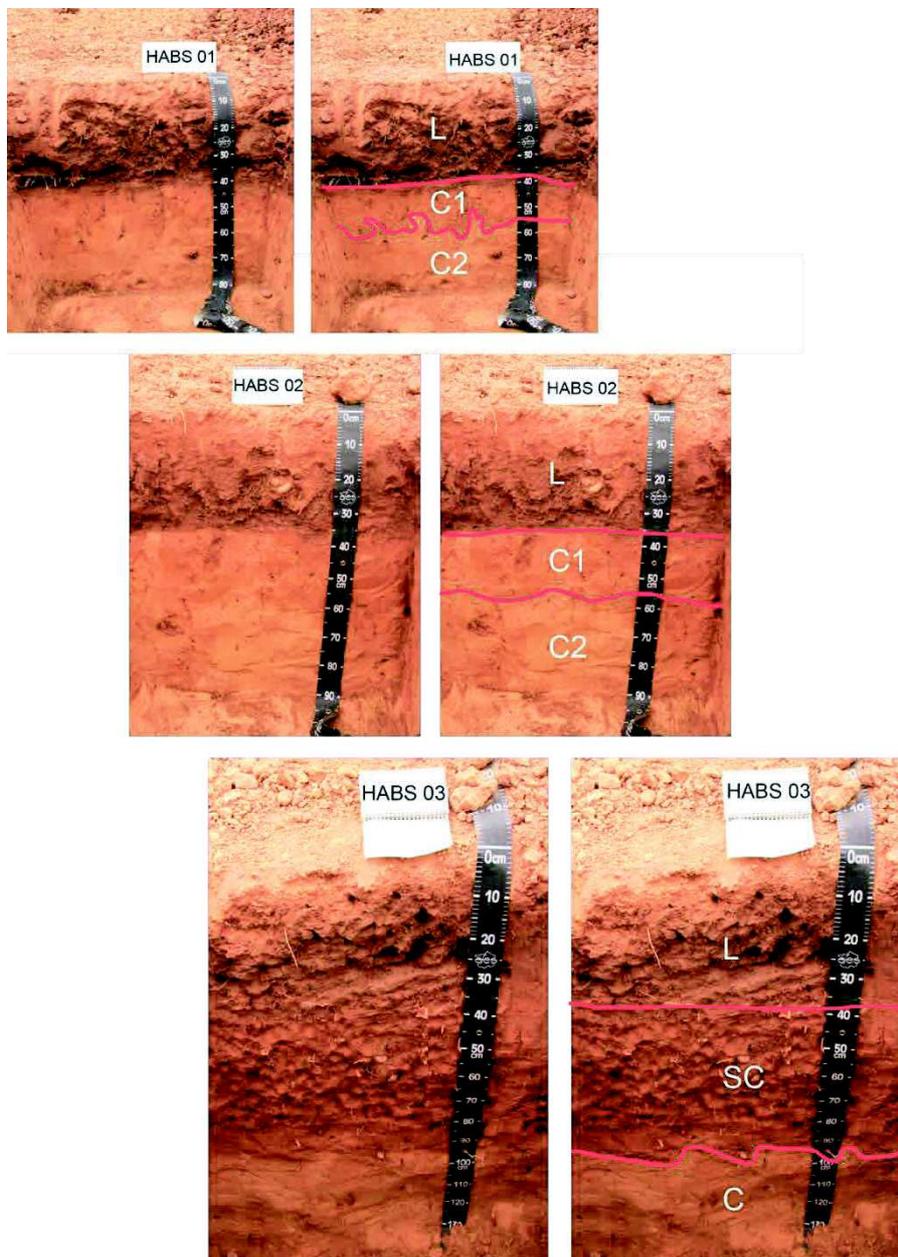


Figure 8.7 : Photos des fosses HABS 01, HABS 02 et HABS 03 avec délimitation des horizons ; Photos : Lucie Froehlicher

Description du tronçon médian (profils HABS 05, 06, 10)

La pente moyenne de ce tronçon, hors talus, est de 9.09 %. Fosse amont du tronçon, HABS 05 est très semblable à HABS 01 et 02. Sous un horizon L de 28 cm, on passe par une transition de quelques centimètres à l'horizon C loëssique. Il s'agit là encore d'un sol entièrement tronqué par l'érosion agricole (figure 8.8).

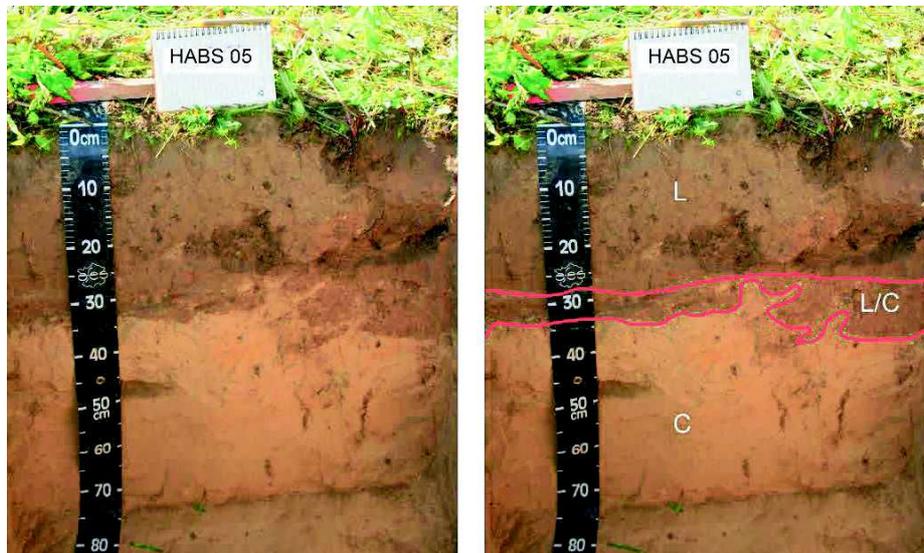


Figure 8.8 : Photos de la fosse HABS 05 avec délimitation des horizons ; Photo : Lucie Froehlicher

A environ 6 m à l'aval de HABS 05, HABS10 est similaire à HABS 03. (Succession L, SC de colluvions carbonatées en cours de pédogenèse et C loëssique) (Figure 8.9).



Figure 8.9 : Photos de la fosse HABS 10 avec délimitation des horizons ; Photo : Lucie Froehlicher

La fosse HABS 06 (figure 8.10) est située à 12.5 m de HABS 05, juste au-dessus de la haie n° 2. Avec plus de 1,75 m d'épaisseur avant l'apparition du loëss, cette coupe présente trois horizons bien distincts : L (45 cm), S (55 cm) et IIBT (75 cm). L'horizon IIBT a valeur de paléosol : c'est le reliquat d'un ancien luvisol partiellement tronqué. Non effervescent et de couleur orangée, il se subdivise en deux sous-horizons. La partie supérieure, entre 90 et 140 cm est colluvionnée. Sa base est en effet marquée par une discontinuité, soulignée par la présence de trois gros galets allochtones entre 120 et 140 cm (galets alluviaux du Rhin), sans doute apporté ici en même temps que des amendements organiques. La partie située entre 140 et 175 cm de profondeur correspond à un BT en place. L'horizon S se développe dans des colluvions carbonatées sans liens avec le BT. La différence d'épaisseur de l'horizon L entre la fosse amont (HABS 05, 28 cm) et la fosse aval (HABS 06, 45 cm) suggère une érosion encore active il y a peu (la parcelle est occupée depuis 2011 par un couvert herbacé pérenne en lien avec un dispositif MAE).

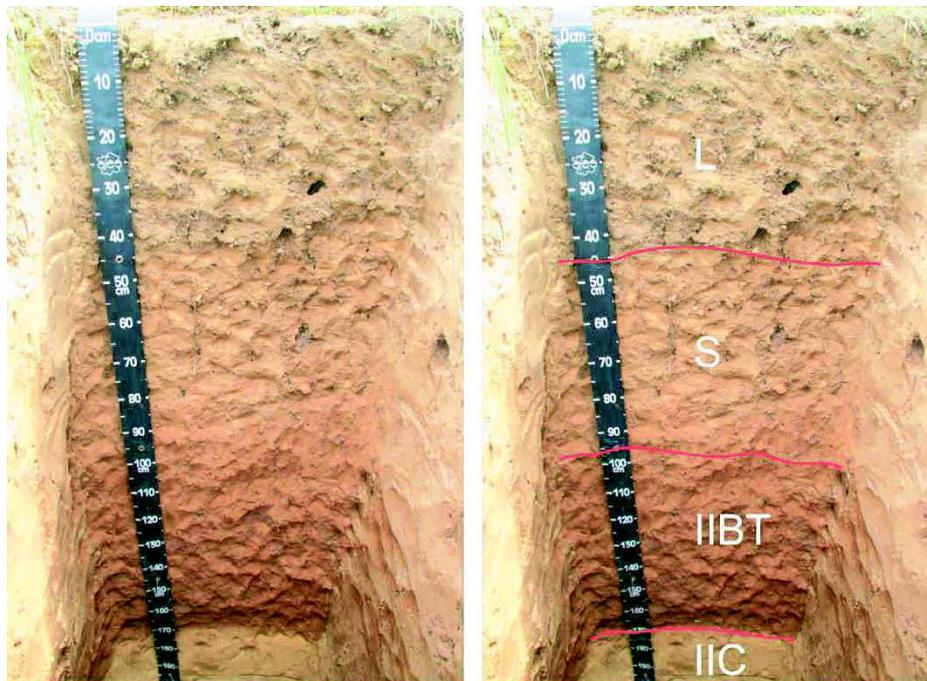


Figure 8.10 : Photos de la fosse HABS 06 et délimitation des horizons ; Source : Lucie Froehlicher

Description du tronçon aval (profils HABS 07 à 09)

La pente moyenne du tronçon est de 10.11 %. Le profil amont, HABS 07 est caractérisé par un horizon de labour de 32 cm au contact direct d'un horizon BT d'environ 80 cm d'épaisseur. Pour sa part, le profil HABS 08 est plus complet, puisqu'il présente un horizon E de 25 cm sous l'horizon L (35 cm), puis un horizon BT en place de 60 cm (figure 8.11).

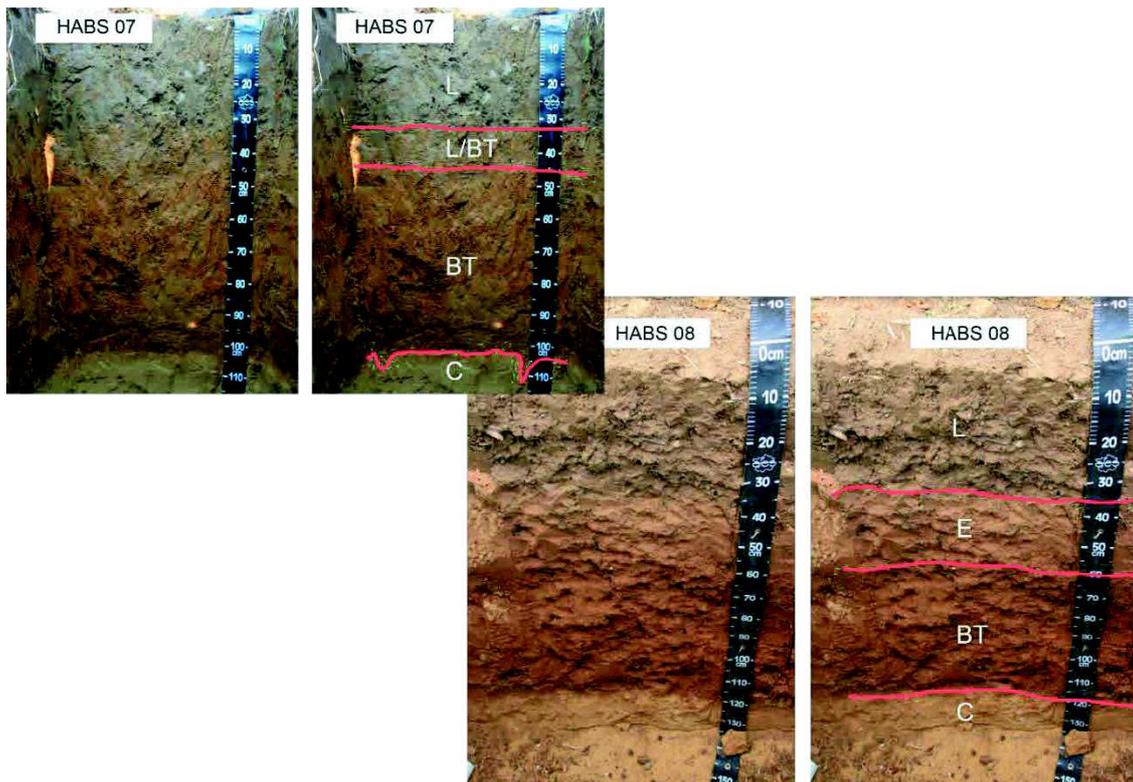


Figure 8.11 : Photos des fosses HABS 07 et HABS 08 avec délimitation des horizons ; Source : Lucie Froehlicher

Pour sa part, HABS 09 est très différent. Ce sol très épais est constitué de 5 horizons : L (32 cm), S1 (43 cm), S2 (35 cm), SC (24 cm), puis C loessique à partir de 1,34 m de profondeur. A l'exception du C loessique, il s'est entièrement développé dans des colluvions carbonatées. Le BT que l'on observait dans les 3 fosses situées immédiatement à l'amont (HABS 06 à 08) a complètement disparu ici (figure 8.12).

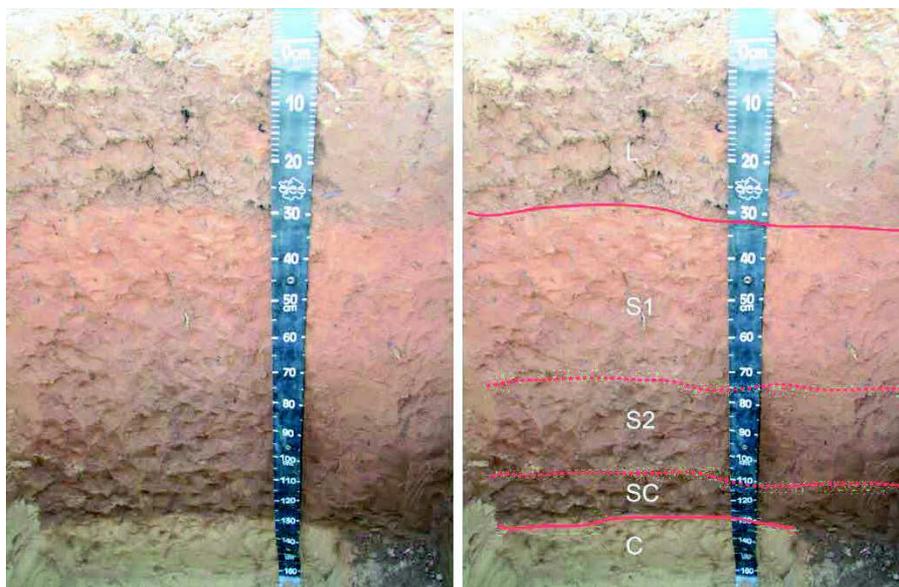


Figure 8.12 : Photos de la fosse HABS 09 et délimitation des horizons ; Photos : Lucie Froehlicher

Sur cette toposéquence, le rôle des haies dans le blocage des colluvions est très bien illustré. L'épaississement des colluvions augmente à l'aval de chaque tronçons et donc à l'amont des rideaux de culture, pour atteindre un maximum dans la fosse la plus proche des haies (HABS 03, HABS 06 et HABS 09). D'autre part, on note une assez grande diversité dans l'organisation des horizons de l'amont à l'aval de la toposéquence. Aucune lois de succession générale des horizons n'est observée, sauf pour les sols à l'amont des deux tronçons supérieurs (HABS 01, HABS 02 et HABS 05), très amincis par l'activité érosive. La succession des sols sur ces tronçons, notamment le tronçon amont, est du même type qu'à Uffheim. Sur le tronçon inférieur, la troncature des sols situés à l'amont (HABS 07 et HABS 08) est moins prononcée. Ceci semble être une conséquence de la forme convexo-concave du versant. De façon tout à fait normale, la partie convexe est plus érodée que la partie concave.

Notons également qu'exactement comme à Uffheim, la troncature des luvisols du tronçon amont a été totale avant l'installation de la haie supérieure : on ne retrouve aucun élément de BT dans les colluvions stockées à son amont. De manière plus globale, l'observation sur le terrain de la diversité des sols et l'analyse de leur organisation latérale permettent de mettre en évidence plusieurs phases de pédogenèse et d'érosion. Grâce à cette analyse qualitative, nous pouvons proposer un premier scénario de dynamique pédo-paysagère (figure 8.13), qui sera réévalué et précisé lors de l'interprétation des datations OSL des différents horizons colluviaux.

Ce scénario commence avec la mise en place des lœss (phase A) sans doute au dernier maximum glaciaire, vers 20000 B.P. Compte-tenu de la jeunesse du matériau et des conditions climatiques rigoureuses, les sols étaient sans aucun doute des sols peu évolués. A la fin des temps glaciaires, l'amélioration climatique a permis l'établissement d'une couverture végétale continue (B). La décarbonatation de la partie supérieure des lœss démarre. La pédogenèse se traduit par la formation de calcosols puis de calcisols et/ou de brunisols. L'installation d'une végétation arborée favorise le lessivage et la formation des luvisols (C). Ces trois premières phases sont celles classiquement décrites dans les régions tempérées. La reconstitution démarre réellement avec la phase D, qui correspond à une première phase d'érosion intense sur l'ensemble du versant. Les luvisols de la partie supérieure du versant, convexe, sont totalement tronqués. Dans la partie inférieure, concave, la troncature n'est que partielle. La troncature respecte une partie de l'horizon BT, parfois remanié latéralement à une échelle décamétrique. Avec ces seules observations, il n'est pas possible de dater précisément cette phase. Par comparaison avec des résultats obtenus sur d'autres zones lœssiques d'Alsace (voir par exemple Schwartz *et al.*, 2009 ou Ertlen *et al.*, 2014), il semble vraisemblable qu'elle soit très ancienne. Elle a pu démarrer dès le Néolithique. Suit l'installation de haies (E), sans que l'on puisse préciser si cette installation a été synchrone ou étalée dans le temps. A partir de ce moment-là, l'érosion a été fractionnée en tronçons successifs, correspondant à l'intervalle entre deux haies. Les colluvions, pour la plupart carbonatées, commencent à s'accumuler à l'aval des tronçons, marquant le début de la formation des rideaux de culture. La poursuite de ce phénomène sur la durée aboutit à la formation de la topographie actuelle, en paliers successifs marqués par des talus (F). Le dernier avatar de cette dynamique étant la troncature de la partie inférieure du tronçon aval (déplacement latéral du ruisseau ? effet de l'urbanisation ?).

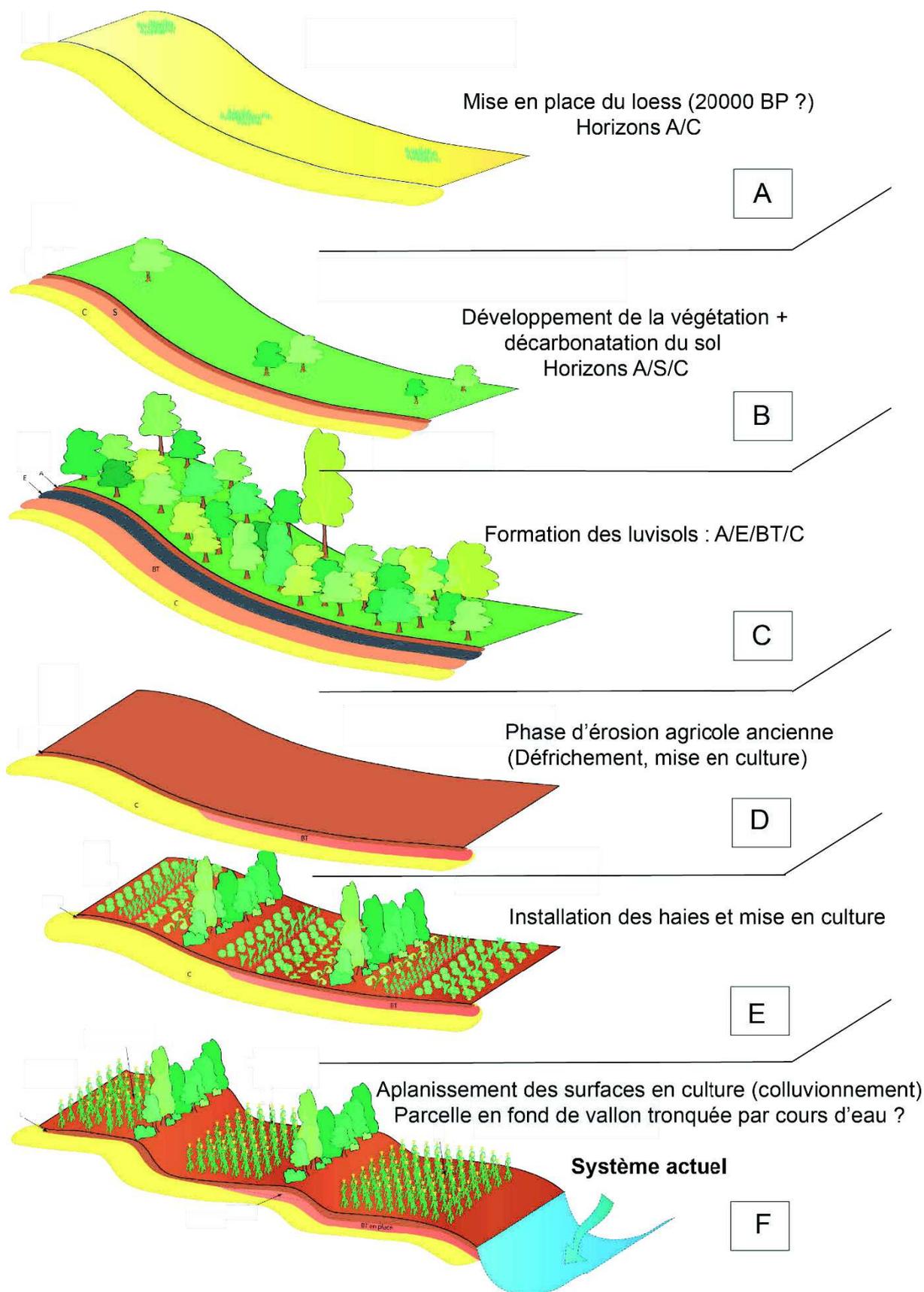
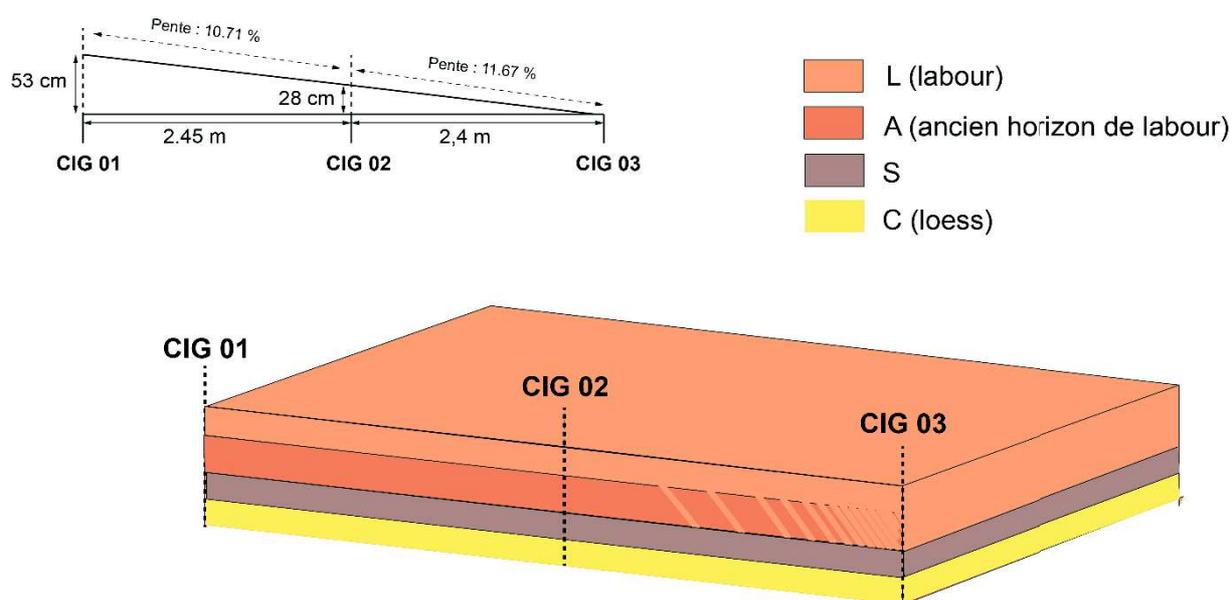


Figure 8.13 : Scénario de mise en place des paysages de la toposéquence HABS d'après l'observation et la description des fosses associées à cette toposéquence ; Source : Lucie Froehlicher

8.1.3 Caractérisation de la toposéquence « CIG » à Habsheim : évolution des sols après disparition des haies.

L'arrachage des haies et l'arasement (naturel ou mécanique) des talus qui suit se traduisent par des changements de l'organisation des sols et des stocks de carbone qu'ils contiennent. Il nous a semblé intéressant d'en avoir une idée. A cet effet, nous avons étudié la toposéquence CIG. Celle-ci, parallèle à la toposéquence HABS, a été établie à l'endroit où le prolongement du rideau aval de la toposéquence HABS a été complètement arasé pour agrandir un champ. Sur cette toposéquence, trois fosses ont été ouvertes et nommées de CIG 01 à CIG 03 (figure 8.14). Sur le terrain, l'ancien rideau n'est quasiment plus visible. Seule l'image LIDAR permet de la matérialiser.



Les descriptions des sols associés à ces fosses sont présentées en annexe 6 (P, Q, R). La première fosse « CIG 01 » présente un sol assez bien structuré caractérisé par une succession d'horizon de type L/A/S/C (figure 8.15). Cette organisation, avec une distinction entre horizons L et A, peut résulter de l'exhaussement de l'horizon de labour (L) par un enrichissement colluvial lié à l'activité érosive sur le site. Avec ces apports, l'horizon de labour s'épaissit et laisse place quand cet enrichissement devient trop épais à une démarcation très nette entre L et A (l'ancien horizon L), lié à la profondeur maximale du labour. Une autre hypothèse est que l'horizon A correspond à l'étalement des anciens colluvions du talus. Il n'a pas été possible de réellement trancher entre ces deux possibilités.

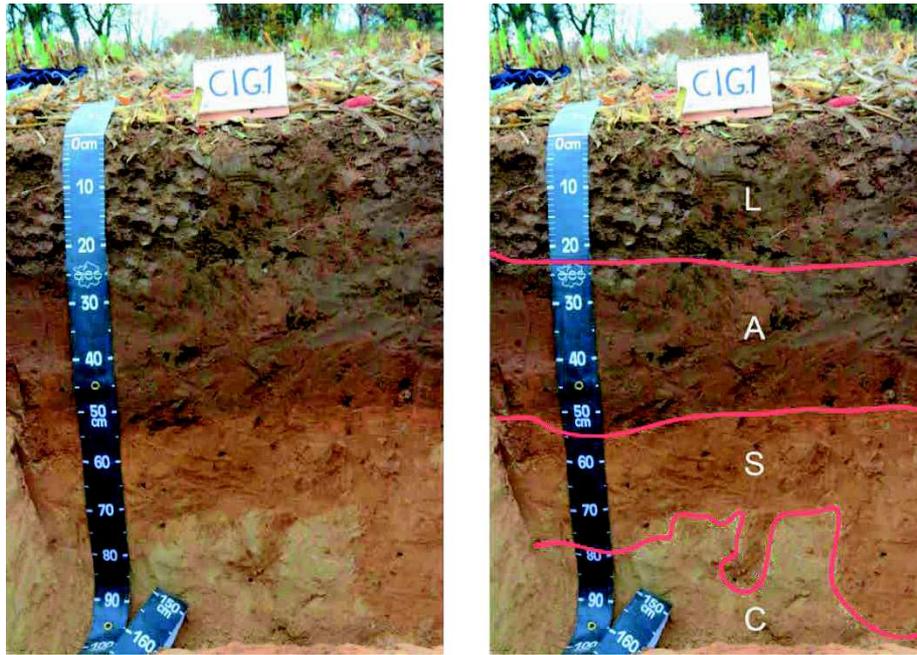


Figure 8.15 : Photos de la fosse CIG 01 avec délimitation des horizons ; Photos : D. Schwartz ou L/C/IIS/IIC

La fosse « CIG 02 » correspond à un sol caractérisé par la même succession d'horizons que CIG 01 (L/A/S/C) avec néanmoins une variation des épaisseurs de l'horizon S, moins bien délimité et moins épais (figure 8.16). D'après l'imagerie LIDAR, l'ancien rideau de culture devait couper perpendiculairement la toposéquence au niveau de cette fosse CIG 02 avant son arasement.

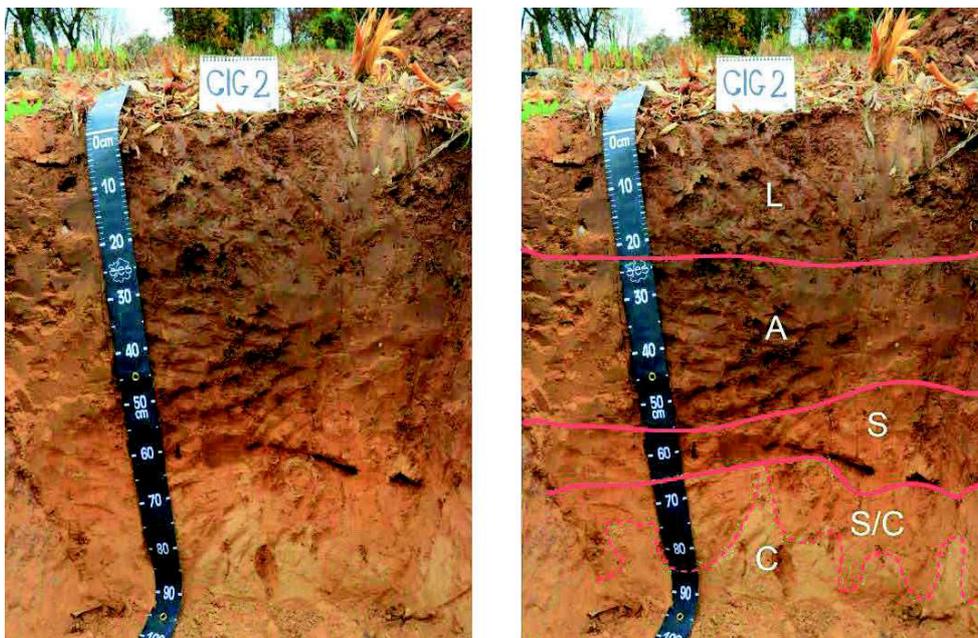


Figure 8.16 : Photos de la fosse CIG 02 avec délimitation des horizons ; Photos : D. Schwartz

La fosse « CIG 03 » quant à elle, est moins bien structurée que CIG 01 et CIG 02. Néanmoins, la structuration des horizons leur est assez semblable (LA/S/C) (figure 8.17), même si le distinguo entre L et A est difficile (colluvionnement/bioturbation), d'où le choix de décrire un horizon unique LA épais de 55 cm.

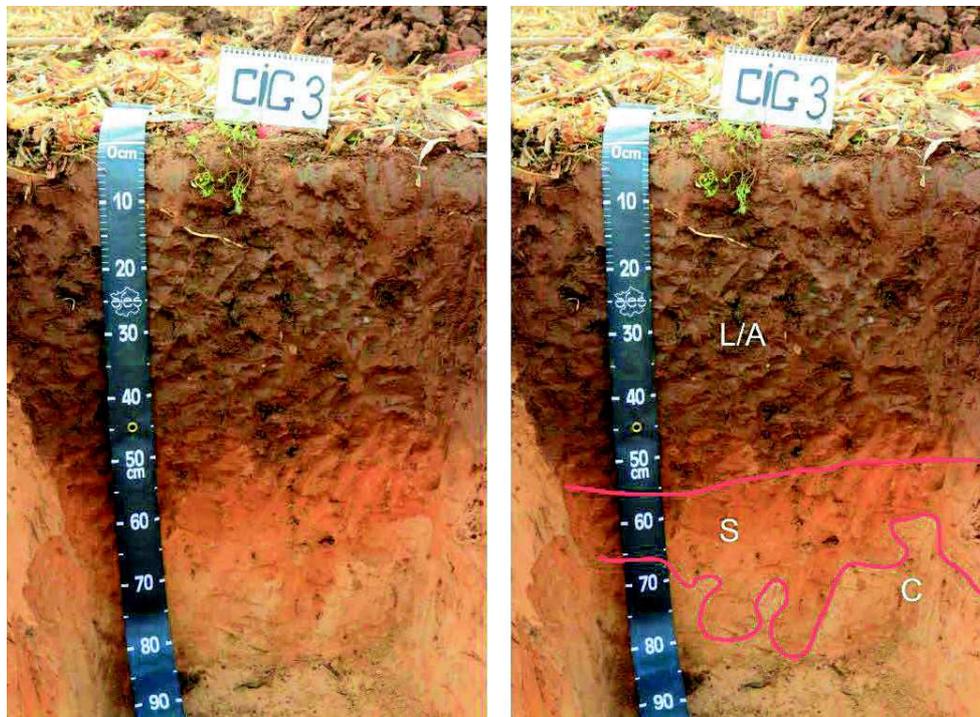


Figure 8.17 : Photos de la fosse CIG 03 avec délimitation des horizons ; Photos : D. Schwartz

Les descriptions de terrain ne révèlent pas de grandes disparités en termes d'organisation et de différenciation des horizons entre les trois fosses. A l'exception de l'horizon LA de CIG 03, aucune différence marquée ne vient rappeler l'existence passée d'un rideau et d'une haie entre CIG 01 et CIG 03. On ne reconnaît aucun horizon d'accumulation plus important à l'amont de CIG 02 et aucun affinement au niveau de CIG 03.

La question du processus de disparition du rideau et de sa datation est mal élucidée. Les rideaux ne sont observables que sur le LIDAR, pas sur les photos. Il est donc difficile de voir quand il a disparu, et l'agriculteur exploitant la parcelle n'a pu nous fournir ce renseignement. L'homogénéité des trois sols plaide toutefois en faveur d'un nivellement mécanique. Quant à la date, il pourrait s'agir de l'intervalle entre 1963 et 1973, années entre lesquelles on observe un regroupement de parcelles sur le secteur.

8.1.4 Les rideaux de culture associés à d'autres structures agraires : étude du site de Marmoutier.

Ce secteur marginal du Bas-Rhin, hors zone de loess, a été inclus dans l'étude car il est associé à d'autres structures agraires (champs bombés et murgers) qui permettent un calage

chronologique relatif des rideaux de culture. Les rideaux de culture y sont très nombreux, notamment sur la colline du Steinberg. Il est encore possible d'observer sur le terrain des champs bombés occupant les espaces situés entre des rideaux successifs. Il est donc clair que ces champs bombés sont sub-contemporains ou postérieurs aux rideaux de culture. Ces structures ont été étudiées dans la partie allemande de la plaine rhénane, dans le secteur de Rastatt par Hauger *et al.* (2001) et Sittler (2004). Nécessitant l'utilisation d'une charrue à versoir pour leur formation, les champs bombés sont donc obligatoirement plus récents que le X^{ème} siècle, date présumée de l'introduction de cette innovation technologique dans la région. Recoupés par un fossé bien daté de l'extrême fin du XV^{ème} siècle, ils sont donc plus anciens que cette date. C'est donc dans la tranche X-XV^{ème} siècles que se place la formation des structures étudiées à Rastatt. Faute d'études faites en Alsace, on retiendra ce calage chronologique pour estimer que les rideaux de culture sont à *minima* médiévaux. Ce calage est également conforté par la position occupée par les murs. Ces pierriers viennent s'appuyer sur les rideaux de culture (figure 8.18). Les rideaux de cultures sont donc plus vieux que les pierriers. Or, quelques murs ont été datés dans le Haut-Rhin à Osenbach et dans le Bas-Rhin à Dinsheim. Le calage chronologique est peu précis : entre les VII^{ème} et XV^{ème} siècles, et vraisemblablement entre les XII^{ème} et XV^{ème} siècles (Schwartz *et al.*, 2012). Malgré ces imprécisions, le calage nous donne là également un terminus médiéval pour la formation des rideaux. Ces données ont été complétées par une datation ¹⁴C du paléosol conservé sous un pierrier du Steinberg (voir *infra*).

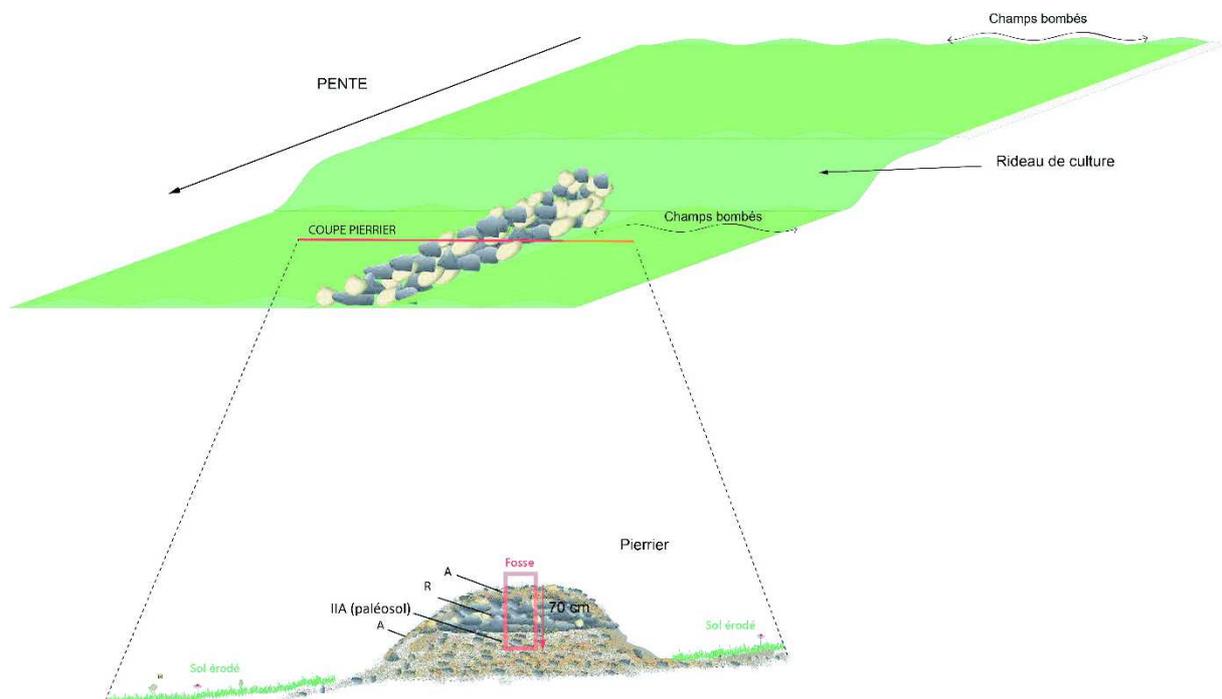


Figure 8.18 : Coupe du pierrier appuyé sur un rideau de culture à Marmoutier ; Source : Lucie Froehlicher

8.2 Caractérisation des sols : résultats des analyses de laboratoire

Les résultats des analyses sont présentés site par site. Quand le site d'étude est composé de plusieurs fosses, les résultats sont présentés dans un premier temps à l'échelle de la fosse puis comparés et interprétés dans leur globalité.

8.2.1 Caractérisation des sites de références : ZOO, la référence sous forêt

Résultats des mesures de pH eau de la fosse ZOO

Le pH mesuré pour la fosse de référence ZOO est acide de la surface jusqu'à 90 cm avec des valeurs qui oscillent entre 4,5 et 5,5. Ces valeurs sont normales dans des luvisols pour l'horizon BT (Duchaufour, 1977). En surface, ils sont plus bas que ce qui est observé en général. Mais l'explication en est simple : ce sol est un sol forestier, non amendé contrairement à la très grande majorité des luvisols, utilisés à des fins agricoles. Vers 90-95 cm, à la base du BT, on a un pH neutre avant de basculer vers des pH très élevés dans le loëss (figure 8.19).

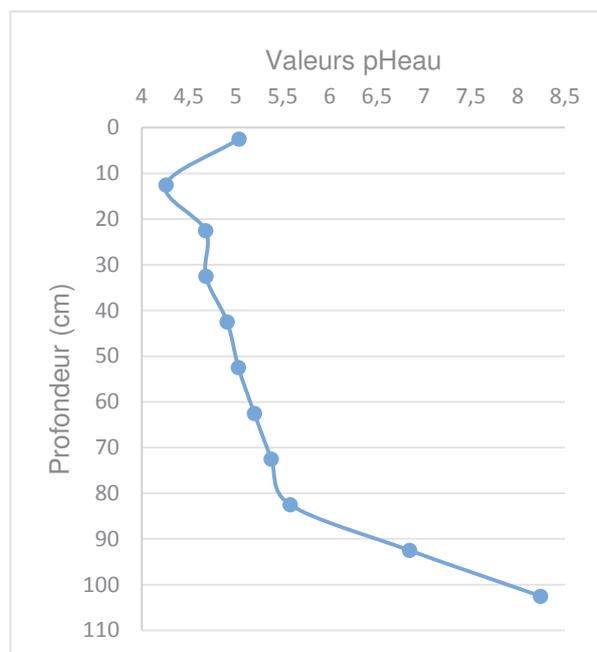


Figure 8.19 : Evolution du pHeau du profil ZOO (Habsheim) ; Source : Lucie Froehlicher

Résultats de l'analyse granulométrique de la fosse ZOO

L'analyse granulométrique du profil ZOO montre une répartition des argiles, limons, sables assez typiques des loëss. On a une dominance des limons dont l'ordre de grandeur varie ici de 70 à 78 %, tandis que les teneurs en argiles sont comprises entre 11,9 et 19,8 % et celles des sables entre 8,3 et 16 % (figure 8.20). Dans le détail, la répartition granulométrique est conforme à celle que l'on pouvait attendre d'un luvisol : minimum d'argile en A, maximum dans le BT. Teneur maximale en sables en A, minimale dans le loëss. La teneur en limons est

maximale (78 %, valeur classique) dans le loëss et diminue dans les autres horizons en raison de la dissolution préférentielle de cette fraction riche en carbonates.

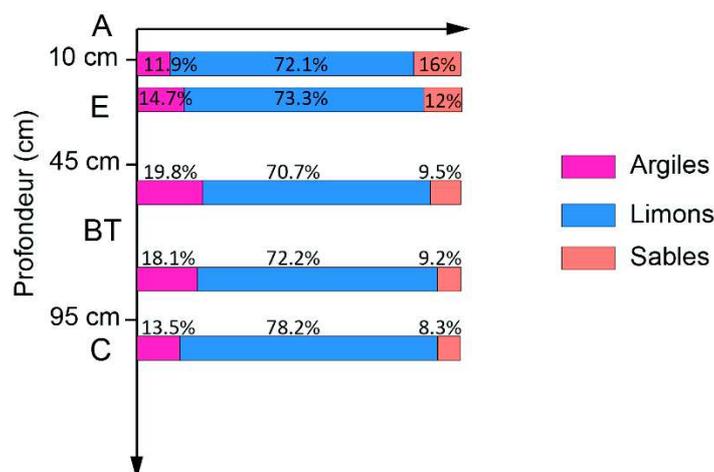


Figure 8.20 : Résultats de l'analyse granulométrique du profil ZOO ; Source : Lucie Froehlicher

Résultats de la mesure du carbone organique et de la matière organique de la fosse ZOO

Les mesures des teneurs en carbone organique (C_{org}) ont été réalisées systématiquement tous les 10 cm sur l'ensemble du profil par la méthode Walkley et Black (1934). Les résultats de ces mesures (tableau 8.1) montrent une évolution décroissante avec la profondeur, les teneurs passant de 0,89 % de C_{org} en surface à 0,15 % dans le loëss. Compte-tenu du fait que le sol est forestier, la teneur en C_{org} des horizons de surface est faible, même pour un sol limoneux. En parallèle, on a calculé les teneurs en matière organique (MO) en appliquant la formule :

$$MO (\%) = 1,72 * C_{org}(\%)$$

Tableau 8.1 : Teneurs en carbone organique et matière organique du profil de référence ZOO

Nom échantillon	Profondeur	C_{org} (%)	MO (%)
ZOO 101	0-5	0,89	1,54
ZOO 102	10-20	0,27	0,46
ZOO 103	20-25	0,33	0,58
ZOO 104	30-35	0,15	0,26
ZOO 105	40-45	0,13	0,22
ZOO 106	50-55	0,10	0,17
ZOO 107	60-65	0,09	0,16
ZOO 108	70-75	0,10	0,17
ZOO 109	80-85	0,11	0,20
ZOO 110	90-95	0,15	0,26
ZOO 111	100-105	0,10	0,17

8.2.2 Caractérisation des sites de référence : HABSREF, la référence sous prairie

Résultats des mesures de pH eau de la fosse HABSREF

Pour le profil HABSREF, la référence sous prairie, les valeurs du pH sont comprises entre 7,5 et 8,5 (figure 8.21). Ces valeurs sont typiques des sols carbonatés. L'horizon de surface a un pH proche de la neutralité, mais dès 20 cm de profondeur, les valeurs sont comprises entre 8 et 8,5.

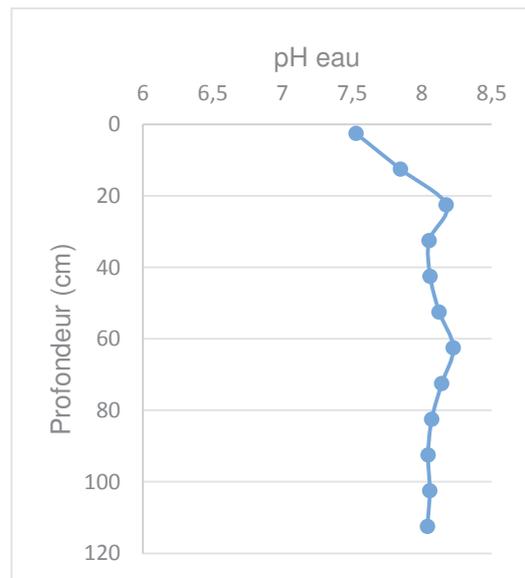


Figure 8.21 : Evolution du pH eau en fonction de la profondeur pour le profil HABSREF sous prairie ; Source : Lucie Froehlicher

Résultats de l'analyse granulométrique de la fosse HABSREF

L'analyse granulométrique du profil HABSREF, qui nous le rappelons ici est un sol colluvial, montre une distribution en limons et sables bien différente de celle de ZOO. Précédemment, nous avons des valeurs comprises respectivement entre 70,7 et 78,2 % pour les limons et entre 8,3 et 16 % pour les sables. Ici, ces teneurs varient entre 49,3 et 58,3 % pour les limons et entre 24,9 et 34,7 % pour les sables. Pour les argiles, les teneurs sont stables et se situent autour de 16 % sur l'ensemble du profil (figure 8.22). Davantage qu'un tri lors du transfert par colluvionnement, ces proportions expriment sans doute une contamination en matériaux provenant du substratum géologique présent sous le loess, à savoir un grès carbonaté micacé du Chattien, sub-affleurant en sommet de parcelle.

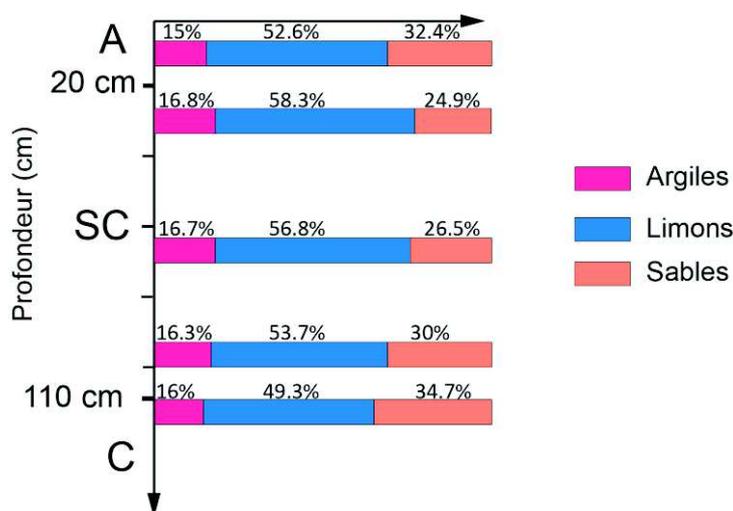


Figure 8.22 : Résultats de l'analyse granulométrique du profil HABSREF ; Source : Lucie Froehlicher

Résultats de la mesure du carbone organique et de la matière organique de la fosse HABSREF

Les teneurs en C_{org} mesurées pour le profil HABSREF présente une évolution décroissante avec la profondeur allant de 1,13 % en surface à 0,15 % à 1 m de profondeur. La décroissance n'est pas régulière mais par paliers : les teneurs sont relativement constantes (0,22 %) entre 30 et 65 cm, puis entre 70 et 105 cm (0,15 %). Une telle distribution pourrait caractériser des niveaux successifs de mise en place des colluvions. Tout au fond de la fosse, à 110 cm, on note une légère augmentation correspondant à l'horizon A d'un paléosol enfoui sous les colluvions (tableau 8.2).

Tableau 8.2 : Résultats des mesures de C_{org} et de MO pour le profil HABSREF ; Source : Lucie Froehlicher

Nom échantillon	Profondeur	C_{org} (%)	MO (%)
HABSREF 101	0-5	1,13	1,94
HABSREF 102	10-15	0,62	1,08
HABSREF 103	20-25	0,35	0,60
HABSREF 104	30-35	0,22	0,38
HABSREF 105	40-45	0,22	0,37
HABSREF 106	50-55	0,23	0,39
HABSREF 107	60-65	0,21	0,36
HABSREF 108	70-75	0,16	0,27
HABSREF 109	80-85	0,15	0,26
HABSREF 110	90-95	0,14	0,24
HABSREF 111	100-105	0,15	0,26
HABSREF 112	110-115	0,22	0,38

8.2.3 Caractérisation des sols de haies : la toposéquence « HABS »

Résultats des mesures de pH eau de la toposéquence HABS

Les pH mesurés sur l'ensemble des profils de la toposéquence sont tous supérieurs à 7,7 (figure 8.23). Pour les horizons de surface, ils sont compris entre 7,7 et 8,1. Dans les horizons C loessiques, à la base des profils, ils varient entre 8,2 et 8,8. L'ensemble des valeurs est relativement normale pour des sols carbonatés, mais il y a tout de même des anomalies. Ainsi, par exemple, l'horizon BT du profil HABS 06 a des valeurs comprises entre 7,8 et 8,2. Même si elles correspondent aux valeurs minimales de ce profil, ces valeurs sont tout à fait anormales dans des BT de luvisols. Rappelons que dans les luvisols fonctionnels, elles sont proches de 5 (cf. référence ZOO). Des valeurs aussi élevées ne peuvent s'expliquer que par une recarbonatation secondaire par dissolution et entraînement de carbonates contenus dans les colluvions qui surmontent le BT. Notons que de façon tout à fait normale au vu du type d'horizon, mais étrange au vu du pH mesuré, les horizons BT ne font pas effervescence à HCl sur le terrain.

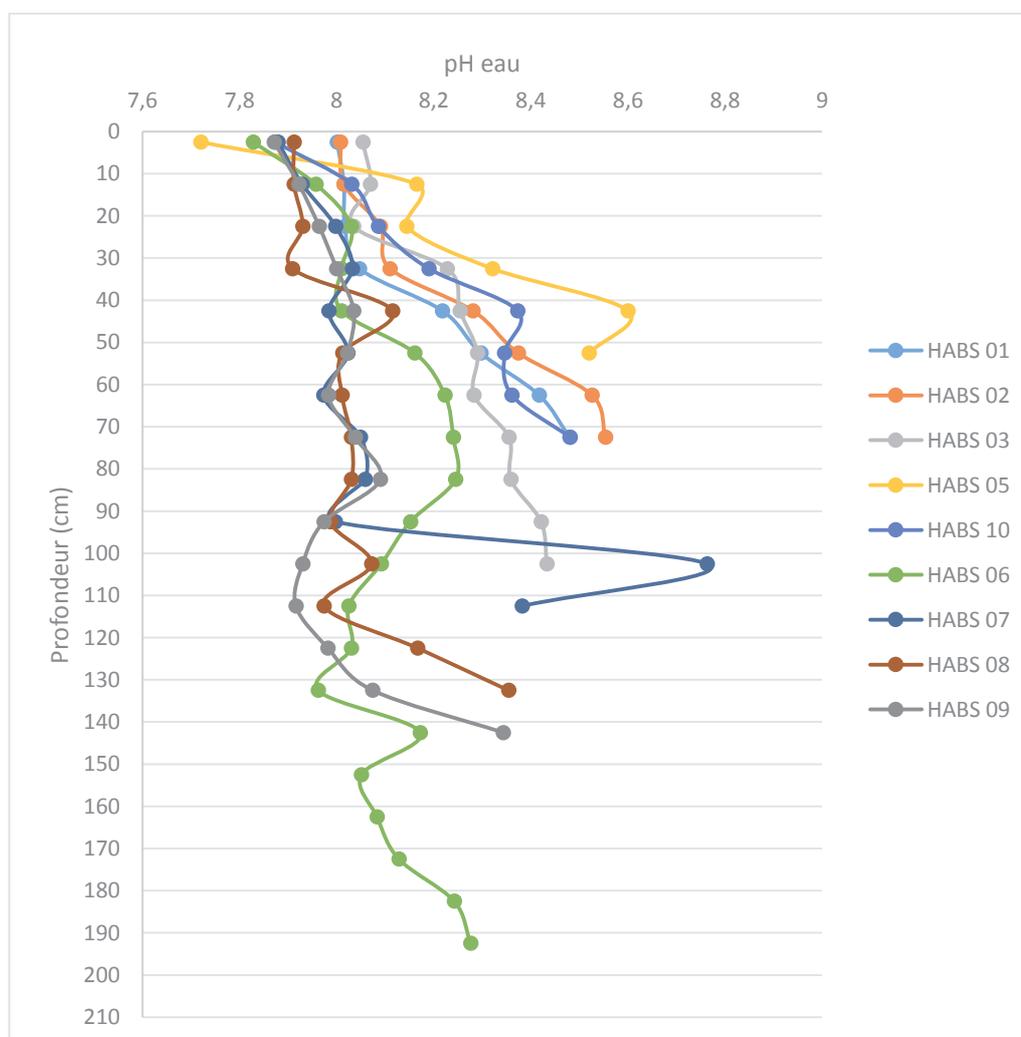


Figure 8.23 : Résultats des mesures de pH pour la toposéquence HABS ; Source : Lucie Froehlicher

Résultats de l'analyse granulométrique de la toposéquence HABS

La figure 8.24 présente l'évolution de la granulométrie pour chaque profil en fonction de la profondeur et par rapport à sa position sur le transect. Elle ne révèle à première vue rien de très surprenant. La granulométrie est relativement stable au sein d'un même profil et entre les profils (entre 15 et 20 % d'argiles, 70 % de limons en moyenne, et entre 10 et 15 % en moyenne de sables sauf exception). Dans le détail, des variations fines apparaissent. Ainsi, les horizons BT (profils HABS 06, HABS 07 et HANS 08) montrent des teneurs de l'ordre de 20 %, contre des teneurs de l'ordre de 15 % pour les colluvions qui les surmontent.

Nous avons par ailleurs tenté de mettre en évidence par différents traitements des différences fines, qui pourraient éventuellement permettre d'identifier différents niveaux de colluvions au sein des profils. Un premier traitement (figure 8.25) a consisté à représenter un diagramme des fréquences cumulées des teneurs en sables. Deux pics sortent clairement, l'un aux alentours de 10 % et l'autre vers 20 %. Lorsque l'on reporte ces données sur les profils granulométriques de la toposéquence (figure 8.26), en classant arbitrairement les teneurs en sables en trois classes (proche de 0, proche de 10, proche de 20 %), on note que les horizons les plus riches en sables sont systématiquement les horizons supérieurs de quasiment tous les profils. Ceci pourrait témoigner d'un entraînement préférentiel des fines par l'érosion jusque dans les cours d'eau.

Un autre traitement à consister à analyser le rapport entre limons grossiers et limons fins (figure 8.27). La moyenne du rapport LF/LG est de 0,84. Même si 48 % des valeurs sont comprises dans une borne de $\pm 0,05$ autour de la moyenne, on note d'assez fortes disparités d'un horizon à l'autre, au sein d'un même profil. Dans la mesure où elles sont réparties de façon relativement aléatoire, ces disparités reflètent sans doute des phases de colluvionnement différentes.

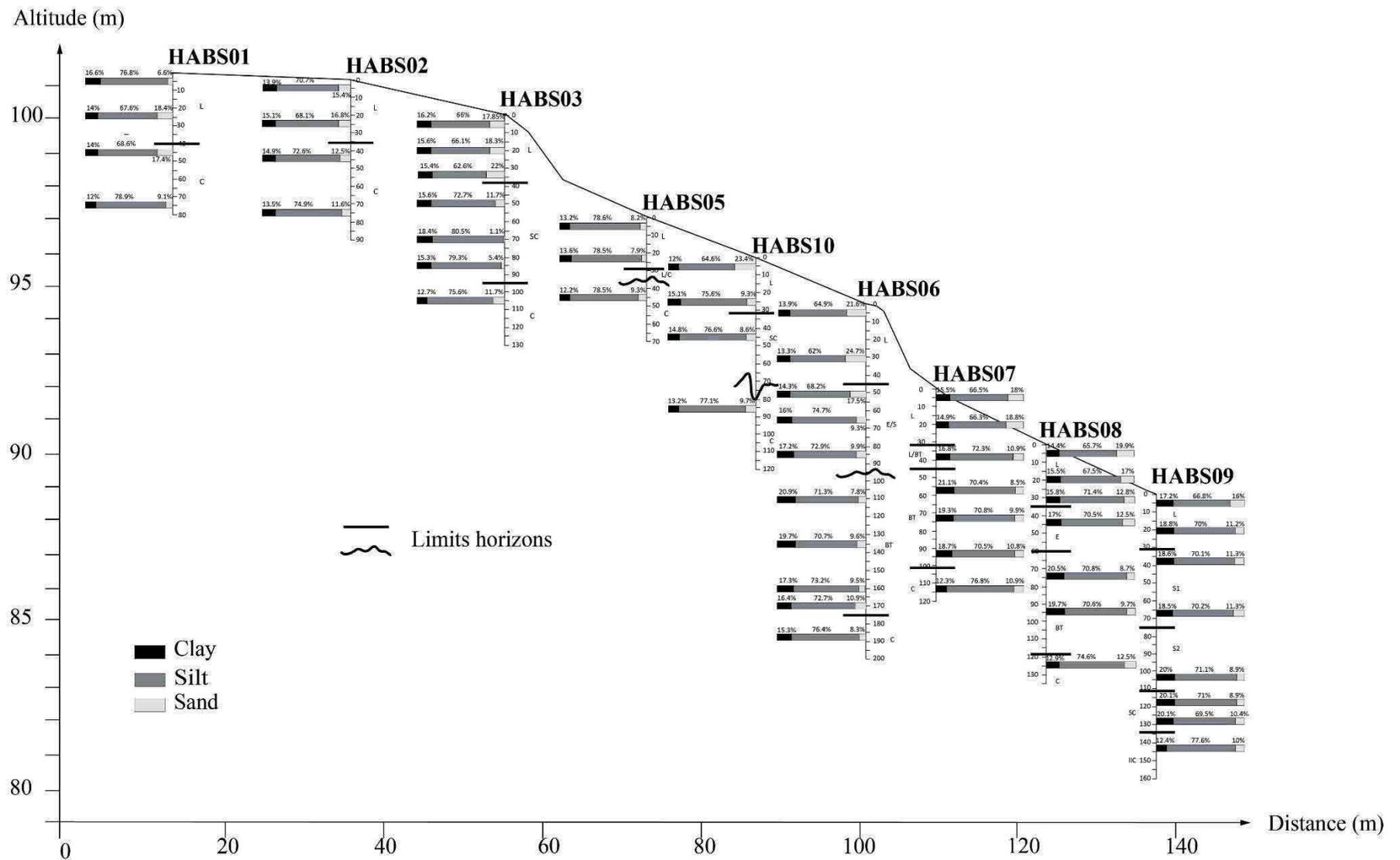


Figure 8.24 : Evolution des profils granulométriques sur la toposéquence HABS ; Source : Froehlicher et al., 2016

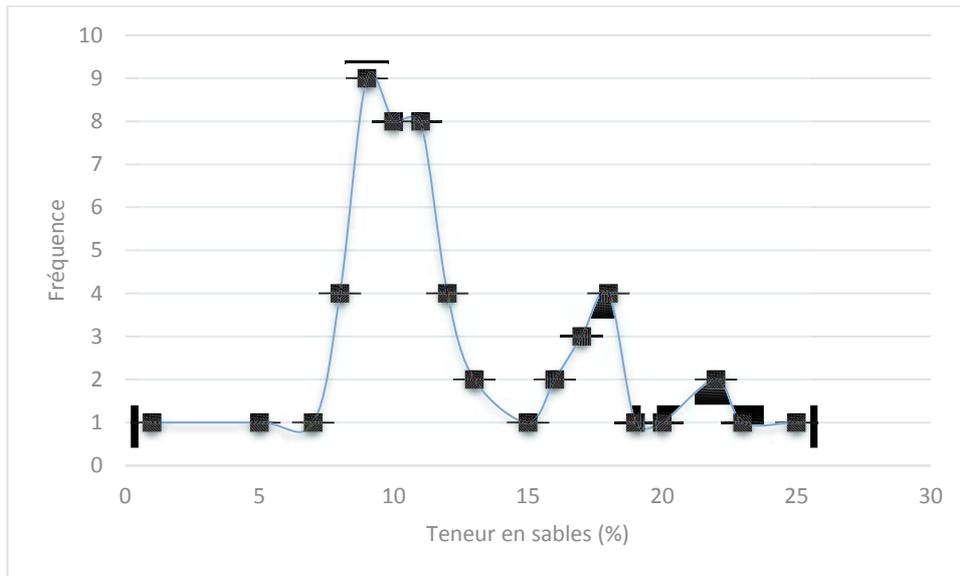


Figure 8.25 : Graphique du cumule des fréquences d'apparition des différentes teneurs en sables ; Source : Lucie Froehlicher

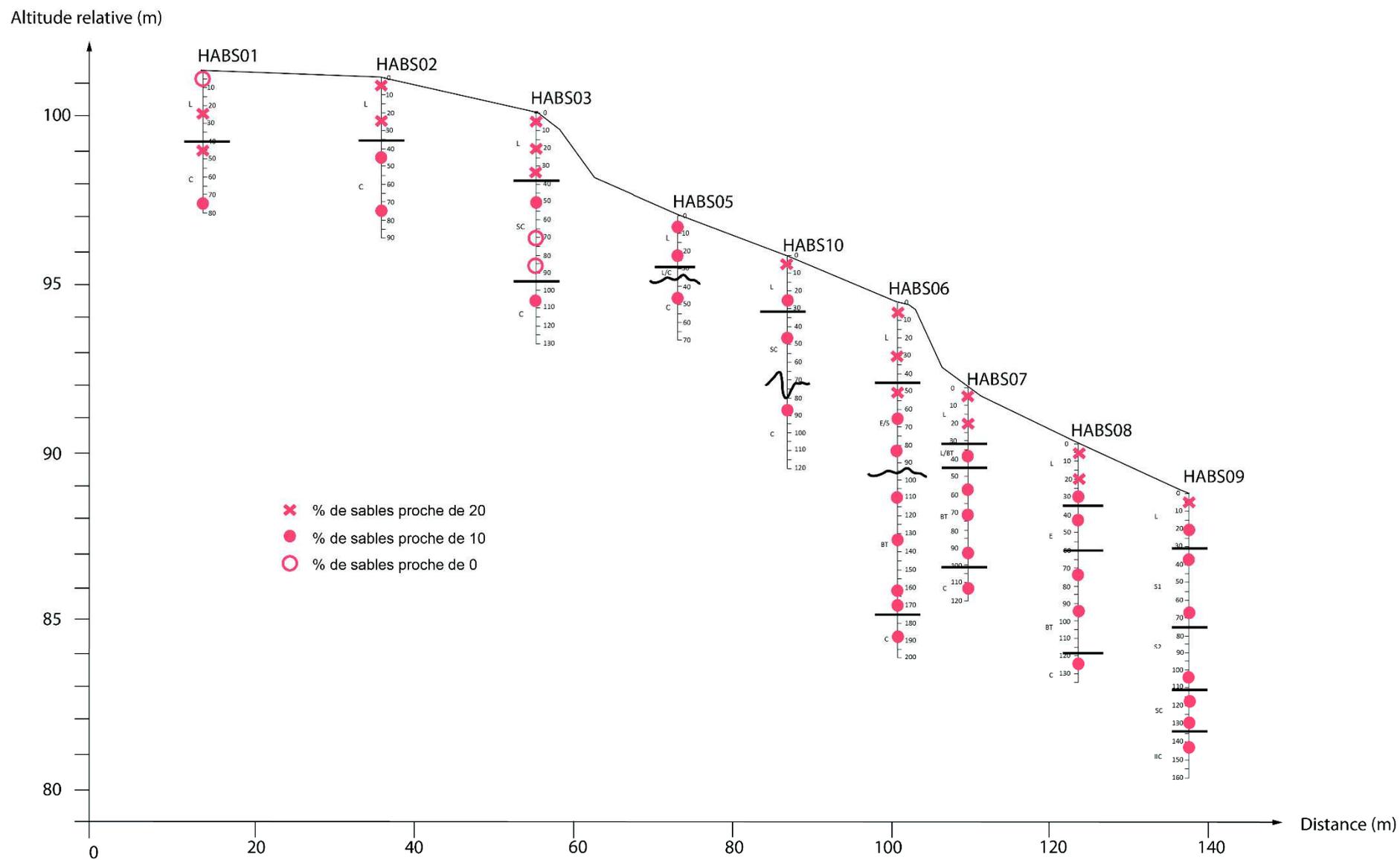


Figure 8.26 : Etude de la répartition des sables pour chaque profil du site d'Habsheim ; Figure : Lucie Froehlicher

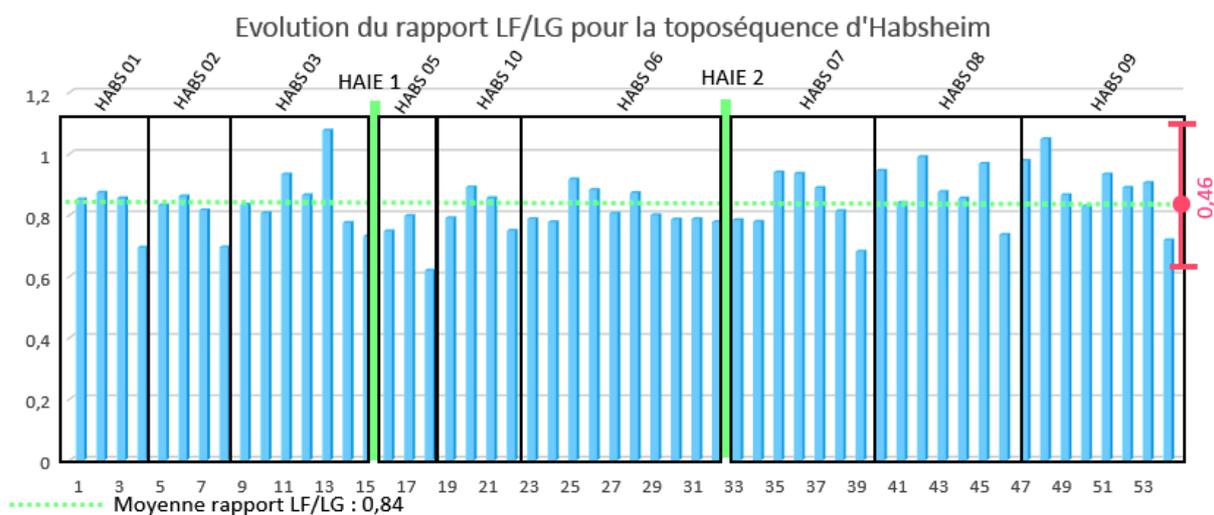


Figure 8.27 : Evolution du rapport LF/LG pour la toposéquence d'Habsheim ; Source : Lucie Froehlicher

Résultats des mesures du carbone organique et de la matière organique du profil HABS

La mesure des teneurs en Corg, révèle des disparités inter et intra profils (tableaux 8.3 ; 8.4 et 8.5). Pour faciliter l'interprétation de ces résultats, les avons présentés par tronçon de toposéquence.

Sur le tronçon amont (tableau 8.3), l'évolution des trois profils est relativement semblable. Les teneurs de l'horizon L varient entre 0,81 et 1,18 % en surface. On notera une décroissance importante au sein même des horizons de labour, preuve que ceux-ci sont moins homogènes que ce que l'on pouvait penser *a priori*. Dans les horizons de loëss C, les teneurs descendent sous les 0,2 %. Malgré leur teinte grise, les colluvions (horizon SC de HABS 03) ne présentent pas des teneurs très élevées en matière organique. Les niveaux inférieurs, entre 60 et 95 cm de profondeur montrent des teneurs pratiquement analogues à celles des horizons de loëss.

Tableau 8.3 : Résultats des mesures des teneurs en carbone organique et des teneurs en matière organique pour le tronçon amont; Source : Lucie Froehlicher

Nom échantillon	Profondeur (cm)	Nom horizon	C _{org} (%)	MO (%)
HABS 01 _101	0-5	L	1.18	2.03
HABS 01 _102	10-15		0.94	1.63
HABS 01 _103	20-25		0.84	1.45
HABS 01 _104	30-35		0.84	1.45
HABS 01 _105	40-45	C1	0.48	0.82
HABS 01 _106	50-55		0.28	0.48
HABS 01 _107	60-65	C2	0.18	0.32
HABS 01 _108	70-75		0.12	0.20
HABS 02 _101	0-5	L	0.82	1.41
HABS 02 _102	10-15		0.68	1.18
HABS 02 _103	20-25		0.57	0.98
HABS 02 _104	30-35		0.52	0.90
HABS 02 _105	40-45	C1	0.30	0.51
HABS 02 _106	50-55		0.20	0.34
HABS 02 _107	60-65	C2	0.14	0.24
HABS 02 _108	70-75		0.20	0.35
HABS 03 _101	0-5	L1	0.81	1.39
HABS 03 _102	10-15		0.78	1.34
HABS 03 _103	20-25		0.72	1.25
HABS 03 _104	30-35	L2	0.61	1.05
HABS 03 _105	40-45	SC	0.43	0.73
HABS 03 _106	50-55		0.36	0.62
HABS 03 _107	60-65		0.18	0.30
HABS 03 _108	70-75		0.24	0.41
HABS 03 _109	80-85		0.20	0.35
HABS 03 _110	90-95		0.22	0.37
HABS 03 _111	100-105	C	0.17	0.29

Pour le tronçon médian (profils HABS 05, HABS 10 et HABS 06), les résultats des mesures de teneurs en C_{org} et en MO, sont présentés dans le tableau 8.4. Dans les sols HABS 05 et HABS 10, les évolutions sont comparables à celles des profils HABS 01 et 02 du tronçon amont. Les teneurs en C_{org} de l'horizon de labour sont toutefois un peu plus élevées (1.35 %) pour HABS 05. Pour la fosse HABS 06 le comportement de l'évolution des teneurs est plus complexe, sauf pour les horizons L et S qui sont comparables aux horizons du même type des autres fosses. Ce sont les valeurs mesurées dans le BT qui diffèrent. Elles sont d'une part plus élevées que dans les colluvions qui les surmontent, et semblent plus variables dans le BT colluvionné (de 0,18 à 0,48 % entre 100 et 140 cm de profondeur) que dans le BT en place (de 0,30 à 0,38 % entre 140 et 175 cm de profondeur. La teneur dans l'horizon C de loess est particulièrement faible : 0,07 %. Ceci s'explique très vraisemblablement par la profondeur (190 cm), qui exclut presque totalement les apports racinaires contrairement aux profils plus superficiels.

Tableau 8.4 : Résultats des mesures des teneurs en carbone organique et des teneurs en matière organique pour le tronçon 2 ; Source : Lucie Froehlicher

Nom échantillon	Profondeur	Nom horizon	% C _{org}	% M.O
HABS 05 _101	0-5	L	1.35	2.32
HABS 05 _102	10-15		0.83	1.44
HABS 05 _103	20-25		0.67	1.16
HABS 05 _104	30-35	L/C	0.43	0.74
HABS 05 _105	40-45	C	0.11	0.19
HABS 05 _106	50-55		0.11	0.19
HABS 10 _101	0-5	L	1.16	1.99
HABS 10 _102	10-15		0.93	1.61
HABS 10 _103	20-25		0.72	1.24
HABS 10 _104	30-35	SC	0.39	0.67
HABS 10 _105	40-45		0.18	0.30
HABS 10 _106	50-55		0.13	0.23
HABS 10 _107	60-65		0.13	0.22
HABS 10 _108	70-75	C	0.10	0.17
HABS 06 _101	0-5	L	1.48	2.55
HABS 06 _102	10-15		1.28	2.20
HABS 06 _103	20-25		1.06	1.83
HABS 06 _104	30-35		0.93	1.60
HABS 06 _105	40-45		0.94	1.63
HABS 06 _106	50-55	S	0.47	0.81
HABS 06 _107	60-65		0.17	0.30
HABS 06 _108	70-75		0.29	0.50
HABS 06 _109	80-85		0.16	0.27
HABS 06 _110	90-95		0.23	0.39
HABS 06 _111	100-105	BT	0.48	0.83
HABS 06 _112	110-115		0.41	0.72
HABS 06 _113	120-125		0.34	0.58
HABS 06 _114	130-135		0.18	0.30
HABS 06 _115	140-145		0.30	0.51
HABS 06 _116	150-155		0.38	0.65
HABS 06 _117	160-165		0.37	0.64
HABS 06 _118	170-175		0.31	0.53
HABS 06 _119	180-185	C	0.10	0.17
HABS 06 _120	190-195		0.07	0.13

Le tronçon aval (profils HABS 07, HABS 08 et HABS 09) présente des sols dont les évolutions sont relativement comparables à celle des autres sols. On notera toutefois les teneurs relativement faibles des horizons de labour des profils HABS 07 et HABS 09 (environ 0,65 % au maximum pour la tranche 0-5 cm). Ces teneurs résultent sans doute d'une politique d'amendement organique différente de la part de l'exploitant. Il n'a pas été possible de répondre à cette question, aucun des agriculteurs n'ayant accepté de nous

Tableau 8.5 : Résultats des mesures des teneurs en carbone organique et des teneurs en matière organique pour le tronçon 3 ; Source : Lucie Froehlicher

Nom échantillon	Profondeur	Nom horizon	% C _{org}	% M.O
HABS 07 _101	0-5	L	0.64	1.10
HABS 07 _102	10-15		0.46	0.80
HABS 07 _103	20-25		0.53	0.91
HABS 07 _104	30-35	L/BT	0.40	0.70
HABS 07 _105	40-45		0.14	0.23
HABS 07 _106	50-55	BT	0.12	0.21
HABS 07 _107	60-65		0.43	0.74
HABS 07 _108	70-75		0.23	0.39
HABS 07 _109	80-85		0.27	0.46
HABS 07 _110	90-95		0.23	0.40
HABS 07 _111	100-105		0.22	0.38
HABS 07 _112	110-115	C	0.11	0.20
HABS 08 _101	0-5	L	1.06	1.82
HABS 08 _102	10-15		0.94	1.61
HABS 08 _103	20-25		0.73	1.25
HABS 08 _104	30-35		0.67	1.15
HABS 08 _105	40-45	S	0.43	0.73
HABS 08 _106	50-55		0.36	0.63
HABS 08 _107	60-65		0.36	0.62
HABS 08 _108	70-75		0.22	0.37
HABS 08 _109	80-85	BT	0.24	0.42
HABS 08 _110	90-95		0.28	0.49
HABS 08 _111	100-105		0.19	0.33
HABS 08 _112	110-115		0.20	0.35
HABS 08 _113	120-125	C	0.14	0.23
HABS 08 _114	130-135		0.08	0.14
HABS 09 _101	0-5	L	0.67	1.15
HABS 09 _102	10-15		0.69	1.20
HABS 09 _103	20-25		0.56	0.96
HABS 09 _104	30-35	S1	0.33	0.57
HABS 09 _105	40-45		0.23	0.40
HABS 09 _106	50-55		0.32	0.55
HABS 09 _107	60-65		0.24	0.42
HABS 09 _108	70-75		0.16	0.28
HABS 09 _109	80-85	S2	0.17	0.29
HABS 09 _110	90-95		0.16	0.27
HABS 09 _111	100-105		0.33	0.57
HABS 09 _112	110-115	SC	0.17	0.29
HABS 09 _113	120-125		0.19	0.32
HABS 09 _114	130-135		0.20	0.35
HABS 09 _115	140-145	C	0.09	0.16

Le bilan que l'on peut faire des évolutions des teneurs en C_{org} et en MO pour la toposéquence HABS, est que de manière systématique, les teneurs décroissent de l'horizon de labour où

l'on mesure toujours les teneurs les plus fortes, vers le loëss pur où l'on mesure toujours les teneurs les plus faibles. Ces teneurs évoluent dans une fourchette haute de teneurs de l'horizon de labour comprises entre 1.06 % et 0.64 % de C_{org} et une fourchette basse dans le loëss comprise entre 0.11 % et 0.07 % de C_{org} . Dans les sols tronqués à profil A/C, et dans les sols colluviaux, la décroissance est relativement régulière. Dans les profils à horizon BT, la dynamique est plus complexe. On mesure des ruptures systématiques dans l'horizon BT, se caractérisant par une augmentation souvent brutale des teneurs en C_{org} , parfois plus du double de la teneur mesurée juste au-dessus. En associant ces résultats avec les caractéristiques granulométriques de ces profils, on note très clairement un lien entre le pourcentage en argile et les teneurs en C_{org} : celles-ci augmentent quand la teneur en argile augmente, ce qui paraît logique. La capacité de stocker et à préserver le C_{org} dans les sols et cela même dans les horizons profonds est donc largement corrélée avec le pourcentage d'argile des horizons. Dans les colluvions limoneuses, elle paraît relativement réduite.

8.2.4 Caractérisation des sols de haies : la toposéquence « UFF »

Résultats des mesures de pH eau de la toposéquence UFF

Les pH des sols de la toposéquence d'Uffheim sont relativement stables sur l'ensemble des profils, avec des valeurs typique des sols carbonatés (figure 8.28). L'ensemble des valeurs sont comprises entre 7.9 et 8.6. Sur le profil UFF 03, le plus épais, on note une petite différence entre les deux niveaux colluviaux SC1 (34 à 72 cm), dont les valeurs sont les mêmes que celles de l'horizon de labour, et SC2 (72 à 105 cm), légèrement plus basses.

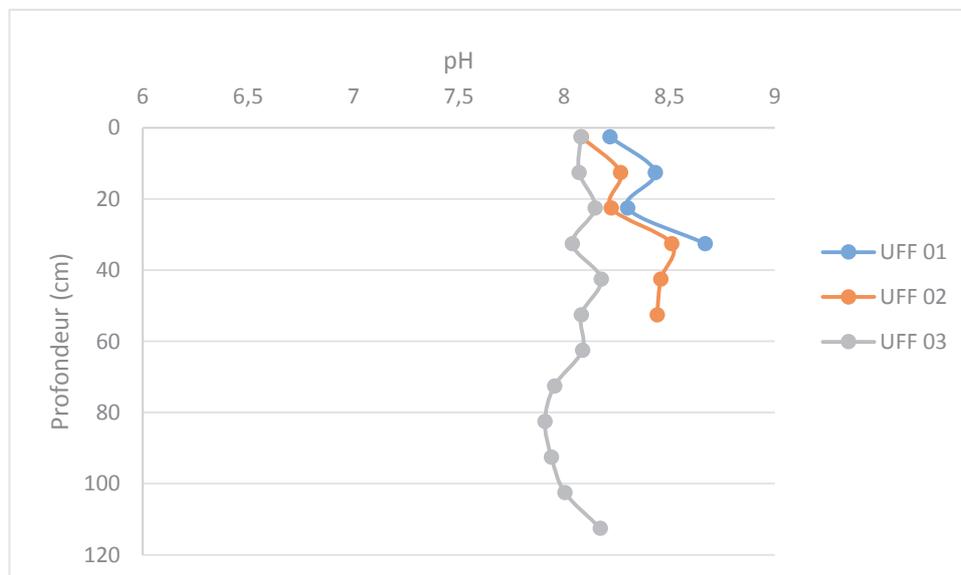


Figure 8.28 : Evolution des valeurs du pH eau pour la toposéquence d'Uffheim ; Source : Lucie Froehlicher

Résultats de l'analyse granulométrique de la toposéquence UFF

L'analyse granulométrique des profils de la toposéquences d'Uffheim donne des résultats assez conventionnels pour des sols développés dans un matériel loessique (figure 8.29). La répartition des pourcentages en argiles, limons et sables montrent une forte dominance des limons avec des pourcentages allant de 75.6 à 80.3 %. Vient ensuite l'argile dont les pourcentages établis vont de 13.9 % et 20.2 %, ce qui correspond en comparaison à la toposéquence « HABS » à des pourcentages assez importants, susceptibles de favoriser le stockage de C_{org} . Les pourcentages de sable sont faibles, avec des valeurs allant de 1.7 % à 8.5 %, bien plus basses qu'à Habsheim (10-20 %). Une autre différence notable avec la toposéquence HABS est l'évolution des teneurs en sables intra-profil. Pour UFF 02 et UFF 03, on note une augmentation progressive du pourcentage de sables avec la profondeur, la valeur de l'horizon de surface étant particulièrement faible. Les teneurs en argiles, sont quant à elles stables et présentent une légère diminution avec la profondeur, sauf pour UFF 03, qui présente des évolutions plus complexes. Les teneurs en limons restent très stables au sein des profils UFF 01 et UFF 02, aux alentours de 78-80 %. Pour UFF 03, on enregistre une perte de 5 % de limons entre l'horizon SC1 et l'horizon SC2, en lien avec l'augmentation des teneurs en sables essentiellement.

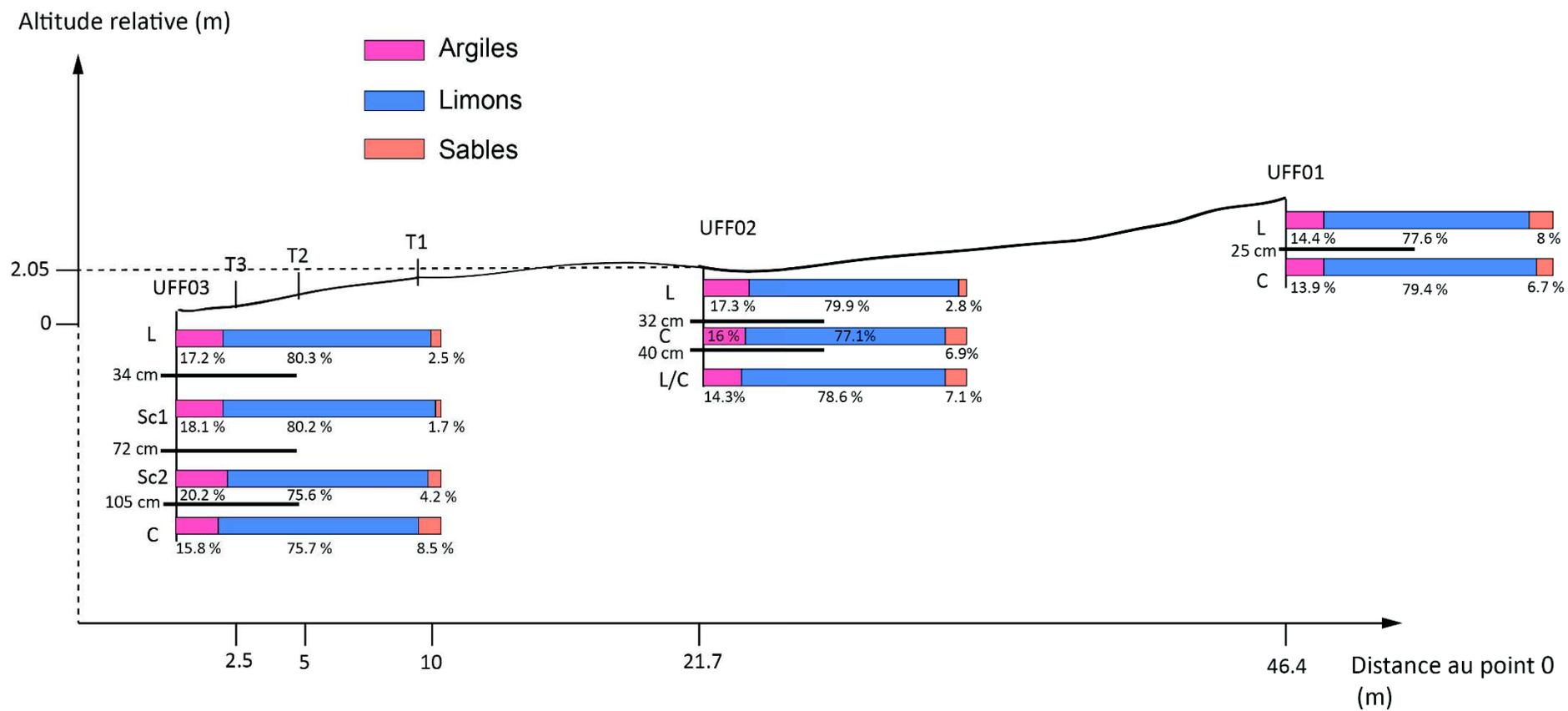


Figure 8.29 : Résultats de l'analyse granulométrique de la toposéquence d'Uffheim ; Source : Lucie Froehlicher

Résultats des mesures de carbone organique et de la matière organique pour la toposéquence d'Uffheim

Les résultats des mesures de Corg pour les profils de la toposéquence UFF sont comparables aux profils équivalents de la toposéquence HABS. Ainsi, les valeurs relevées pour les sols UFF 01 et UFF 02, à profil simple A/C, sont comparables aux sols HABS 01 et HABS 02. Pour le profil UFF 03 l'évolution des teneurs va de pair avec la succession des horizons, ici plus complexe. Ainsi, on enregistre deux ruptures caractérisées par une augmentation des teneurs dans les horizons SC1 et SC2 (tableau 8.6). En mettant ces augmentations des teneurs en relation avec les résultats granulométrique, on voit très nettement que ces augmentations de teneurs sont en parallèle associées à une augmentation des teneurs en argiles (18 % dans SC1 et 20.2 % dans SC2).

Tableau 8.6 : Résultats des mesures de Corg et de MO pour la toposéquence d'Uffheim ; Source : Lucie Froehlicher

Nom échantillon	Profondeur	Horizon	% Corg	% M.O
UFF01_101	0-5	L	0,95	1,64
UFF01_102	10-15		0,56	0,97
UFF01_103	20-25		0,60	1,04
UFF01_104	30-35	C	0,27	0,46
UFF02_101	0-5	L	1,03	1,77
UFF02_102	10-15		0,71	1,22
UFF02_103	20-25		0,54	0,93
UFF02_104	30-35	L/C	0,32	0,54
UFF02_105	40-45	C	0,15	0,25
UFF02_106	50-55		0,13	0,23
UFF03_101	0-5	L	1,12	1,94
UFF03_102	10-15		0,81	1,40
UFF03_103	20-25		0,64	1,10
UFF03_104	30-35		0,59	1,02
UFF03_105	40-45	SC1	0,24	0,41
UFF03_106	50-55		0,40	0,70
UFF03_107	60-65		0,17	0,29
UFF03_108	70-75	SC2	0,27	0,46
UFF03_109	80-85		0,15	0,26
UFF03_110	90-95		0,12	0,20
UFF03_111	100-105		0,12	0,21
UFF03_112	110-115	C	0,04	0,07

8.2.5 Caractérisation des sols de haies effacés : la toposéquence « CIG »

Résultats des mesures de pH eau de la toposéquence CIG

Les pH des trois sols sont très homogènes d'un profil à l'autre, les valeurs se superposant presque à profondeur équivalente. Tout comme pour la toposéquence HABS, on note une légère augmentation du pH avec la profondeur (figure 8.30).

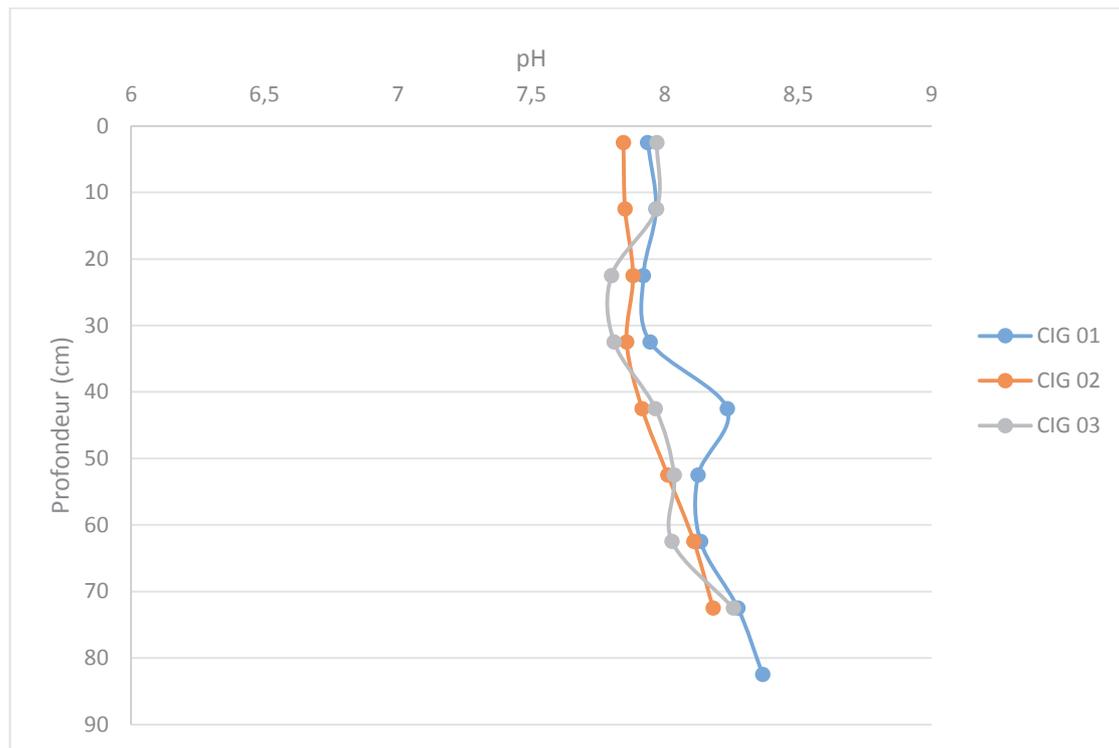


Figure 8.30 : Résultat des mesures de pH pour la toposéquence CIG ; Source : Lucie Froehlicher

Résultats de l'analyse granulométrique de la toposéquence CIG

L'analyse granulométrique de la toposéquence CIG montre une répartition des pourcentages en argiles, limons et sables comparable à celles de HABS et UFF, typique des sols loessiques (figure 8.31). Pour les trois profils, la fraction la plus représentée est celle des limons avec des pourcentages compris entre 67.6 % et 78.9 %. La fraction argileuse présente quant à elle des valeurs comprises entre 12 % et 18.7 %. Enfin, la fraction sableuse a les pourcentages les plus faibles compris entre 3 % et 17.2 %. Lorsqu'on regarde les évolutions générales de ces pourcentages sur l'ensemble de la toposéquence, on remarque que pour les trois profils les pourcentages d'argiles les plus forts sont dans les horizons supérieurs.

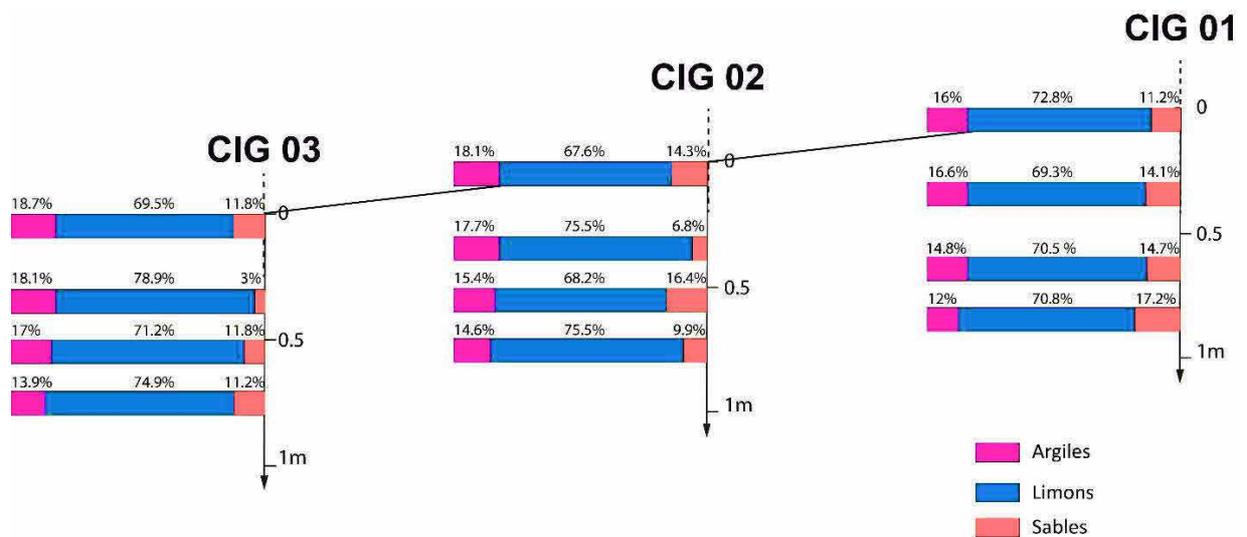


Figure 8.31 : Résultats granulométriques pour la toposéquence CIG ; Source : Lucie Froehlicher

Résultats des mesures de carbone organique et de matière organique pour la toposéquence CIG

Les résultats de mesures des teneurs en C_{org} pour la toposéquence CIG, présentés dans le tableau 8.7, montrent une décroissance générale des teneurs de l'horizon de labour vers l'horizon lœssique à l'exception de deux teneurs pour CIG 02 et CIG 03. La valeur maximale mesurée est de 1 % de C_{org} et la plus basse de 0.08 % de C_{org} (lœss de CIG 1). Curieusement, la valeur la plus haute ne correspond pas à une valeur de surface, mais au niveau 30-35 cm de CIG 03. Un cas de figure un peu analogue se produit dans CIG 02, avec une valeur de 0,62 % entre 40 et 45 cm de profondeur, presque identique à celles de l'horizon de labour. Cette distribution relativement hétérogène pourrait être une conséquence d'un nivellement mécanique du rideau de culture.

Tableau 8.7 : Résultats de mesures de teneurs de Corg et en M.O ; Source : Lucie Froehlicher

Nom échantillon	Profondeur	Horizon	% Corg	% M.O
CIG01_101	0-5	L	0,55	0,96
CIG01_102	10-15		0,62	1,07
CIG01_103	20-25		0,51	0,88
CIG01_104	30-35	A	0,48	0,82
CIG01_105	40-45		0,43	0,74
CIG01_106	50-55		0,26	0,45
CIG01_107	60-65	S	0,17	0,30
CIG01_108	70-75		0,12	0,22
CIG01_109	80-85	C	0,08	0,14
CIG02_101	0-5	L	0,67	1,16
CIG02_102	10-15		0,64	1,11
CIG02_103	20-25		0,63	1,09
CIG02_104	30-35	A	0,50	0,86
CIG02_105	40-45		0,62	1,07
CIG02_106	50-55		0,41	0,70
CIG02_107	60-65	S	0,24	0,42
CIG02_108	70-75	C	0,12	0,21
CIG03_101	0-5	LA	0,74	1,27
CIG03_102	10-15		0,65	1,12
CIG03_103	20-25		0,64	1,11
CIG03_104	30-35		1,04	1,80
CIG03_105	40-45		0,54	0,93
CIG03_106	50-55		0,29	0,50
CIG03_107	60-65	S	0,28	0,48
CIG03_108	70-75	C	0,21	0,36

8.3 Etude micromorphologique de la toposéquence HABS

L'approche micromorphologique a été faite pour caractériser l'origine, le mode de mise en place et l'évolution pédo-sédimentaire des sols de la toposéquence d'Habsheim.

Pour la réalisation des lames minces, un échantillonnage (en blocs orientés et non perturbés) a été effectué dans les sols présentant des accumulations. Dans chaque profil, le choix des niveaux étudiés est fonction de leur complexité (figure 8.32). Les lames ont été fabriquées par le Laboratoire Beckmann en Allemagne et analysées avec l'aide bénévole d'Anne Gebhardt, archéopédologue à l'INRAP et rattachée à l'UMR 7362.

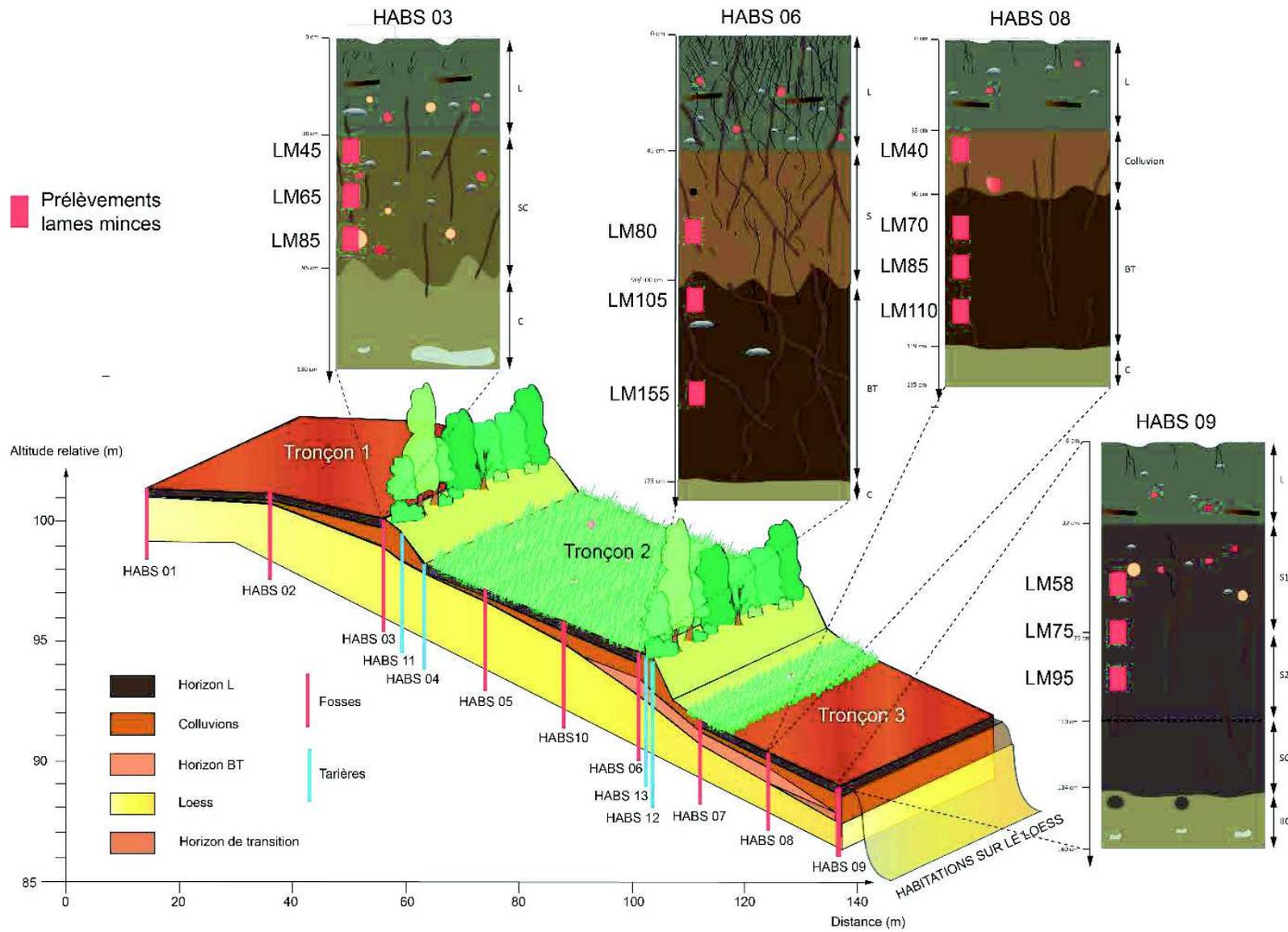


Figure 8.32 : Localisation des prélèvements sélectionnés pour la réalisation des lames minces ; Source : Lucie Froehlicher

L'analyse des lames se fait en plusieurs étapes. Pour faciliter la compréhension et l'interprétation de nos résultats, nous présenterons dans un premier temps les résultats descriptifs des lames sous formes de tableaux au sein desquels nous décrirons la microstructure, la composante et les différents traits micromorphologiques de chacune des lames des fosses étudiées. Les figures 8.33 à 8.36 présentent les clichés réalisés et à quelles lames minces ils sont associés.

Le tableau 8.8 présente les résultats d'analyses des trois lames minces de la fosse HABS 03.

Tableau 8.8 : Résultats des analyses des lames minces du profil HABS 03 ; Analyses réalisées par Anne Gebhardt

Profil Habs 03	Microstructure	Composantes	Traits micromorphologiques	Interprétation
LM 45	Niveau bien structuré ; agrégats assez gros, bien individualisés ; fissures chambres et biogaleries interconnectées.	Fraction minérale grossière composée de limons dominants ; quelques fragments de coquilles de gastéropodes ; masse porphyrique tacheté, calcitisée, homogène, de couleur brune et bonne biréfringence. Quelques résidus de matière organique (Figure A 8.33) ferruginisée/humifiée et fraîche. Quelques rares charbons de bois et fragments osseux.	Fragments de sol clair (horizon éluvial?) remaniés. Abondants manchons racinaires ; déjections d'enchitraéides et terriers de vers de terre.	La lame LM 45 permet de décrire des colluvions carbonatées avec quelques éléments grossiers du type os et charbons. D'autres part, la lumière polarisée révèle des grains de différents types avec une dominance du feldspaths et du quartz.
LM 65	Structuration bien marquée ; gros agrégats bien individualisés ; fissures chambres et biogaleries interconnectées.	Fraction minérale grossière à dominante limoneuse avec quelques fragments de coquilles ; masse porphyrique, tacheté, calcitisée, homogène, de couleur brune et bonne biréfringence. Matière organique fraîche résiduelle. Quelques rares charbons de bois.	Rares intercalations. Manchons racinaires ; terriers de vers de terre, bionodules de calcite, déjections d'enchitraéides.	A cette profondeur, LM65 révèle des taches linéaires marron (figure B 8.33) qui correspondent à des intercalations de revêtements d'argile poussiéreuse tassé sans doute quand le sol était plus en surface.
LM 85	Bonne structuration ; gros agrégats bien individualisés ; fissures chambres et biogaleries interconnectées.	Fraction minérale grossière composée de limons dominants ; quelques fragments de coquilles de gastéropodes ; masse porphyrique, tachetée, calcitisée, homogène, de couleur brune et bonne biréfringence. Fraction organique fraîche éparsée.	Intercalations, revêtements poussiéreux silteux peu épais, non lités, fragments d'horizons roulés abondants (Figure C 8.33). Manchons racinaires abondants, déjections d'enchitraéides et terriers de vers de terre abondants (Figure D 8.33). Abondantes concrétions de calcite.	LM85 présente une lame sans pores mais avec beaucoup de revêtement de vide. Cela est sans doute lié aux biogaleries qui s'effondrent (perturbation mécanique par la faune).

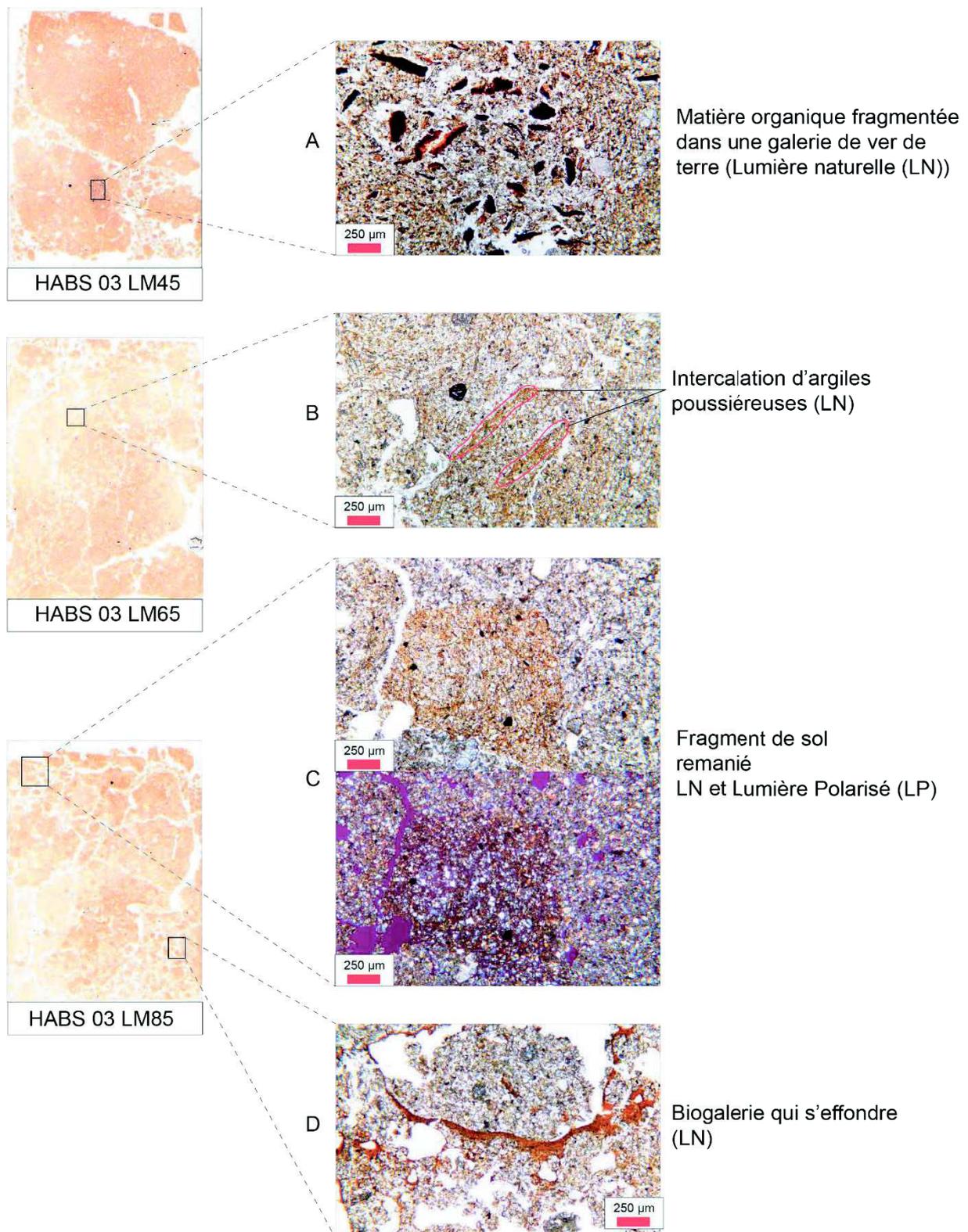


Figure 8.33 : Lames minces de la fosse HABS 03 et photos associées ; Source image : Anne Gebhardt

Une première conclusion sur la fosse HABS 03 peut être faite à partir des analyses micromorphologiques réalisées. Malgré l'origine colluviale de l'ensemble des horizons, aucune

structuration lamellaire typique de ces modes de dépôts n'est visible en raison d'une activité biologique importante.

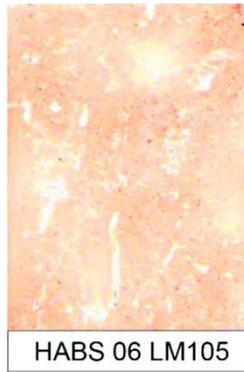
Pour le deuxième tronçon, trois lames minces provenant de la fosse HABS 06 sont décrites (tableau 8.9).

Tableau 8.9 : Résultats des analyses des lames minces du profil HABS 06 ; Analyses réalisées par Anne Gebhardt

Profil Habs 06	Microstructure	Composantes	Traits micromorphologiques	Interprétation
LM 80	Microstructure compacte structurée. Biogaleries, fissures fines et chambres non connectées. Faible pédalité.	Fraction minérale grossière composée de limons dominants ; quelques fragments de coquilles de gastéropodes ; masse porphyrique, réticulée, homogène de bonne biréfringence. Quelques fragments de matière organique fraîche.	Revêtements poussiéreux et quelques revêtements plus limpides (Figure B 8.34).	La lame LM 80 décrit un horizon de sol mal structuré et assez compact. On retrouve des résidus de MO fraîche peu abondants. Les composants quartzitiques limoneux fins sont d'origines loessiques. On est en présence d'une masse réticulée décarbonatée. L'activité biologique est peu marquée. Les traits pédologiques mettent en évidence des revêtements poussiéreux qui témoignent de la mise à nu des sols en surface et de revêtements limpides qui témoignent quant à elle d'une couverture végétale.
LM 105	Microstructure plus ouverte, de faible pédalité. Biogaleries, fissures fines et chambres mal connectées. Faible pédalité.	Fraction minérale grossière composée de limons dominants ; quelques fragments de coquilles de gastéropodes ; masse plus brune porphyrique, tachetée, calcitisée, homogène, de bonne biréfringence. Manchons racinaires et terriers de vers de terre.	Quelques intercalations et unités d'horizons roulés par le colluvionnement. Traces d'assèchement. Traces de remplissage en pile d'assiettes.	Les lames LM 105 et LM 155 décrivent des horizons de sol mal structurés, compacts : résidus de matière organique, fraîche et humifiée, charbons, os. Composants quartzitiques limoneux fins d'origine loessique. Masse calcitisée (non décarbonatée) avec toutefois des zones à masses délavées (début de lessivage). Activité biologique bien marquée (terriers de lombrics, manchons racinaires, coquilles de gastéropodes). Traits pédologiques sous la forme de fragments d'horizons roulés au sommet (LM105, colluvion). A la base de l'horizon, trace de BT (Lame 155, revêtements argileux limpides). Partout, revêtements poussiéreux et intercalations (mise à nu du sol en surface) et intercalations.
LM 155	Microstructure compacte de faible pédalité. Biogaleries et chambres non connectées. Faible pédalité.	Fraction minérale grossière composée de limons dominants ; masse porphyrique, réticulée, décalcifiée, homogène, de bonne biréfringence. Manchons racinaires et terriers de vers de terre.	Revêtements argileux jaunes limpides abondants (BT). Quelques revêtements poussiéreux, parfois sur les limpides. Recarbonatation secondaire (les carbonates recouvrent le revêtement argileux (Figure A 8.34))	



HABS 06 LM80



HABS 06 LM105

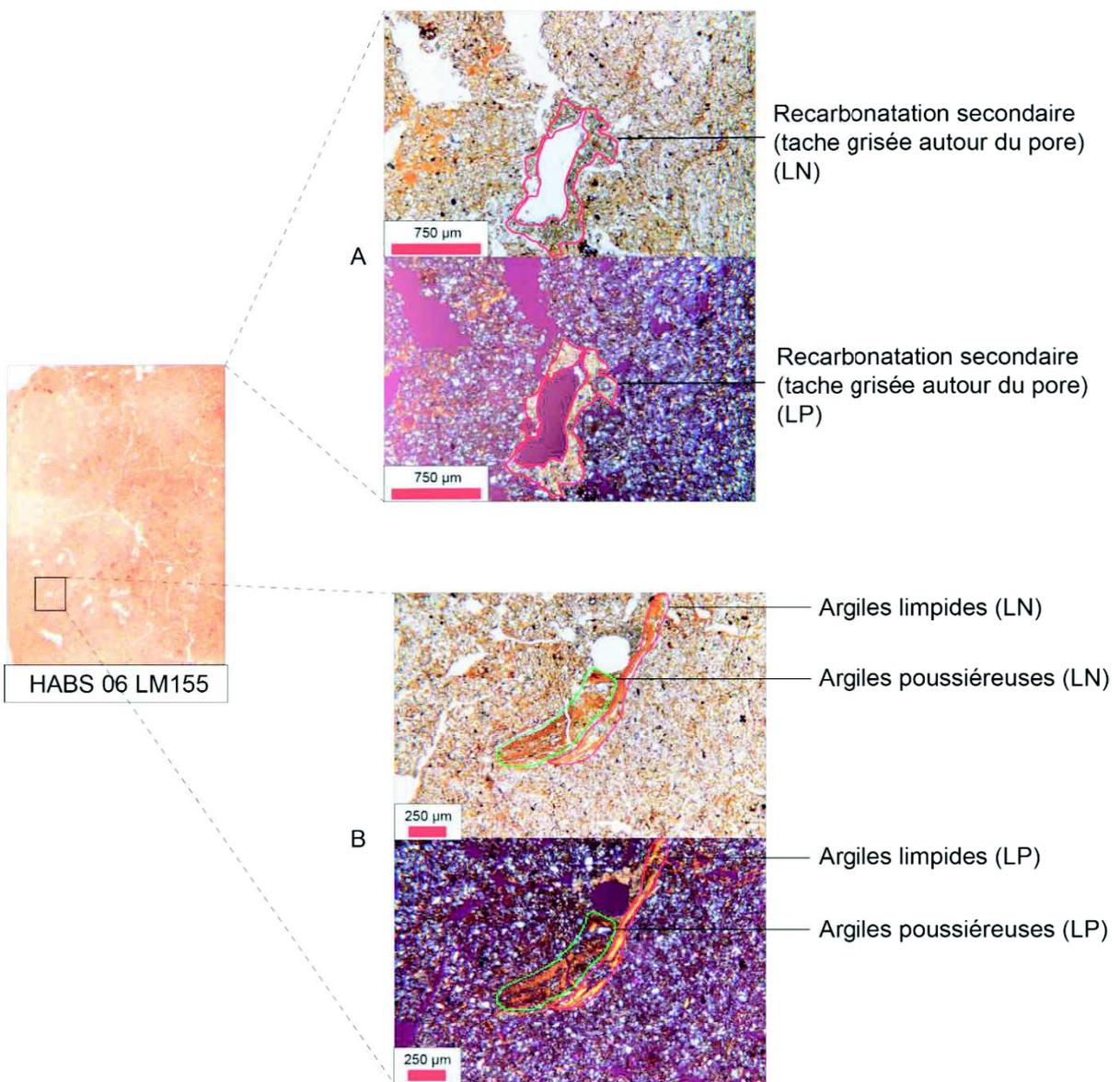


Figure 8.34 : Lames minces de la fosse HABS 06 et quelques clichés du zoom de HABS 06 ; Source image : Anne Gebhardt

Pour le dernier tronçon, 7 lames minces réparties sur deux fosses sont analysées. Les quatre premières lames minces analysées dans HABS 08 sont présentées dans le tableau 8.10.

Tableau 8.10 : Résultats des analyses des lames minces du profil HABS 08 ; Analyses réalisées par Anne Gebhardt

Profil Habs 08	Microstructure	Composantes	Traits micromorphologiques	Interprétation
LM 40	Sédiment bien structuré, agrégats assez gros et plus petits bien individualisés. Porosité issue de fissures, chambres et biogaleries bien connectées.	Fraction minérale grossière à dominante limoneuse ; quelques fragments de coquilles de gastéropodes ; masse plus brune porphyrique, tacheté, calcitisée, homogène, de bonne biréfringence. Petits charbons et quelques fragments de poterie.	Petits manchons racinaires. Bionodules de calcite, terriers de vers de terre en pile d'assiette. Zones délavées.	Horizon de sol bien structuré. Peu organique. Anthropisation marquée : résidus de charbons (figure B 8.35) et fragments de poterie roulés (colluvions) (figure A 8.35). Composants quartzitiques limoneux fin d'origine lœssique. Masse calcitisée (non décarbonatée). Activité biologique peu marquée (quelques terriers de lombrics). Traits pédologiques sous la forme de revêtements poussiéreux (mise à nu du sol en surface) et intercalations.
LM 70	Bonne structuration, agrégats assez gros et plus petits bien individualisés. Porosité issue de fissures, chambres et biogaleries bien connectées.	Fraction minérale grossière à dominante limoneuse ; quelques fragments de coquilles de gastéropodes ; masse plus brune porphyrique, localement encore tachetée et calcitisée, ailleurs tachetée, de bonne biréfringence (Figure E 8.35).	Revêtements argileux poussiéreux dominants. Fragments de sol roulés, quelques revêtements plus limpides et peu épais (Figure F 8.35). Manchons racinaires fragmentés roulés. Quelques concrétions de fer.	Horizon de sol bien structuré au sommet, plus compact vers la base. Anthropisation marquée par des résidus de charbons et fragments de poterie roulés, os. Concrétions de fer roulées (colluvions). Coquilles de gastéropodes calcaires. Masse tacheté au sommet (LM70), réticulée, décalcifiée réticulée à la base (LM85/110). Activité biologique marquée par des
LM 85	Microstructure plus compacte. Porosité plus faible, formée de chambres et biogaleries mal connectées.	Fraction minérale grossière composée de limons dominants ; quelques fragments de coquilles de gastéropodes ; masse porphyrique, réticulée, homogène de bonne biréfringence (Figure E 8.35).	Revêtements argileux plus ou moins limpides. Revêtements argilo-silteux poussiéreux (Figure G 8.35). Terriers de vers de terre. Abondantes concrétions de fer roulées.	terriers de lombrics, bionodules de calcites, manchons racinaires fragmentés roulés. Traits pédologiques remaniés comme des fragments de BT, marqués à la base de l'horizon sous la forme de revêtements poussiéreux (mise à nu du sol en surface) et intercalations.
LM 110	Microstructure plus compacte. Porosité plus faible, formée de chambres et biogaleries mal connectées.	Fraction minérale grossière composée de limons dominants ; quelques fragments de coquilles de gastéropodes ; masse porphyrique, totalement décalcifiée, réticulée, homogène de bonne biréfringence.	Revêtements argilo-silteux dominants. Revêtements argileux limpides peu épais, parfois remaniés/roulés (Figure H 8.35). Zones à accumulations de fragments calcitiques à la base (Figure D 8.35) (terriers?). Concrétions de fer roulées.	

Pour la fosse HABS 08, le sédiment est remanié dans l'ensemble, d'origine colluvial (manchons racinaires fragmentés, poteries, charbons, concrétions de fer roulés). Sa mise en place est à caler dans une dynamique de culture (sol à nu : intercalations, revêtements poussiéreux). Le BT ne semble également pas vraiment en place, mais issu d'un horizon BT remanié : fragments de revêtements limpides remaniés et roulés, intercalations (figure 8.35).

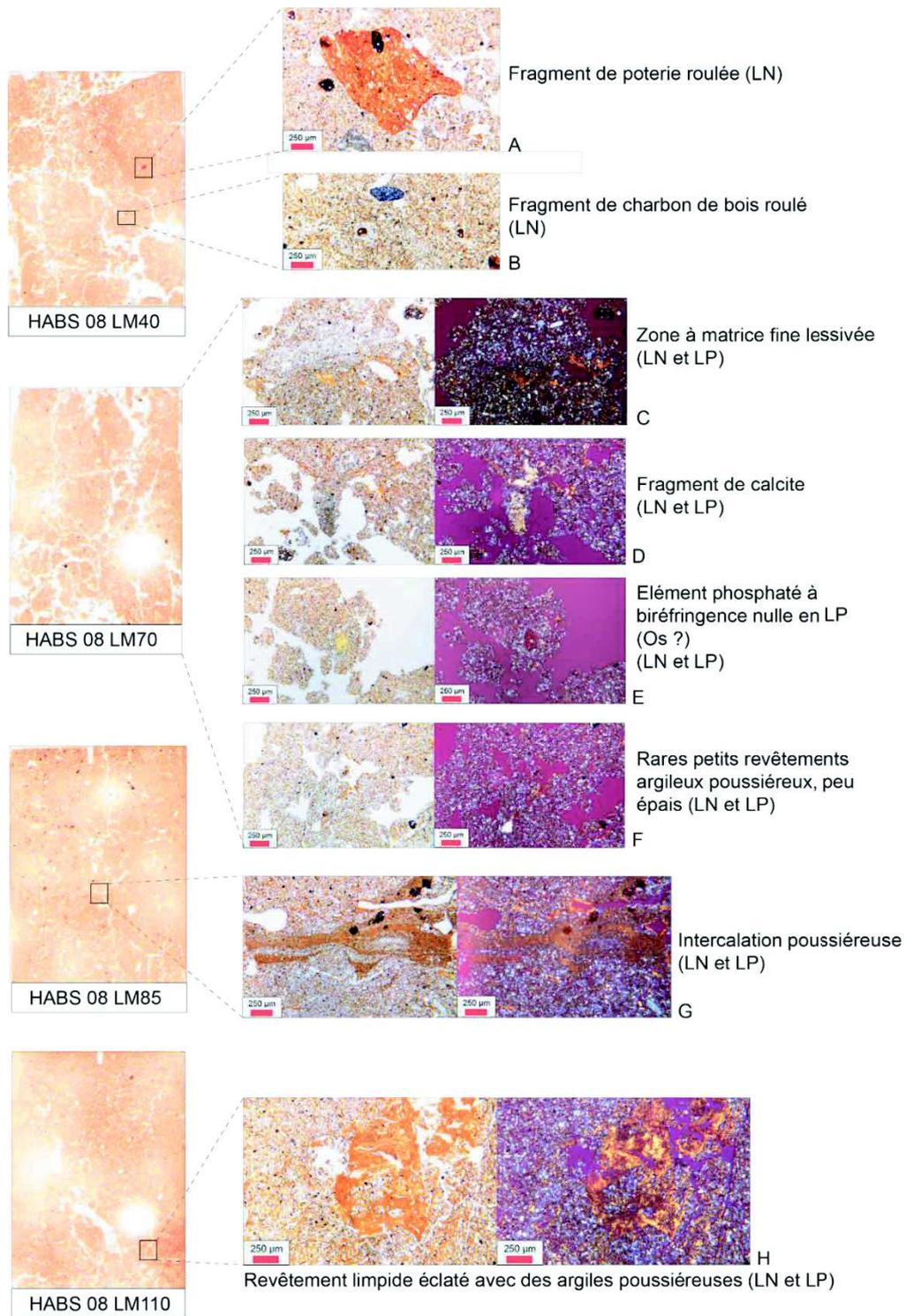


Figure 8.35 : Lames minces de la fosse HABS 08 et quelques clichés du zoom de HABS 08 ; Source image : Anne Gebhardt

La fosse HABS 09 se caractérise quant à elle d'après l'analyse micromorphologique de trois lames des horizons assez homogènes (tableau 8.11). La figure y associe des photos zoom des lames minces (figure 8.36).

Tableau 8.11 : Résultats des analyses des lames minces du profil HABS 09 ; Analyses réalisées par Anne Gebhardt

Profil Habs 09	Microstructure	Composantes	Traits micromorphologiques
LM 58	Microstructure incomplète, plus compacte. Pédalité faible, porosité formée de chambres et chenaux non connectés.	Fraction minérale grossière composée de limons dominants ; coquilles de gastéropodes ; masse porphyrique, décalcifiée, réticulée, homogène de faible biréfringence. Rares petits charbons.	Petites intercalations poussiéreuses (Figure A 8.36). Fragments de BT remaniés (Figure B 8.36). Rares petites accumulations poussiéreuses. Biogaleries de vers de terre et déjections d'enchitraéides. Petites concrétions de fer roulées (Figure C 8.36).
LM 75	Microstructure incomplète, plus compacte. Mauvaise structuration, porosité formée de chambres et chenaux non connectés.	Fraction minérale grossière composée de limons dominants ; masse porphyrique, décalcifiée, réticulée, homogène de faible biréfringence. Sclérote (champignon) (Figure E 8.36). Petits charbons plus abondants (Figure G 8.36).	Fragments de BT roulés (figure F8.36), bien intégrés dans les sédiments, quelques fragments d'horizon calcifiés (Figure I 8.36), papules (Figure D 8.36). Revêtements calcaires sparitiques (Figure H 8.36). Forte bioturbation, abondantes galeries de vers de terre. Concrétions de fer.
LM 95	Meilleure microstructure, bonne pédalité ; biogaleries et fissures bien connectés.	Fraction minérale grossière composée de limons dominants ; masse porphyrique, décalcifiée, réticulée, homogène de meilleure biréfringence.	Quelques revêtements plus ou moins limpides en place, parfois remaniés (Figure L 8.36). Bionodules de calcite, manchons racinaires (Figure K 8.36). Fragments calcite dans biogaleries (Figure J 8.36) Concrétions de fer roulées.

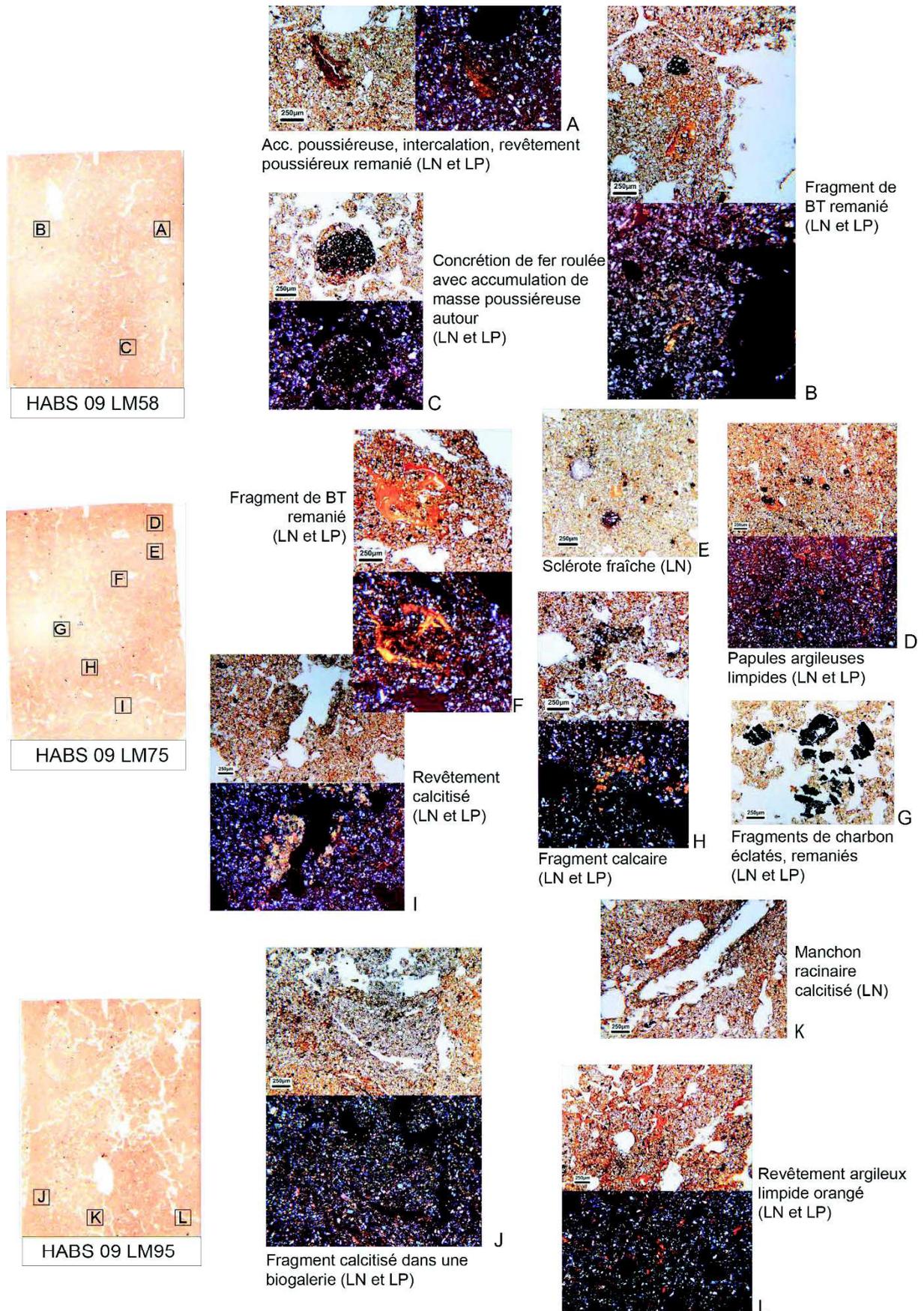


Figure 8.36 : Lames minces de la fosse HABS 09 et des clichés de zoom sur les lames ; Source image : Anne Gebhardt

L'apport de l'étude micromorphologique est incontestable. D'une part elle conforte un certain nombre d'observations réalisées sur le terrain. D'autre part, la finesse de cette analyse permet de décrire des organisations invisibles à l'œil nu comme les dépôts d'argiles poussiéreuses témoignant de la mise à nu de nos sols, ou encore la présence d'argiles limpides assurant une reconquête forestière de nos espaces à certains temps de leur histoire. D'autres éléments descriptifs précis comme la présence de biogaleries d'enchitraéides à des profondeurs assez importantes, supérieures à 80 cm sur l'ensemble des fosses, assurent bien l'origine colluviale des dépôts supérieurs puisque les enchitraéides ne descendent pas à cette profondeur. Ainsi, cette analyse a permis à la fois de valider nos observations de terrains et de les préciser à l'échelle du micromètre.

8.4 Signature spectrale des matières organiques en SPIR qualitative

Les résultats de l'analyse SPIR présentés dans cette étude sont de type qualitatif. C'est le type d'occupation du sol (forêt, prairie ou culture) que l'on essaiera de déterminer à partir de la signature spectrale de 186 échantillons provenant de l'ensemble des sols étudiés dans le cadre de cette thèse. Ces signatures seront comparées à celles d'une population composée de 1343 échantillons de référence afin de les classer dans l'une des trois classes disponibles : prairie, forêt ou culture.

8.4.1 Les prétraitements mathématiques

L'ensemble des prétraitements a été réalisé sur le logiciel Unscrambler sur un fichier unique composé des échantillons de référence et des échantillons « inconnus ». L'ensemble des spectres des échantillons possède une résolution à -8 cm^{-1} . Ces spectres sont soumis à deux types de prétraitement (figure 8.37) :

- Une fonction polynomiale d'ordre 2 qui a pour but de corriger la tendance curvilinéaire du spectre dans les valeurs proches de l'extrémité haute (4000 cm^{-1}) (Ertlen, 2009) ;
- Une *Standard Normal Variate* (SNV) ou standardisation, qui a pour but de centrer et réduire le spectre (Ertlen, 2009) ;

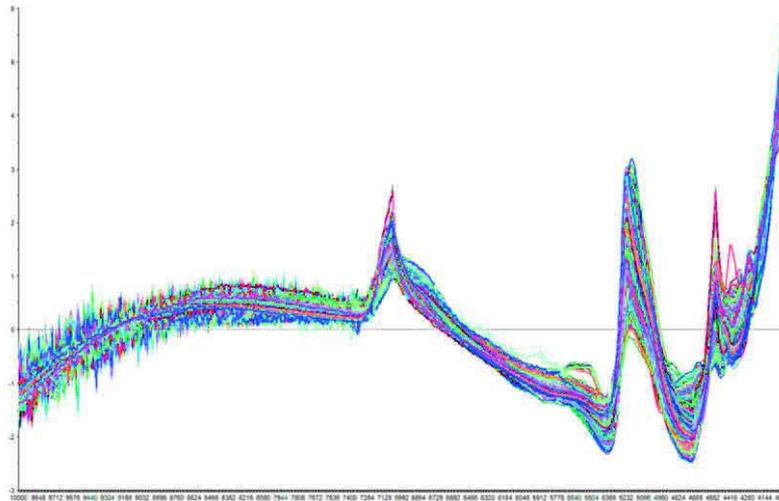


Figure 8.37 : Transformation des spectres acquis par SPIR après un detrend et une standardisation ; Source : Unscrambler

Après ces traitements, les données sont importées dans un second logiciel, SPSS, pour les traitements statistiques qui permettent l'attribution d'un score à chacun des échantillons introduits comme inconnus dans la base de données. La méthode de classification sélectionnée est une analyse discriminante, plus précisément la méthode « pas à pas » dite de Lambda de Wilks.

8.4.3 Validation de la classification : distances aux barycentres

Pour caractériser la qualité de la classification et son référentiel, nous nous intéressons à la distance aux barycentres entre chaque groupe ou « distance de Mahalanobis » établie par les fonctions canoniques (tableau 8.12). Plus les distances entre les moyennes des groupes sont importantes, meilleure la classification sera (Ertlen, 2009). Ici ces distances sont grandes et permettent de garantir de bons résultats de classification :

- Une distance de 1.347 entre la classe forêt et prairie (1&2) expliquée par la fonction 1
- Une distance de **9.849** entre la classe forêt et culture (1&3) expliquée par la fonction 1
- Une distance de **9.946** entre la classe prairie et culture (2&3) expliquée par la fonction 1
- Une distance de **4.522** entre la classe forêt et prairie (1&2) expliquée par la fonction 2
- Une distance de 1.177 entre la classe forêt et culture (1&3) expliquée par la fonction 2
- Une distance de 1.207 entre la classe prairie et culture (2&3) expliquée par la fonction 2

Le bilan que l'on peut faire sur ces distances de Mahalanobis est que la fonction 1 explique la distance entre la classe culture et les deux autres classes (forêt et prairie) avec des distances supérieures à 9. La fonction 2 quant à elle permet d'expliquer la distance entre les classes prairie et forêt.

Tableau 8.12 : Fonctions aux centroïdes des groupes ; Source : SPSS (1,00 : classe forêt ; 2,00 : classe prairie ; 3,00 : classe culture)

VAR00754	Fonction	
	1	2
1,00	-1,876	2,384
2,00	-,529	-2,138
3,00	7,973	1,177

Fonctions discriminantes canoniques non standardisées évaluées aux moyennes des groupes

8.4.2 Résultats de la classification

L'efficacité du référentiel attestée, nous nous intéressons aux résultats propres à la classification. A chacun des 186 échantillons « inconnus » introduits est attribuée une classe, soit en forêt (1), en prairie (2) ou en culture (3) (figure 8.38).

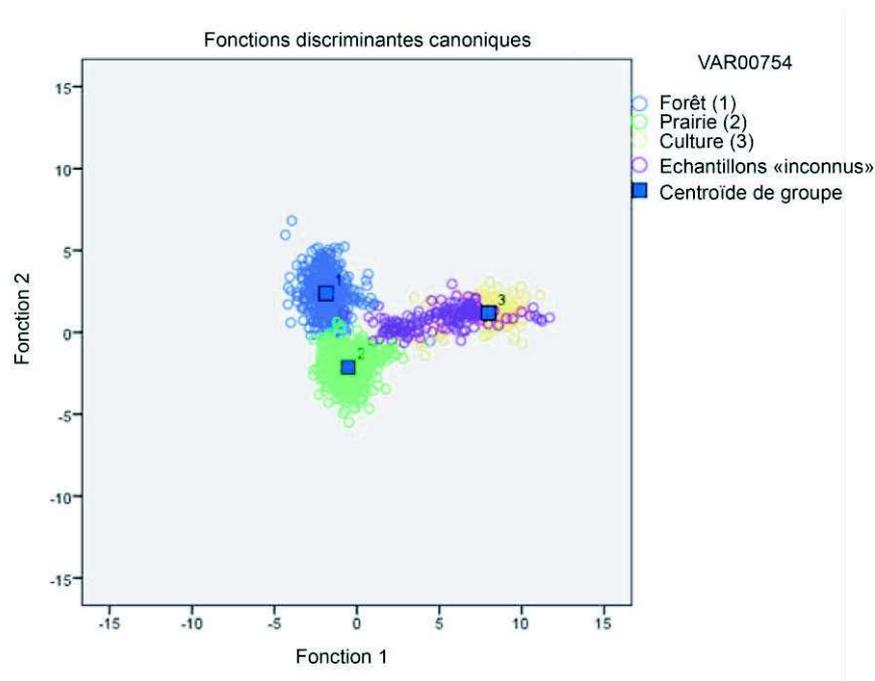


Figure 8.38 : Résultats de la classification tripartite de l'ensemble de nos d'études (Habsheim, Uffheim, Mulhouse) ; Source : Graphique produit par le logiciel SPSS

La répartition globale de ces échantillons tend à classer la majeure partie des échantillons d'origine végétale inconnue en culture, et quelques échantillons tendent à se rapprocher des classes forêt et prairie. Le tableau 8.13 associé au graphique détaille cette classification. Le tableau des effectifs nous indique que sur la population générale de 186 échantillons à classer, 3 vont se positionner en forêt, 50 en prairie et les 133 derniers en culture.

Tableau 8.13 : Détail de la classification ; Source : SPSS

VAR00754			Appartenance au groupe prévu			Total
			1,00	2,00	3,00	
Original	Effectif	1,00	502	11	1	514
		2,00	2	662	0	664
		3,00	0	2	163	165
	Observations non regroupées	3	50	133	186	
%		1,00	97,7	2,1	,2	100,0
		2,00	,3	99,7	0,0	100,0
		3,00	0,0	1,2	98,8	100,0
	Observations non regroupées	1,6	26,9	71,5	100,0	

a. 98,8% des observations originales sont classées correctement.

La classification faite, il convient de différencier les scores attribués aux échantillons en fonction de leur origine (Habsheim, Uffheim, Mulhouse). A cet effet, nous avons traité de l'évolution des scores avec la profondeur pour chacune des fosses de toutes les toposéquences (Habsheim : HABS & CIG), Uffheim (UFF) et des sites de référence (HABSREF, ZOO).

8.4.4 Evolution des scores à l'échelle de la fosse

L'étude de l'évolution des scores se fait en deux étapes. La première consiste dans un premier temps à analyser l'évolution des scores de la fonction 1, qui explique la distance entre la classe culture et les deux autres (forêt et prairie). L'étude des scores de la fonction 2 permet quant à elle de caractériser l'évolution du signal quand ce dernier tend vers un couvert forestier ou prairial.

En lien avec les nombreuses études réalisées en SPIR qualitative, nous admettons ici un biais qui est l'influence des faibles teneurs en C_{org} des échantillons. Comme énoncé dans le chapitre 4, la SPIR établit des spectres à partir de la MO des échantillons. Or, si la teneur en C_{org} est faible, cela constitue une pondération énorme qui va influencer l'attribution des scores donnés à chaque échantillon. Les différents tests établis sur la classe « culture » ont montré que les échantillons à faible teneur en C_{org} ont tendance à se classer dans le référentiel au sein de cette classe, quel que soit le couvert végétal à l'origine de la MO (Froehlicher, 2013). Pour pallier ce biais, nous avons décidé d'introduire ici une limite arbitraire d'interprétation des données SPIR en excluant les échantillons dont les teneurs en C_{org} sont inférieures à 0.25 %. Visuellement, ces scores trop pondérés sont représentés par un surlignage jaune sur les figures.

8.4.3.1 Evolution des scores pour les sites de références : ZOO (forêt) et HABSREF (prairie)

Les classes attribuées pour les deux premiers échantillons de surface de la référence ZOO (0-5 et 10-15 cm) sont classés en forêt, puis à 20-25 cm l'échantillon est attribué à la classe prairiale et enfin après 30 cm jusqu'au fond de la fosse (105 cm) le signal devient uniquement cultural. La figure 8.39 d'évolution des scores de la fonction 1 et 2 présentent en détail l'attribution de ces scores.

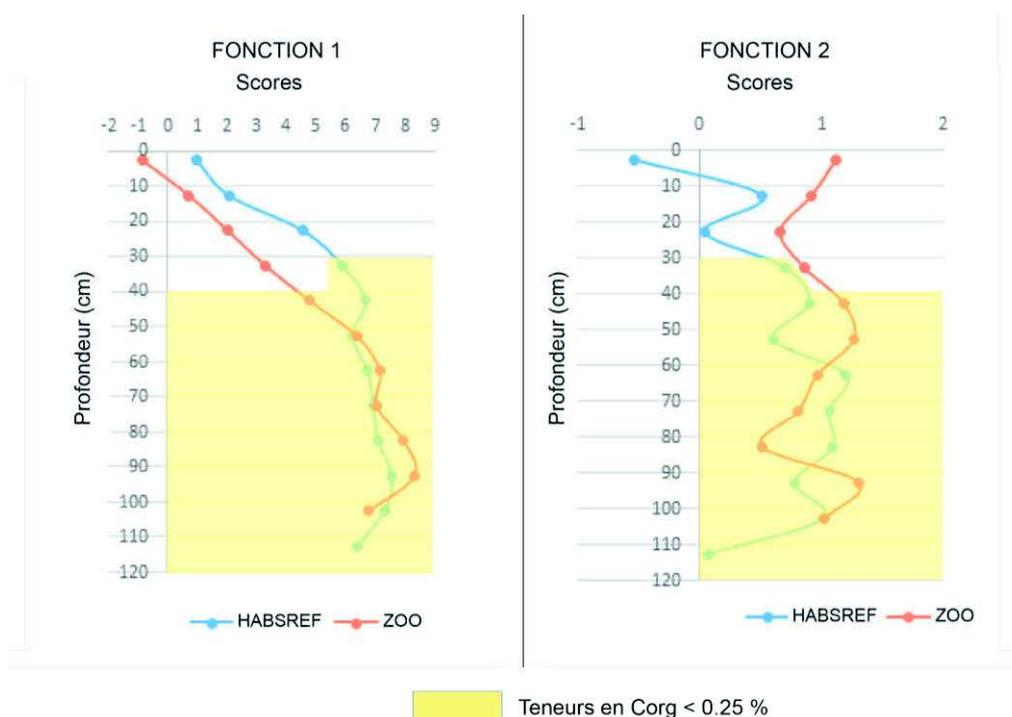


Figure 8.39 : Graphiques d'évolution des scores de la fonction 1 (à gauche) et de la fonction 2 (à droite) pour les sites ZOO et HABSREF ; Source : Lucie Froehlicher

Le signal forestier en surface pour le site ZOO semble cohérent puisqu'il s'agit du site de référence du sol brun lessivé sous forêt, depuis plus de 500 ans. Néanmoins, le passage à 30 cm vers un signal prairial puis cultivé jusqu'au fond de la fosse semble incohérent et doit être mis en relation avec les caractéristiques pédologiques et plus précisément avec la faible teneur en matière organique de ces horizons. Les résultats d'analyses pédologiques de ZOO montrent que les teneurs en C_{org} diminuent considérablement avec la profondeur et atteignent dès 30 cm des valeurs inférieures à 0.15 % tandis que sur les 30 premiers centimètres, les valeurs sont comprises entre 0.9 % et 0.33 % de C_{org} . En ce sens, le signal prairial enregistré vers 25-30 cm serait significatif et impliquerait que le couvert végétal a évolué à une époque non déterminée (mais il y a plus de 500 ans) d'une prairie vers la forêt.

Pour la référence sous prairie (HABSREF) (figure 8.39), le constat est le même. En surface, le signal enregistré correspond bien à l'occupation végétale, à savoir de la prairie. Ainsi, comme pour la référence ZOO, ce ne sont que les deux premiers échantillons représentant les 25 premiers cm de la surface du sol qui sont associés à la classe prairiale. Plus en profondeur, les scores évoluent comme pour la référence ZOO et dérivent vers le signal

cultural en raison de la baisse considérable en C_{org} des horizons après 30 cm ($< 0.25\%$ de C_{org}).

8.4.3.2 La toposéquence d'Habsheim : HABS

Les réponses de la classification spectrale par la fonction 1 pour la toposéquences d'Habsheim « HABS » montrent des attributions assez homogènes entre les fosses (figures 8.40 et 8.41). En surface, on a une signature prairiale systématique sur l'ensemble de la toposéquence, sans doute en lien avec les pratiques agricoles modernes de culture monospécifique comme le maïs ou encore par l'existence d'une occupation végétale pérenne (MAET : HABS 05, HABS 10 et HABS 06 ; bande enherbée : HABS 07). Puis en profondeur après 25 cm, le signal cultural est le seul signal enregistré. Mais cette fois, en raison de l'origine du matériel (colluvions) et des valeurs des teneurs en C_{org} souvent plus fortes en profondeur que dans un sol en place, le biais sur la pondération des teneurs faibles dans la classification des spectres est moins important, voire inexistant, mis à part pour les horizons profonds proches du loess pur (C). Si on reprend la valeur de $0,25\%$ de C_{org} comme limite de l'interprétation des spectres, on remarque que la proportion des scores trop pondérés par les faibles teneurs en C_{org} correspond généralement aux 20/30 derniers centimètres de chaque fosse. Seule la fosse HABS 09 voit plus de la moitié de ces scores attribués remis en question en raison de la faiblesse globale des teneurs en C_{org} inférieures à 0.25% dès 70 cm de profondeur, alors que le fond de fosse est à 150 cm.

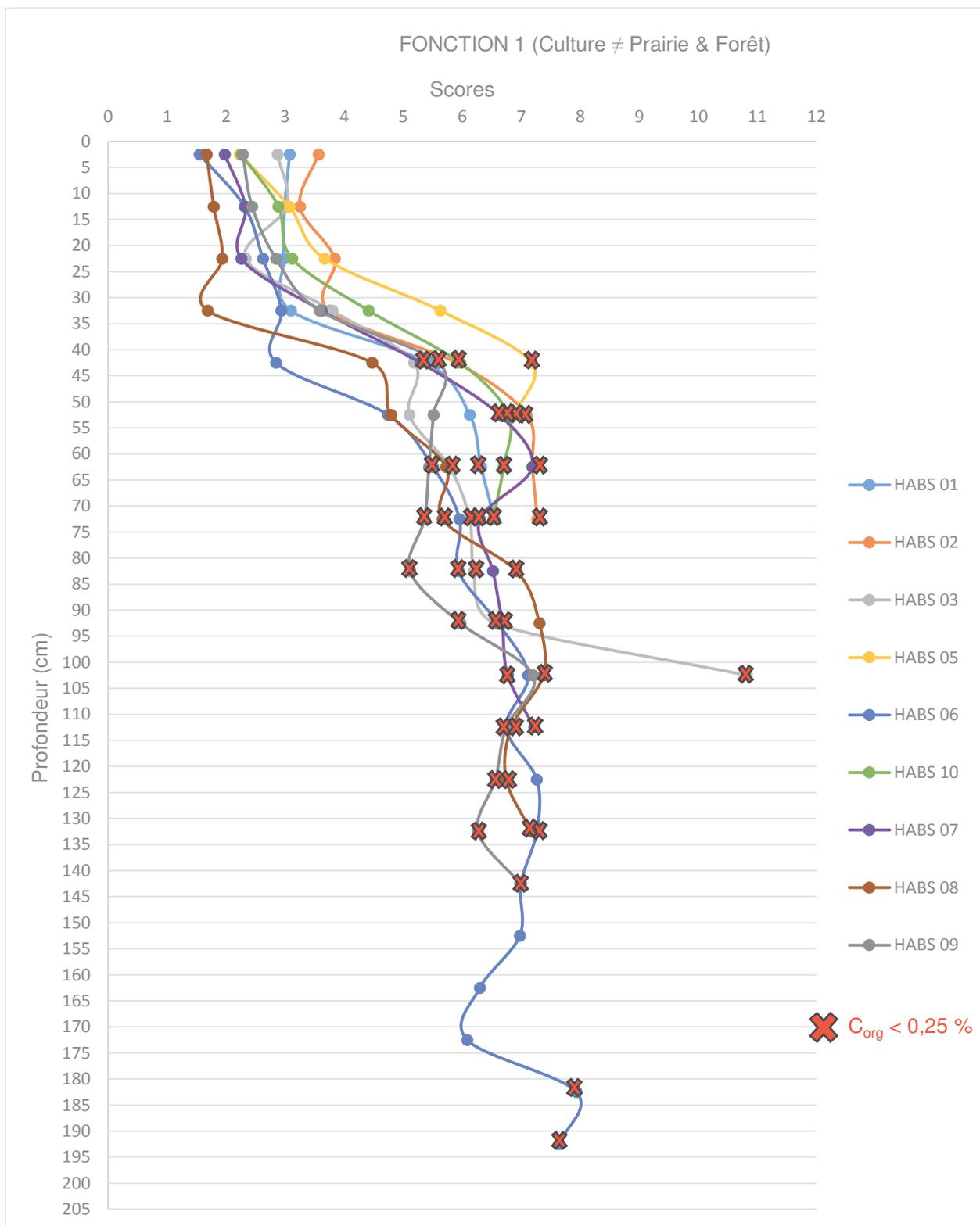


Figure 8.40 : Attribution des scores de la fonction 1 pour la toposéquence HABS ; les croix rouges correspondent à des échantillons non interprétés en raison de leur teneur trop faible en C_{org} . Source : Lucie Froehlichers

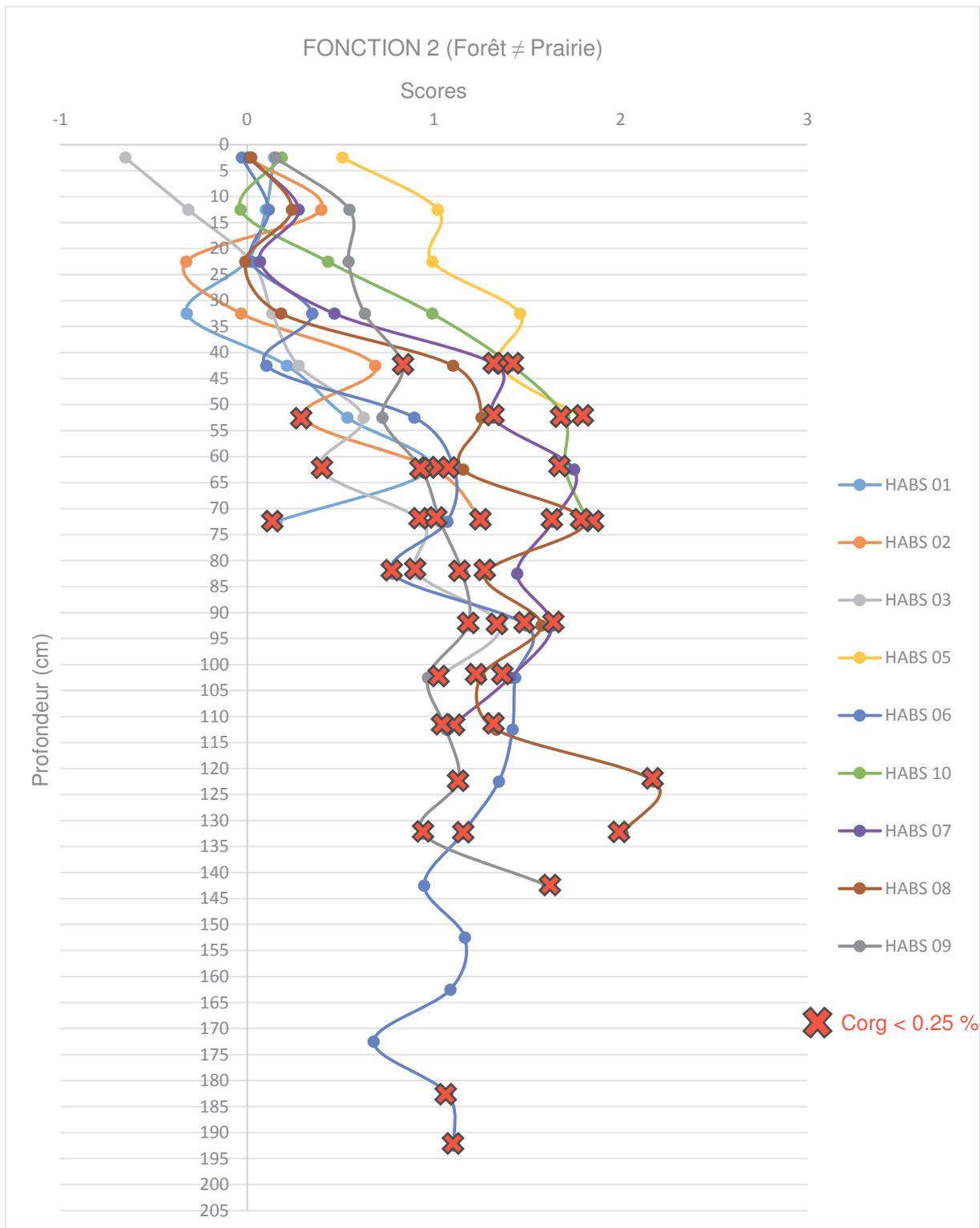


Figure 8.41 : Attribution des scores de la fonction 2 pour la toposéquence HABS ; Source : Lucie Froehlicher

Les 43 valeurs dont la teneur en C_{org} est inférieure à 0.25 %, sur un total de 102 valeurs mesurées, correspondent pour 15 échantillons à l'horizon lœssique C. Douze teneurs inférieures à 0.25 % de C_{org} sont aussi mesurées pour des horizons de transition avec C. Il s'agit des 10 à 30 derniers centimètres des horizons BT ou SC au contact d'horizons C. Seize

teneurs inférieures à 0.25 % restent donc inexpliquées ici. Ces teneurs sont mesurées au sein des horizons BT et S à des profondeurs variables comprises entre 40 et 135 cm. Encore une fois, ces faibles teneurs sont facilement interprétables ici au vu de la position de ces échantillons par rapport à l'horizon C. Pour les 59 autres échantillons, l'attribution de scores et les classifications proposées en classe « culture » sont très cohérentes et renforcent la validité du modèle. Ainsi, ces résultats confirment l'origine agraire du matériau colluvial.

8.4.3.4 La toposéquence d'Uffheim : UFF

La démarche d'interprétation des résultats du site d'Uffheim (UFF) est la même que pour le site d'Habsheim « HABS ». La classification des scores indique une signature prairiale en surface (10 à 20 premiers cm), puis en culture jusqu'au substrat lœssique (figure 8.42). Le seul profil réellement intéressant est ici le profil UFF 03. Même compte-tenu de l'exclusion de certains échantillons en raison de la valeur trop faible des teneurs en C_{org} , le signal enregistré jusqu'à 70 cm de profondeur par les colluvions est bien celui de « culture », ce qui confirme là aussi, tout comme sur HABS, l'origine agraire des colluvions

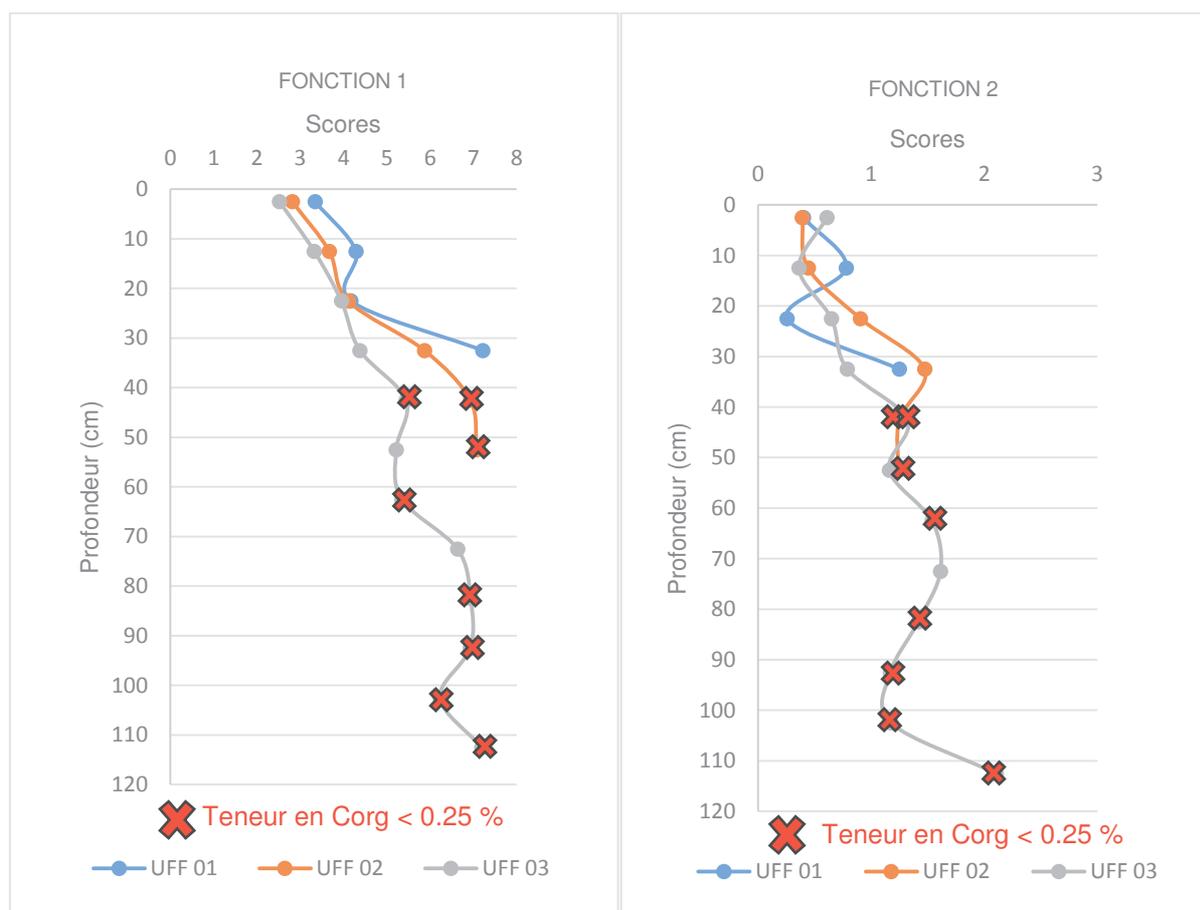


Figure 8.42 : Evolution des scores de la fonction 1 et 2 pour la toposéquence d'Uffheim, UFF ; Source : Lucie Froehlicher

Le bilan que l'on peut tirer de cette analyse des résultats est très similaire à celui de la toposéquence HABS. Avec une couverture du sol caractérisée par des monocultures quasi-continues en maïs, une Poacée, il est normal que le signal spectral enregistré soit apparenté à un signal prairial puisque les prairies se caractérisent majoritairement par des graminées... Le signal « culture » des horizons profonds, lorsqu'il est interprétable, est cohérent avec le fait que la matière organique des niveaux colluviaux provient en grande partie de l'accumulation de matériau érodé dans des horizons de surface cultivés.

8.4.3.4 La toposéquence avec effacement du rideau de culture : CIG

Sur la toposéquence CIG, le résultat de la classification présente une attribution de scores très complexe (figure 8.43). On a pour la fosse CIG 01 une alternance de classes assez chaotique : les 30 premiers centimètres sont classés en prairie, puis 10 cm en forêt, puis à nouveau 10 cm en prairie et enfin en culture après 50 cm. Pour CIG 02, le signal est prairial de la surface jusqu'à 60 cm puis cultural pour les 20 derniers centimètres. La fosse CIG 03 quant à elle, se calque sur CIG 02.

Si on exclut l'ensemble des échantillons dont la teneur en C_{org} est inférieure à 0,25 %, on se rend compte que plus aucune classe culture n'est valide. Le signal prairial prédomine, avec un échantillon classé en forêt. L'interprétation la plus logique que l'on puisse en faire est que la matière organique de ces horizons provient pour l'essentiel du nivellement d'un talus, occupé par une végétation prairiale, localement arborée ou arbustive (relique de haie), le tout mélangé par des engins de type bulldozer lors de l'arasement du rideau de culture. Ce type de travail provoque souvent un mélange peu homogène d'horizons. Ceci serait en accord avec la variation assez chaotique des teneurs en C_{org} avec la profondeur.

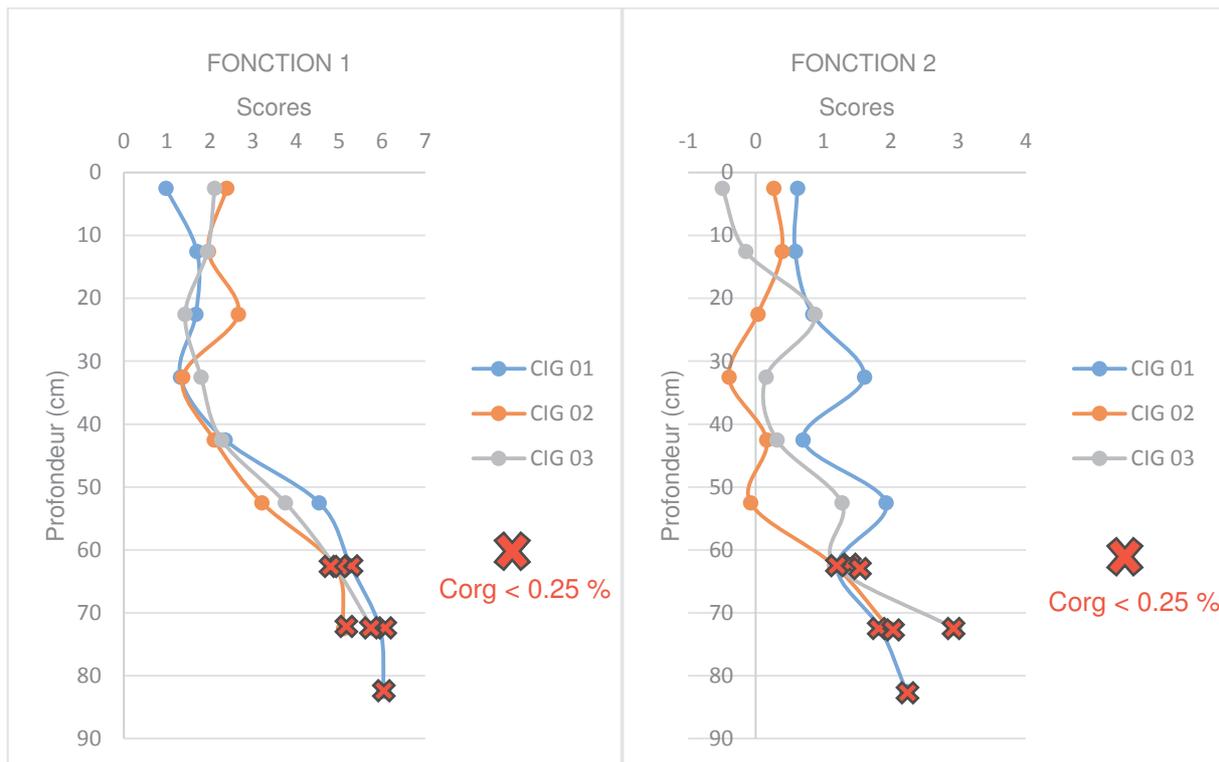


Figure 8.43 : Evolution des scores de la fonction 1 et 2 pour la toposéquence CIG ; Source : Lucie Froehlicher

Ainsi, on retiendra ici, que l'interprétation de la signature spectrale des fosses d'une toposéquence comme CIG est complexe et ne peut se faire sans une connaissance précise de l'historique très local des parcelles. Ce constat ouvre cependant des perspectives : lorsque des profils inconnus montrent une évolution relativement chaotique, cela peut être un indice de remaniement fort du sol par des processus divers : arasement, remblaiement, glissements de terrain,... ce qui offre un nouveau champ d'investigation.

8.5 Approche chronologique des rideaux de culture : datations OSL et ^{14}C

8.5.1 Datations OSL des matériaux colluvionnés de la toposéquence de Habsheim

Les résultats des 6 datations OSL réalisées sur la toposéquence de Habsheim (HABS) sont donnés dans le tableau 8.14 et dans la figure 8.44. Les âges mesurés par le laboratoire qui a daté les échantillons sont exprimés en âge BP (Before Present, l'année de référence du présent étant 1950), exactement comme pour les âges ^{14}C . Ils sont compris entre un maximum de 5760 ± 500 BP (HABS 09, à 127 cm de profondeur, base des colluvions carbonatées juste au-dessus du IIC lœssique) et un minimum de 996 ± 830 BP (HABS 08, base des colluvions carbonatées, juste au-dessus du BT). Dans le détail, deux dates se rapportent au Néolithique. L'âge de 5760 BP indique que dès cette époque le luvisol était complètement tronqué sur HABS 09. L'âge de 4360 ± 190 BP obtenu à la base du BT colluvionné de HABS 06 confirme la forte érosion des sols dès ces époques très anciennes. L'âge de 2700 ± 200 BP, obtenu à

la base des colluvions de HABS 03 donne le début de l'accumulation de matériaux à l'amont d'une haie, et donc le début de la formation du rideau de culture supérieur, à la transition entre l'Age du Bronze final et le début du premier Age du Fer (Hallstatt). Deux autres dates sont clairement du Haut Moyen Age : 1370 ± 100 BP à la base des colluvions carbonatées de HABS 06 et 1060 ± 160 BP à la base du niveau supérieur de colluvions de HABS 09. En raison de sa forte marge d'erreur, il est difficile d'interpréter l'âge de 996 ± 830 BP, à la base des colluvions carbonatées de HABS 08. Cependant, compte-tenu du contexte stratigraphique et topographique, l'âge réel doit être proche des 1060 ± 160 BP mesurés à quelques mètres de là, sur le même niveau de HABS 09. Nous considérons donc cet âge comme valide.

Tableau 8.14 : Résultats des datations OSL pour la toposéquence de Habsheim (HABS) ; Source : Lucie Froehlicher d'après les résultats établis par l'Institute of Physics, Silesian University of Technology at GLIWICE/POLAND s

Numéro de fosse	Profondeur (cm)	Horizon	Agés OSL (années BP)	Lab. No. échantillon
HABS 03	85-88 cm	A la base de SC	2710 (± 200)	GdTL-2015
HABS 06	80-83 cm	A la base de S	1370 (± 100)	GdTL-2016
HABS 06	130-133 cm	A la base de de l'horizon BT colluvionné	4360 (± 190)	GdTL-2017
HABS 08	60-63 cm	A la base de de l'horizon BT colluvionné	996 (± 830)	GdTL-2018
HABS 09	60-63 cm	S	1060 (± 160)	GdTL-2019
HABS 09	127-130 cm	SC	5760 (± 500)	GdTL-2020

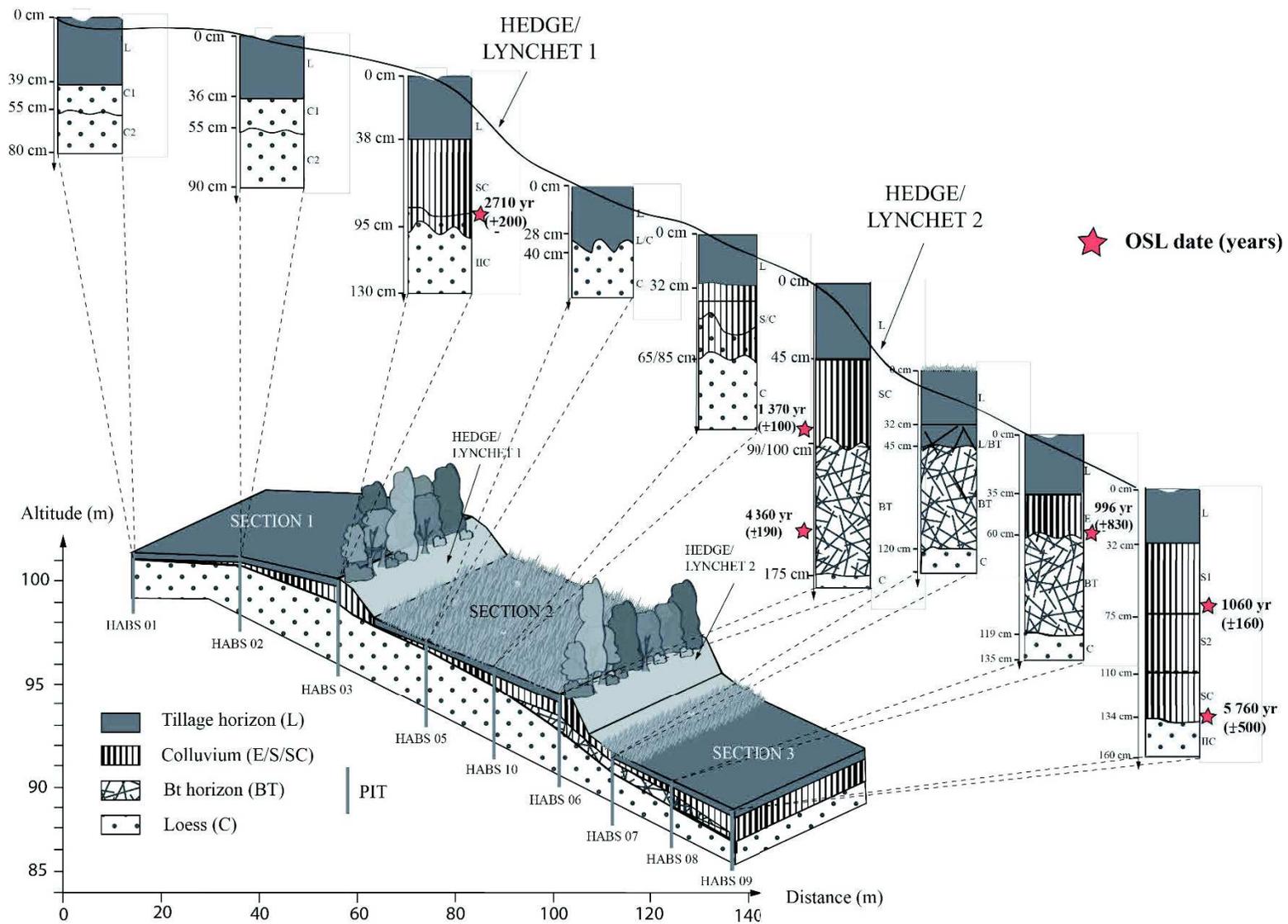


Figure 8.44 : Emplacement des datations sur la toposéquence d'Habsheim ; Repris de Froehlicher et al., 2016

L'ensemble de ces dates permet de préciser la chronologie relative initiale (figure 8.13), établie sur la base des observations de terrain. Ce nouveau cadre est représenté sur la figure 8.45. La première phase d'érosion a démarré il y a au moins 5800 BP (figure 8.45A). Il est difficile de savoir combien de temps a duré cette phase. On peut toutefois en donner un terminus *post quem* et un terminus *ante quem*. La base des colluvions stockées à l'amont de la haie supérieure étant datée de 2710 ± 200 BP, il est clair que l'ablation du luvisol était déjà totale dans la partie amont du transect avant cette date, dans la mesure où ces colluvions ne contiennent aucun fragment de BT. Elle n'était en revanche pas achevée vers 4360 BP, les colluvions de cette époque étant constituées de BT (profil HABS 06). Dans la partie aval de la toposéquence, la troncature du luvisol était déjà totale dès 5800 BP, les colluvions carbonatées (HABS 09) de cette époque reposant directement sur le loëss. En termes de chronologie archéologique, ces âges nous situent entre 3810 BC et 760 BC, soit du Néolithique récent jusqu'à la fin de l'Âge du Bronze ou le début du premier Age du Fer (Lefranc, 2009). Cette première grande phase de colluvionnement est très certainement à mettre en lien avec la mise en culture du territoire dès le début du Néolithique (Mackel *et al.*, 2003). Elle pourrait avoir été initiée par un groupe appartenant à la culture du Michelsberg, bien présente dans la zone. Celle-ci a pu procéder à un défrichement important de la zone, conduisant à une forte érosion sur les matériaux loëssiques. Le début de cette phase est conforme aux schémas de l'occupation des sols au Néolithique. En effet, même si le type d'utilisation du milieu au Néolithique ancien (Rubané) est encore très discuté (Van der Zanden, 2013 ; Kreuz, 2008 ; Kreuz *et al.*, 2005 ; Bogaard, 2004 ; Bogaard, 2005 ; Boogard *et al.*, 2005 ; Ebersbach et Schade, 2004), il semble bien que l'élevage était prépondérant (peut-être sous forêt) et que l'agriculture, pratiquée sans araire, avec des moyens très rudimentaires, était peu érosive. Ce n'est qu'à partir du Néolithique moyen que les défrichements plus systématiques, joints à l'utilisation de l'araire, ont abouti à de l'érosion.

Par ailleurs, si l'on considère que les colluvions ont commencé à s'accumuler derrière la haie supérieure dès son érection, l'âge de 2710 ± 200 BP permet de dater directement la mise en place de cette haie et le début de la formation du rideau de culture qui lui est lié (figure 8.45B et C). La haie aurait donc été mise en place à la toute fin de l'Age du Bronze ou dès le début du premier Age du Fer (Hallstatt). A notre connaissance, c'est la première fois qu'une haie et le rideau de culture qui lui est lié ont pu être datés directement, tout au moins en Alsace. En Bretagne, Gebhardt *et al.* (2007) estiment que des haies sur talus sont présentes depuis le deuxième Age du Fer au moins, mais ces âges sont déduits de l'analyse palynologique et anthracologique. L'âge obtenu ici est relativement élevé, mais il est en cohérence avec les découvertes archéologiques : le secteur de Habsheim a en effet livré des vestiges de la fin du Bronze et d'abondants témoignages d'habitats Hallstatt, notamment des premières phases de cette époque (Zehner, 1998 ; Wolf, 1996 a et b, 1985, 1979 a et b, 1973 a et b). L'installation de cette haie vers 2700 BP change le régime érosif : désormais l'érosion fonctionne par tronçons. Dans un premier temps, selon toute vraisemblance, deux zones peuvent être distinguées : une zone amont, correspondant au tronçon 1 et une zone aval (correspondant aux actuels tronçons 2 et 3) (figure 8.45B et C). La profondeur d'enfouissement des colluvions datées de 2710 ans, 88 cm de profondeur, laisse supposer qu'elles sont actuellement peu bioturbées. Un éventuel rajeunissement de l'âge réel du dépôt pourrait être lié à une faible vitesse d'enfouissement des colluvions à l'origine. Il est donc difficile de préciser si l'implantation de la haie est liée à une population de la fin de l'Age du Bronze (rajeunissement

éventuel) ou du tout début du 1^{er} Age du Fer (absence de rajeunissement). Quoi qu'il en soit, ces périodes marquent un changement dans l'occupation du sol, avec l'établissement de premiers parcellaires matérialisés par des limites pérennes. Il est clair que la formation du rideau de culture par exhaussement de la haie a contribué à fixer durablement (jusqu'à nos jours) les limites spatiales du parcellaire.

Les autres haies et rideaux de culture sont plus récents, médiévaux selon les âges OSL (figure 8.45D). Si, comme on l'a vu, la date obtenue à la base du BT colluvionné du profil HABS 06 caractérise la première phase, celle obtenue à la base de l'horizon S développé dans des colluvions carbonatées, semble indiquer que la haie n° 2 date de 1370 ± 100 ans, soit d'environ 580 A.D., c'est-à-dire du Haut Moyen Age. Les deux autres âges, obtenus sur HABS 08 (996 ± 830) = 954 A.D.) et HABS 09 (1060 ± 160 = 890 A.D.) appartiennent également à l'époque altomédiévale. Il est difficile de préciser si les écarts entre la première date et les deux autres proviennent d'un étalement de cette phase érosive sur plusieurs siècles, ou d'un éventuel rajeunissement des deux dernières par l'activité faunistique des sols. En effet, les échantillons prélevés sont situés à une profondeur moindre (environ 60 cm) que la première (80 cm), et une proportion plus grande de grains est donc susceptible d'avoir été brassée par la méso- et macrofaune du sol. Quoiqu'il en soit, ces trois dates sont compatibles avec une extension ou une reprise des activités agricoles, en relation avec la fixation définitive du village de Habsheim, cité dès 758 A.D. sous le nom de Habuhinasheim (Stoffel, 1868). Il serait toutefois prudent de considérer que ces âges représentent les âges minima des haies 2 et 3. Par ailleurs, l'enfouissement des colluvions n'a pas forcément été très rapide : si le colluvionnement a été diffus et non pas brutal, le matériau colluvionné n'a été enfoui que progressivement, ce qui est une autre source de rajeunissement possible des âges. Ces points seraient donc à préciser à l'avenir, en effectuant des datations OSL par la méthode grain par grain – ce qui n'a pas été possible dans le cadre de notre étude.

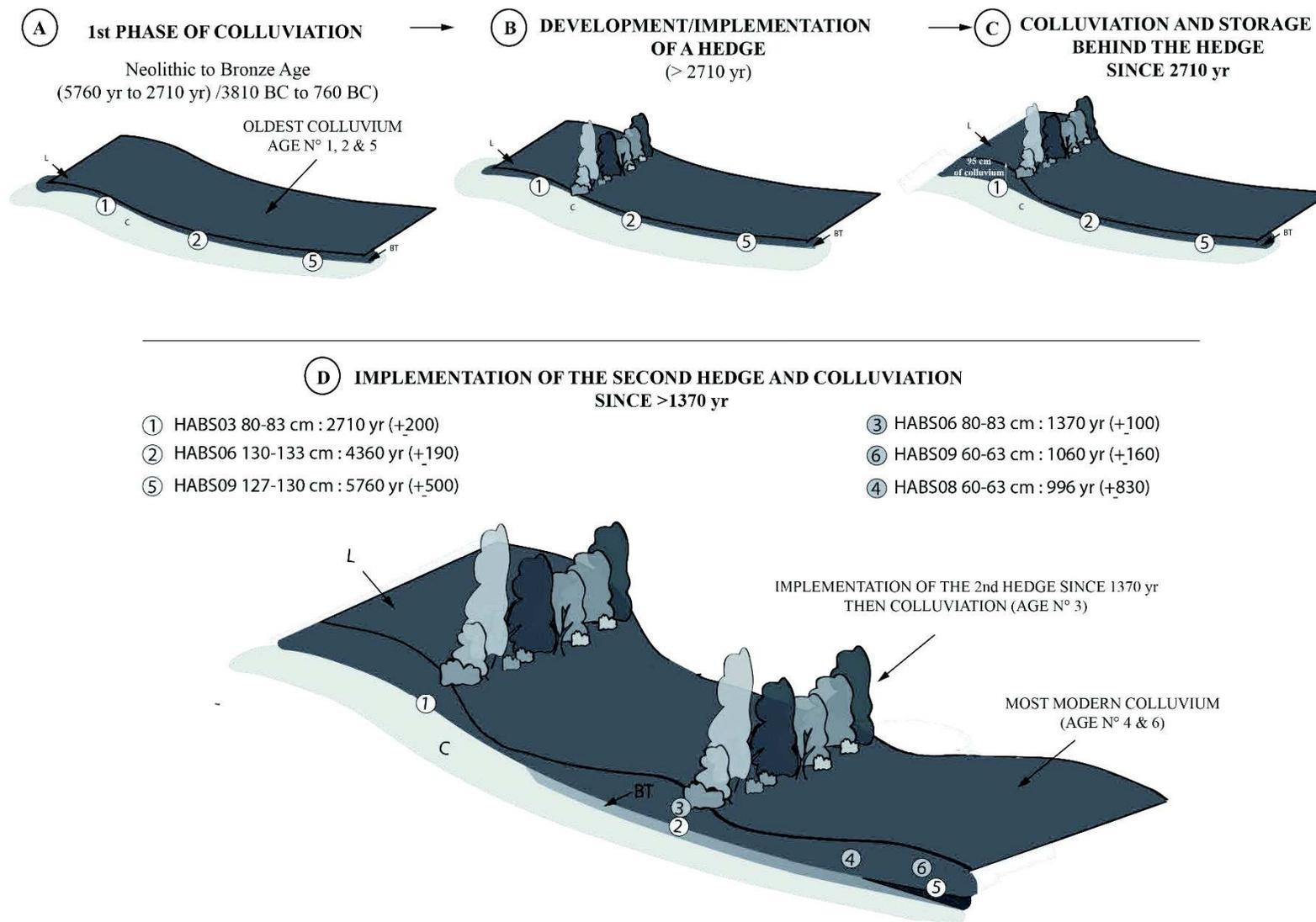


Figure 8.35 : Scénario d'établissement de la toposéquence d'Habsheim ; Repris de Froehlicher et al., 2016

8.5.2. Datations de la MOS de la fosse HABS 03 : confrontation avec l'âge OSL

À la même profondeur de 85 cm (correspondant à la base des colluvions) que le prélèvement pour la datation OSL, un échantillon de sol a été prélevé pour datation ^{14}C sur la MOS. Le résultat de cette datation donne un âge de 1870 ± 30 BP (Poz-73579). Comme précisé dans le chapitre matériel et méthode, la datation ^{14}C de la MOS peut selon le cas donner le TMR de la matière organique (sols biologiquement actifs) ou l'âge de l'enfouissement des MOS additionné du TMR au moment de l'enfouissement (paléosols bien fossilisés). La comparaison entre l'âge OSL du matériau (2710 ans) et l'âge ^{14}C de la matière organique des colluvions (1870 ans) montre que ces colluvions ne sont pas totalement fossilisées, et qu'une certaine activité biologique renouvelle partiellement la MO. Cette datation permet toutefois d'affirmer que les colluvions ont *au moins* 1800 ans, ce qui valide a fortiori la datation OSL. L'âge élevé obtenu par OSL ne résulte pas d'une remise à zéro en partie défailante du compteur suite à un transport et un enfouissement rapide.

8.5.3 Datations OSL des colluvions de la toposéquence d'Uffheim

Deux âges OSL ont été mesurés sur le profil UFF 03, au niveau de la zone d'accumulation des colluvions, à 65 et à 95 cm de profondeur. Les résultats de ces datations montrent un âge plus vieux en surface qu'en profondeur (figure 8.46). Les raisons de cette aberration chronologique est très certainement à mettre en lien avec le mode de dépôts de ces colluvions. Le premier âge mesuré de 3270 ± 380 BP correspond à une phase de colluvionnement de l'Age du Bronze. Le second âge de 12200 ± 710 BP, à la base du niveau de colluvions supérieur, est quant à lui largement surestimé. Il constitue sans aucun doute le signal d'un mode de mise en place des matériaux caractérisé non pas par du colluvionnement diffus, mais par des processus de coulées boueuses relativement massives, qui n'ont pas permis la remise à zéro de tous les grains de quartz et de feldspath. Un tel phénomène avait déjà été observé à Gottesheim, où un âge OSL de 20000 ans (c'est-à-dire l'âge probable des dépôts du loess initial) caractérisait les matériaux déposés au-dessus des labours néolithiques (Schwartz *et al.*, 2009). La datation archéologique par les fragments du vase tripode du XVII^{ème} siècle environ donnerait plutôt un âge postmédiéval (moderne, au le sens donné à ce mot par les historiens) aux colluvions supérieures.

Il convient de revenir sur la datation de 3270 ± 380 BP des colluvions inférieures. En premier lieu, ces colluvions sont au contact direct du loess. Le luvisol initial était donc complètement tronqué avant cette date. D'autre part, avec le même raisonnement que celui tenu à Habsheim, il semble bien ici que cet âge est celui de l'installation d'une haie qui a initié la formation du rideau de culture. Ici, même compte-tenu d'un intervalle de confiance relativement large, c'est bien de l'Age du Bronze que daterait ce phénomène. Notons d'ailleurs que les âges de 2710 (HABS) et 3280 (UFF) BP ne sont pas statistiquement différents si on prend en compte les intervalles de confiance respectifs (200 et 380 ans). D'un point de vue archéologique, aucun vestige du Bronze n'a été découvert à Uffheim. En revanche, les habitats néolithiques et du Bronze moyen et final sont assez nombreux à Sierentz, village équidistant à notre site par rapport à Uffheim (Zehner, 1998). Il y a, ici aussi comme à Habsheim, cohérence entre les datations OSL des colluvions et la présence de communautés d'agriculteurs révélée par l'archéologie.

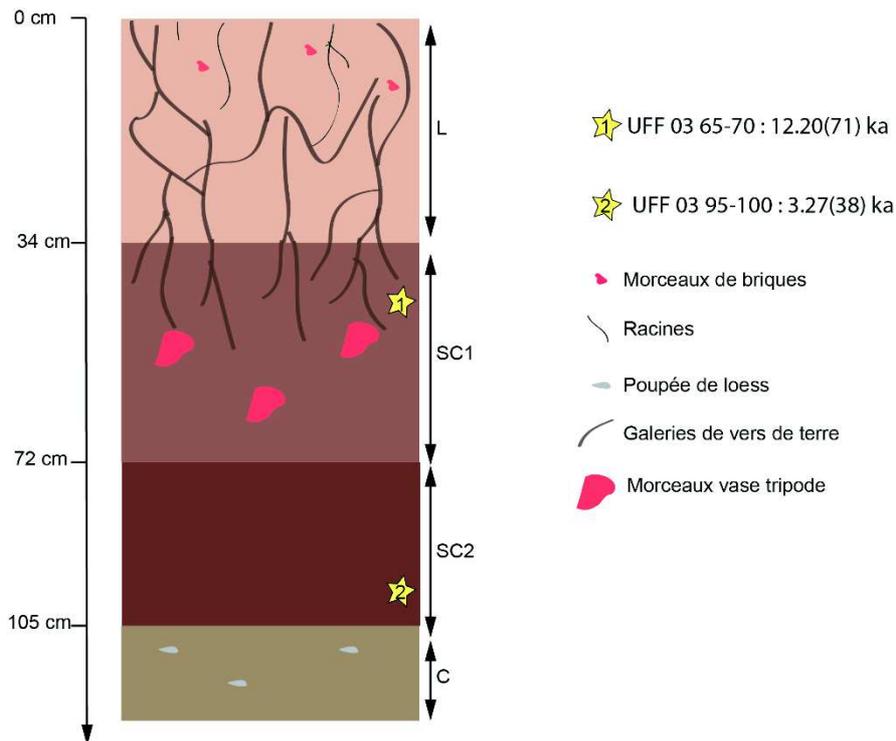


Figure 8.36 : Résultat des datations OSL de la toposéquence d'Uffheim ; Source : Lucie Froehlicher

8.5.4 Calage chronologique et datation de rideaux de culture dans le secteur de Marmoutier (67/Alsace) : datation d'un paléosol

L'objectif poursuivi ici était de dater l'enfouissement du paléosol conservé sous un murger appuyé contre un rideau de culture. L'âge obtenu donne l'âge minimum du rideau. A cet effet, une datation ^{14}C a été faite sur la matière organique de l'horizon A du paléosol, mis au jour après dégagement des pierres constituant le murger. L'âge mesuré brut est de 220 ± 30 BP (figure 8.47). Il n'est pas possible d'utiliser les courbes de calibration ^{14}C sur les matières organiques pédologiques, car celles-ci sont par essence hétérochrones. Compte-tenu que le temps moyen de résidence des MO des horizons de surface des sols est de l'ordre de 50 ans, l'âge de l'enfouissement de ce paléosol serait de l'ordre de 200 ans sous le murger. Des âges aussi jeunes dénotent dans le contexte connu de ces structures (Schwartz *et al.*, 2012). Il est vraisemblable en fait que l'amoncellement de pierres du murger, sans matrice fine, n'a pas permis une bonne fossilisation du paléosol et que l'âge mesuré soit un âge rajeuni par l'incorporation de matières organiques jeunes, voire actuelles. Quoiqu'il en soit, cet âge n'apporte aucun élément nouveau de datation des rideaux de culture, par rapport aux âges obtenus pour les rideaux de Habsheim et Uffheim, ou même par rapport à la datation relative donnée par les champs bombés (X^{ème} – XV^{ème} siècles) présents entre les murgers à Marmoutier.

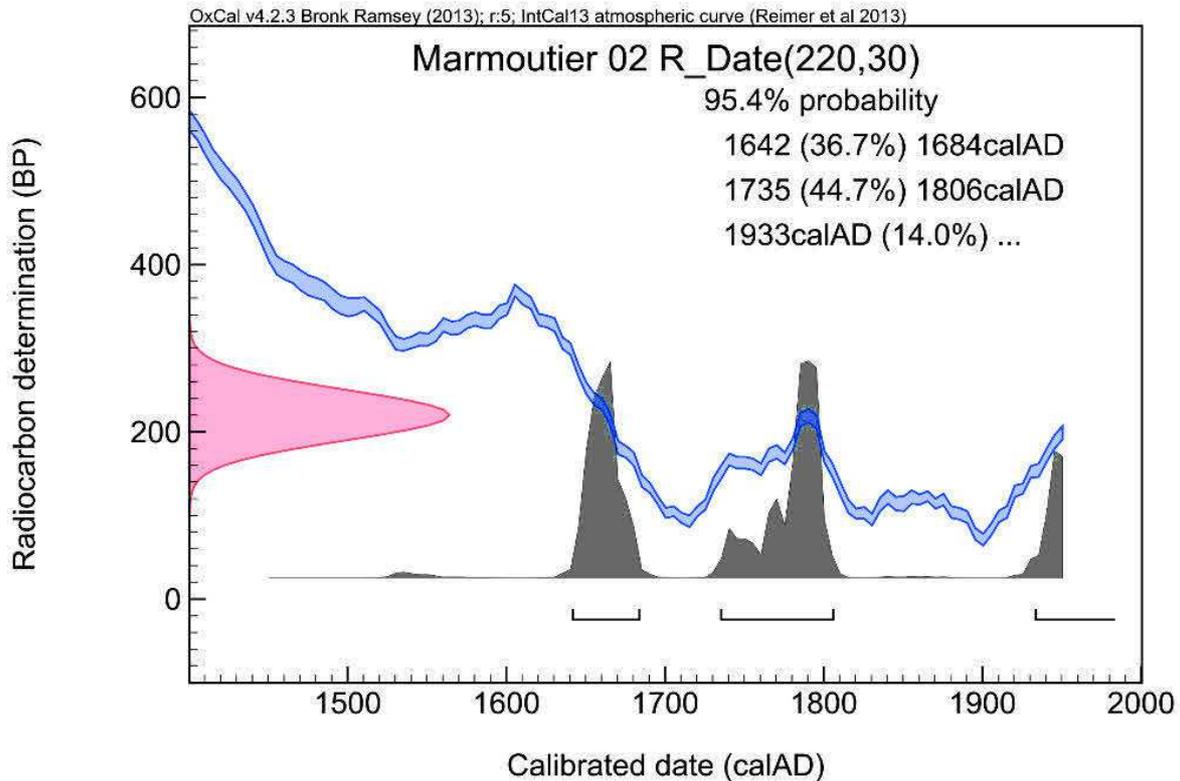


Figure 8.47 : Résultat de la datation ^{14}C du paléosol de Marmoutier ; Source : Lucie Froehlicher

8.5.5 Datations ^{14}C du paléosol HABSREF (référence prairie)

Le paléosol présent à 110 cm sous HABSREF (voir 8.1.1.1.) a fait l'objet d'une datation ^{14}C . C'est la matière organique de l'horizon IIA qui a été datée. L'âge obtenu est de 1415 ± 30 BP (Poz-73578). Ainsi que nous l'avons expliqué plus haut, il n'est pas possible de calibrer cet âge en raison de l'hétérochronie des MO. Compte tenu du fait qu'au moment de l'enfouissement, les MO de l'horizon A avaient un TMR de l'ordre de 50 ans, l'âge de l'enfouissement (non calibré) est de l'ordre de 1365 BP, sauf pollution éventuelle par des matières organiques récentes. Toutefois, compte-tenu de l'épaisseur du recouvrement (110 cm) et de sa nature, les risques de rajeunissement sont très limités. Cet âge nous renvoie au tout début du Haut Moyen Age. Il est plus élevé que les âges OSL obtenus pour l'époque médiévale sur la toposéquence HABS, mais s'inscrit peut-être dans la même phase d'érosion.

8.5. Conclusion partielle sur les données chronologiques

Malgré quelques incertitudes sur les âges OSL, les résultats présentés ici permettent d'aboutir à des conclusions importantes. En premier lieu, les âges mesurés, conjugués à la très importante ablation des luvisols, révélée aussi bien à Habsheim qu'à Uffheim démontrent que l'érosion a été intense dès les débuts de l'agriculture au Néolithique. A notre connaissance, c'est une des premières fois que cela peut être montré directement sur le champ même. En

Alsace, l'intensité de l'érosion dans les zones loessiques a souvent été déduite de la taphonomie des gisements archéologiques : nombreuses sont les structures partiellement tronquées. Mais la troncature étant forcément postérieure à l'établissement de la structure, les datations sont très relatives, sous forme d'un terminus *post quem*. Quelques études font toutefois exception. Ainsi, à Gottesheim, Schwartz *et al.* (2009) décrivent directement dans le loess des labours matérialisés par des alignements de poupées de loess. Le matériau colluvial qui les recouvre a été transformé en luvisol, ce qui témoigne de leur ancienneté. A l'époque de cette publication, aucune datation plus précise n'était disponible. Un âge ^{14}C minimum de 5700 BP (Schwartz, communication orale) a été obtenu depuis sur les revêtements argilo-organique du BT. L'étude micromorphologique de ce site montre que le matériau colluvionné au-dessus des labours néolithiques contient, outre les revêtements argileux en place liés à la formation du luvisol qui les recouvre actuellement, des fragments de revêtements complètement désorganisés, vestiges des luvisols qui recouvraient l'ensemble du versant et qui ont été entièrement érodés, ce que montre aussi le fait que les labours ont été effectués directement dans le loess. Les résultats obtenus à Habsheim et à Gottesheim sont en fait deux facettes d'une même réalité. Dans le même ordre d'idées, des résultats obtenus sur des stratigraphies de fonds de vallons dans les zones loessiques du Kochersberg par Ertlen *et al.* (2012, 2014) vont aussi dans le sens d'une érosion déjà très marquée au Néolithique.

On notera également que l'ensemble des âges OSL mesurés est cohérent avec l'état des connaissances archéologiques. En particulier, ceux obtenus à Habsheim se rapportent à des périodes bien représentées sur cette localité (Wolf, 1996 a et b, 1985, 1979 a et b, 1973 a et b).

Enfin, il a pu être montré qu'une partie des limites parcellaires actuelles était très ancienne : elles datent de la fin de l'Age du Bronze ou du début de l'Age du Fer. Outre le fait que c'est la première fois qu'il est possible de l'affirmer (au moins) en Alsace, ces âges peuvent étonner dans une région, où la plupart des limites sont souvent plus récentes. Ainsi, le parcellaire en lames de parquet ou touches de piano qui caractérise l'ensemble de la plaine d'Alsace est postérieur à la Guerre de Trente Ans (Boehler, 1995). Mais il est vrai que les rideaux de culture, par leurs caractéristiques physiques, à savoir la hauteur des talus et leur pente importante contribuent à fixer les limites parcellaires. Les supprimer est une contrainte importante en termes de temps de travail ou de coût. Dans certaines régions, comme le Kochersberg, beaucoup de ces talus ont été supprimés depuis les remembrements des années 1955, prélude à l'intensification de l'agriculture. Dans d'autres sous-régions, plus conservatrices, et marquées par une agriculture de doubles actifs comme le Sundgau, ces structures ont été davantage conservées, même si très localement des rideaux ont aussi été arasés (toposéquence CIG à Habsheim). En corollaire, l'histoire agraire ancienne y est mieux conservée dans les archives pédologiques.

8.6 Conclusion

L'ensemble des caractérisations pédologiques présentées ici (granulométrie, micromorphologie, teneurs en C_{org} , ...), associées aux différents calages chronologiques pour l'essentiel établis à partir des datations OSL, nous donne tous les éléments nécessaires pour calculer les stocks de terre colluvionnée et de C_{org} , et aborder ainsi l'étude des flux de matière et celle des bilans d'érosion à des échelles temporelles longues. Ces résultats sont détaillés dans le chapitre suivant.

Chapitre 9 : Le bilan de l'érosion agraire : stocks de terre et de C_{org} , flux de matière aux échelles de temps longues

Le fil conducteur du chapitre 9 est la présentation site par site du bilan de l'érosion agraire. Stocks de terre, puis stocks de colluvions et de carbone organique seront calculés à l'aide des mesures de densité apparente et de teneurs en C_{org} . Ainsi, nous présenterons en premier pour chaque sites les densités apparentes (da), puis les stocks de terre et enfin les stocks de carbone organique (C_{org}). Grâce aux données chronologiques, il sera également possible de calculer les flux moyens de matière sur les temps longs, multiséculaire, ce que l'expérimentation en parcelles d'érosion, par exemple, ne permet pas de faire.

Les stocks sont calculés par tranches de 10 cm (figure 9.1), en utilisant la formule expliquée au chapitre 3.3.3.2. Cette formule est légèrement simplifiée ici par l'absence d'éléments grossiers. Les stocks sont également présentés en valeur cumulée, de la surface du sol à une profondeur donnée et cela jusqu'à la base du sol.

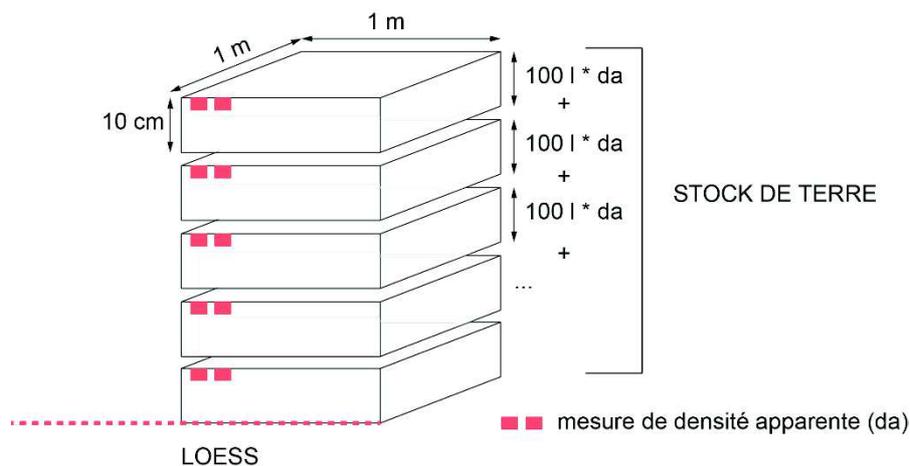


Figure 9.1 : Calcul du stock de terre ; Source : Lucie Froehlicher

9.1 Les sites de références

La référence ZOO Mulhouse est essentielle, car elle nous donne un « point 0 » des sols avant leur mise en culture et troncature. Pour la référence de sols de prairie (HABSREF), nous ne donnerons que le stock de carbone. Le stock de terre n'apporte en effet aucune information utilisable par la suite.

9.1.1 ZOO (Mulhouse/Référence sous forêt)

9.1.1.1 Mesures des densités apparentes (da) pour la référence sous forêt ZOO

En surface, la da est basse (environ 1). La da augmente très rapidement dès l'horizon E pour rester relativement constante jusqu'au loess. L'ensemble des valeurs varie entre 1,4 et 1,5 (figure 9.2).

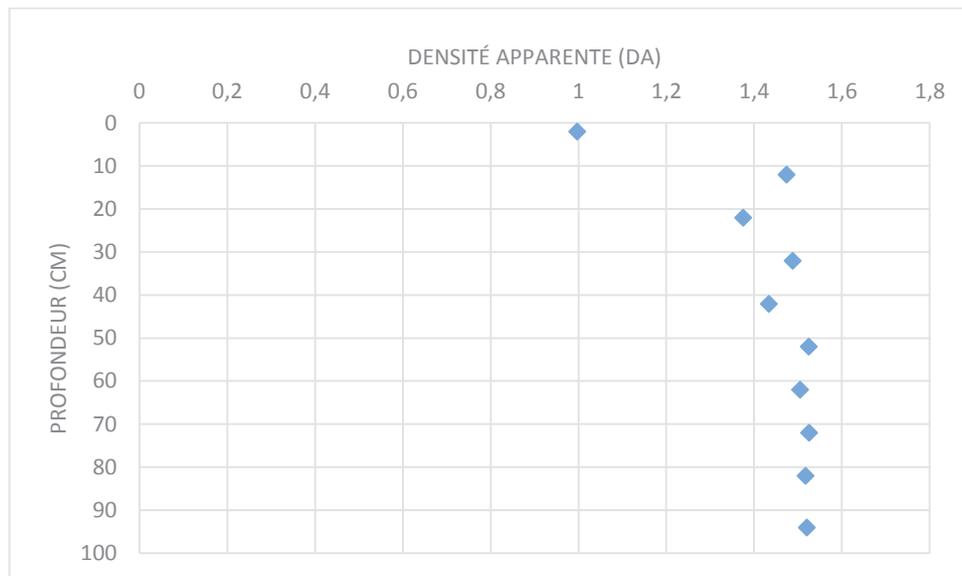


Figure 9.2 : Mesures de densité apparente pour la référence sous forêt ZOO ; Source : Lucie Froehlicher

9.1.1.2 Calcul des stocks de terre pour le site de référence sous forêt ZOO

Le stock de terre calculé est de 1360 kg/m² sur les 95 cm de sol au-dessus du loess. Ce stock constitue une référence de base d'un luvisol non érodé sous forêt. Il sera utilisé par la suite pour calculer l'intensité de la troncature des sols.

9.1.1.3 Estimation des flux d'érosion aux époques préhistoriques

Ce stock de terre de 1360 kg/m² va nous permettre de calculer des flux d'érosion aux époques préhistoriques. On se rappellera ici que le luvisol de la partie sommitale de la toposéquence HABS était déjà complètement tronquée dès 2700 BP : aucun matériau issu du BT ne se retrouve dans les colluvions stockées à l'amont du rideau de culture supérieur, dont la formation a débuté à cette date (voir chapitre 8). Les débuts de l'agriculture datant de 5700-5800 BP environ, cela signifie que la durée de l'ablation a été de 3000 ans au maximum. Si l'on prend cette durée de 3000 ans, un luvisol de 1360 kg de terre/m² complètement tronqué a perdu $1360/3000 = 0,453$ kg de terre/m²/an, soit 4,5 t/ha/an en moyenne.

Il convient de revenir sur ce chiffre. Tout d'abord, il s'agit d'un chiffre *minimal*, et cela pour deux raisons.

- Rien ne permet d'affirmer que la partie sommitale de la toposéquence HABS ait été cultivée en permanence pendant 3000 ans. Cette durée est la durée maximale de culture.
- Rien ne permet d'affirmer que la troncature ne concerne que le luvisol. Il est fort possible que le loëss lui-même ait subi une ablation partielle dès avant 2700 BP.

Il est également possible de comparer ce chiffre aux données de la littérature. D'une manière générale, il n'est pas toujours aisé de passer de l'échelle de la parcelle de mesure d'érosion à la réalité, car les parcelles d'érosion sont encloses latéralement et à l'amont, pour que les quantités de terre exportées puissent être rapportées à une surface connue (500 ou 1000 m² en général). Les bilans de perte en terre sont donc surévalués par rapport à la réalité, dans la mesure où les pertes par érosion ne peuvent pas être compensées par d'éventuels apports de l'amont. Dans notre cas, les fosses positionnées à l'amont de la toposéquence HABS sont dans une situation tout à fait comparable à celle qui prévaut dans les parcelles d'érosion, et la comparaison est tout à fait valide. Des pertes en terre de 4,5 t/ha/an sont très élevées, comparables à celles que l'on peut noter en agriculture intensive sous nos climats tempérés (Cerdan *et al.*, 2010). Ce résultat est tout à fait nouveau et remarquable. Il met l'accent sur la sensibilité des sols à l'érosion inhérente aux conditions de milieu plus que sur le rôle de la mécanisation et de l'agriculture intensive.

9.1.1.4 Stockage du C_{org} dans un luvisol de référence sous forêt : ZOO

Evolution du stock de carbone organique avec la profondeur tous les 10 cm pour le profil ZOO

Les stocks de C_{org} sont calculés à partir des teneurs en C_{org} mesurées par la méthode Walkley et Black et de la ρ_{da} , par tranches de 10 cm et en cumulé (figure 9.3). Sous l'horizon de surface, caractérisé de façon tout à fait normale par stock élevé (0,67 kg/m² sur les 10 premiers centimètres), le stock augmente d'environ 0,4 kg/m² par tranche de 10 cm jusqu'à 30 cm de profondeur, puis en moyenne de 0,17 kg/m² jusqu'à 90 cm. Dans le loëss, les valeurs sont de 0,13 kg/m² par tranche de 10 cm. Le stock cumulé est de 2,9 kg/m² sur une épaisseur totale de 117,5 cm.

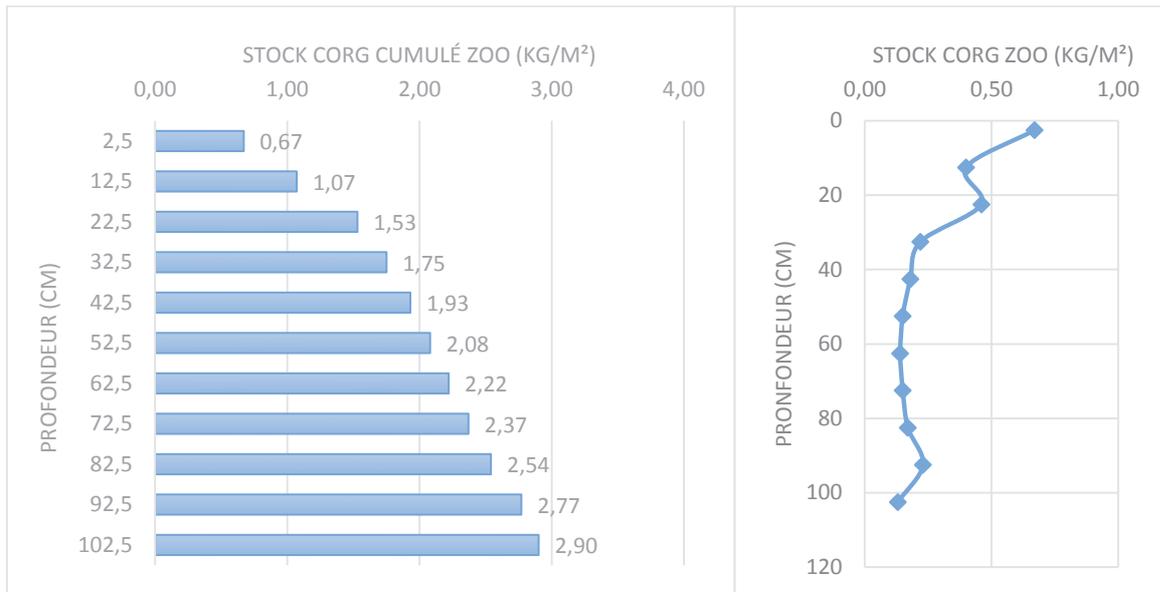


Figure 9.3 : Evolution des stocks de Corg cumulé et Corg pour la fosse ZOO ; Source : Lucie Froehlicher

Evolution du stock de carbone organique par horizon pour le profil ZOO

Un travail similaire de calcul des stocks est effectué en cumulant par type d'horizon (figure 9.4). Les stocks sont respectivement de 0,9 kg/m² (pour l'horizon A), de 1,12 kg/m² (E), 0,83 kg/m² (BT) et 0,26 kg/m² (C, jusqu'à 115 cm). La somme des stocks en C_{org} est de 3,09 kg/m² avec l'horizon C pour une épaisseur totale de 115 cm et de 2,85 kg/m² sans l'horizon C. S'il existe dans la littérature de nombreuses données sur les teneurs en C_{org} des sols limoneux, très peu de données sont disponibles pour les stocks, en particulier pour les horizons autres que les horizons de labour. En fait, compte-tenu en plus de la disparité des méthodes de calcul, il est quasiment impossible de comparer nos résultats au peu de données trouvées dans la littérature. Ainsi, nous partirons du postulat que le luvisol de référence ZOO et les stocks qui lui sont associés sont représentatifs des sols en place développés dans les mêmes conditions à l'échelle régionale.

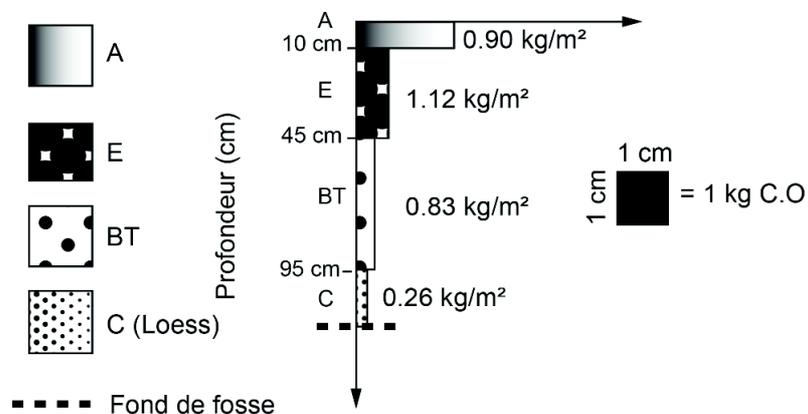


Figure 9.37 : Stock de Corg par horizon pour la fosse ZOO ; Source : Lucie Froehlicher

9.1.2 HABSREF (Habsheim/Référence sous prairie)

9.1.2.1 Mesures de densités apparentes pour le profil HABSREF

Les densités apparentes ont des valeurs similaires à celles du profil ZOO (figure 9.5). En surface, la da est proche de 1, puis elles augmentent jusqu'à 25 cm pour atteindre un équilibre entre 1,4 et 1,5 jusqu'au fond de la fosse.

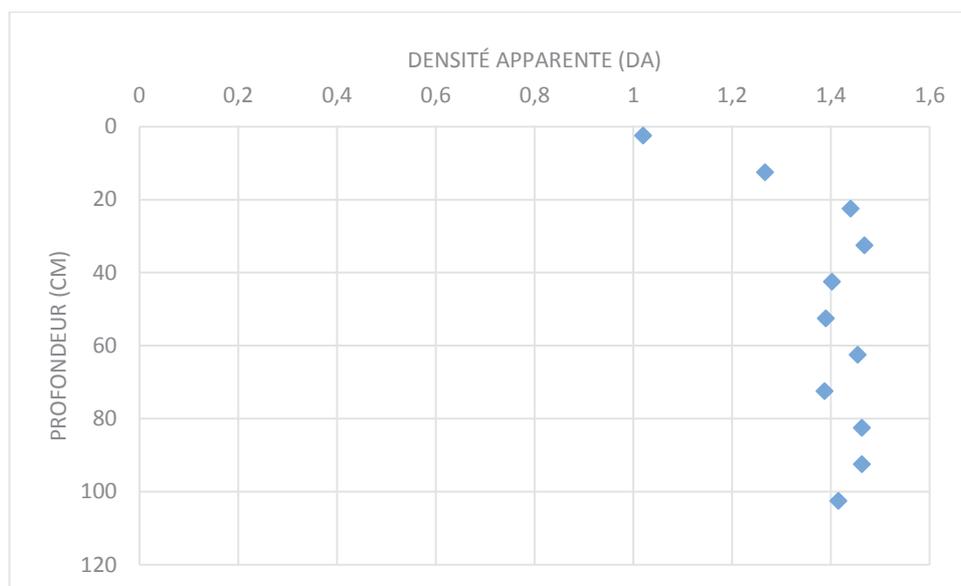


Figure 9.5 : Variation des densités apparentes avec la profondeur, profil HABSREF; Source : Lucie Froehlicher

9.1.2.2 Stockage du C_{org} dans un sol loëssique de référence sous prairie : HABSREF

Comme pour le profil ZOO, on donnera les stocks cumulés par tranche de 10 cm sur 1m², puis en fonction des horizons.

Evolution du stock de carbone organique avec la profondeur par tranche de 10 cm

Par tranches de 10 cm, les stocks de C_{org} augmentent de façon assez importante au début puis plus faiblement en profondeur (figure 9.6). Plus précisément, les stocks les plus importants concernent les trois premières tranches de sol jusqu'à 30 cm de profondeur, avec des valeurs respectives de 0,87 kg/m², 0,8 kg/m² et 0,51 kg/m². Puis, ils se stabilisent autour de 0,3 kg/m² jusqu'à 65 cm. A partir de 70 cm les stocks diminuent à 0,2 kg/m² jusqu'au paléosol à 115 cm. Le stock total cumulé pour ce profil est de 4,59 kg/m².

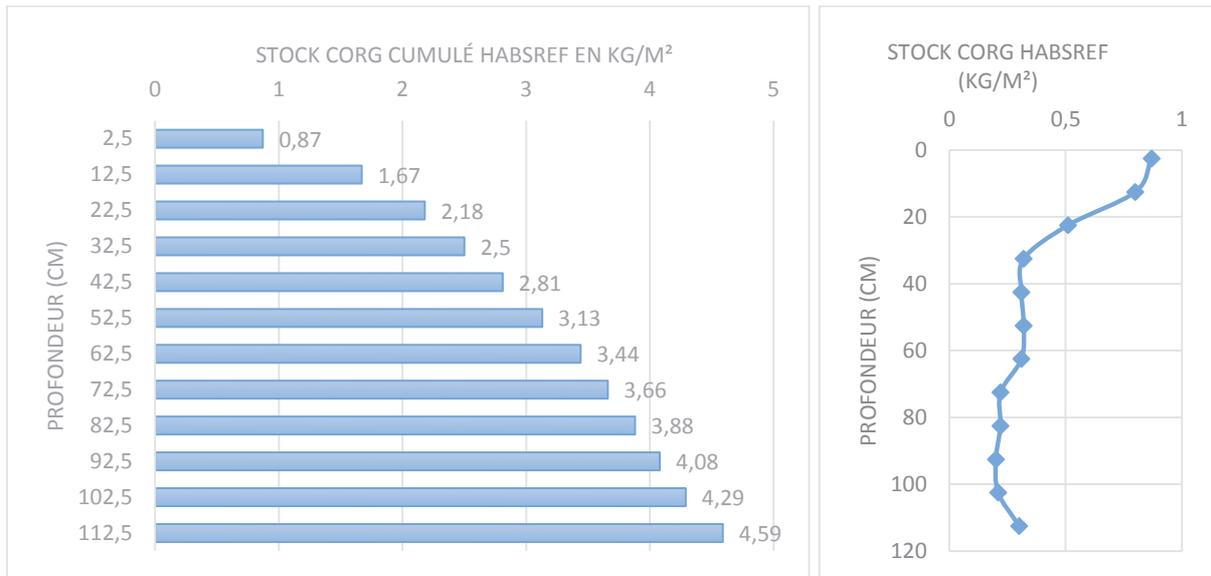


Figure 9.6 : Evolution des stocks de Corg cumulé et de Corg pour le profil HABSREF ; Source : Lucie Froehlicher

Evolution du stock de carbone organique par horizon pour le profil HABSREF

Pour le calcul des stocks de C_{org} par horizon, la répartition des stocks se fait sur trois horizons : A, SC et C avec des stocks respectifs de $1,87 \text{ kg/m}^2$, $2,55 \text{ kg/m}^2$ et $0,59 \text{ kg/m}^2$ (figure 9.7). Le stock du paléosol n'a pas été évalué.

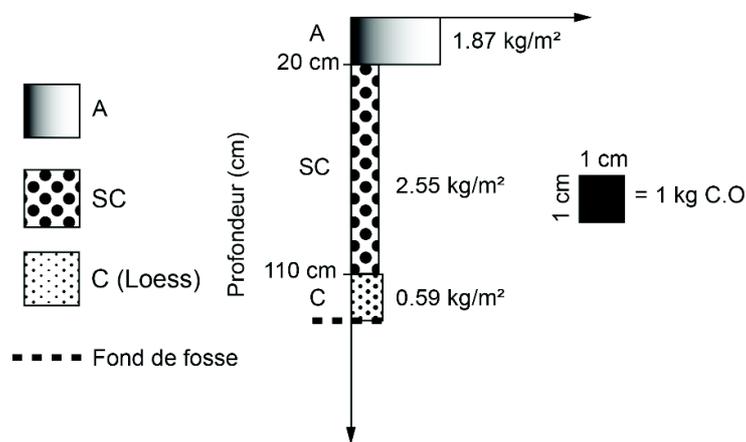


Figure 9.7 : Stock de Corg par horizons pour le profil HABSREF ; Source : Lucie Froehlicher

9.2 La toposéquence d'Habsheim « HABS »

9.2.1 Mesures de densités apparentes sur la toposéquence HABS

Sur l'ensemble des fosses de la toposéquence « HABS », les da sont bien plus variables, avec même des ruptures nettes pour quelques profils. Ces ruptures correspondent très

généralement à des changements d'horizons (figure 9.8). Il est difficile d'établir une loi générale des variations de la d_a avec la profondeur, même au niveau de l'horizon. On le voit bien sur l'exemple des horizons de labour : dans certains cas, la d_a augmente avec la profondeur, dans d'autres cas elle est relativement constante. Il n'y a guère que dans le loess qu'elle reste à peu près constante, avec des valeurs de l'ordre de 1,2-1,3.

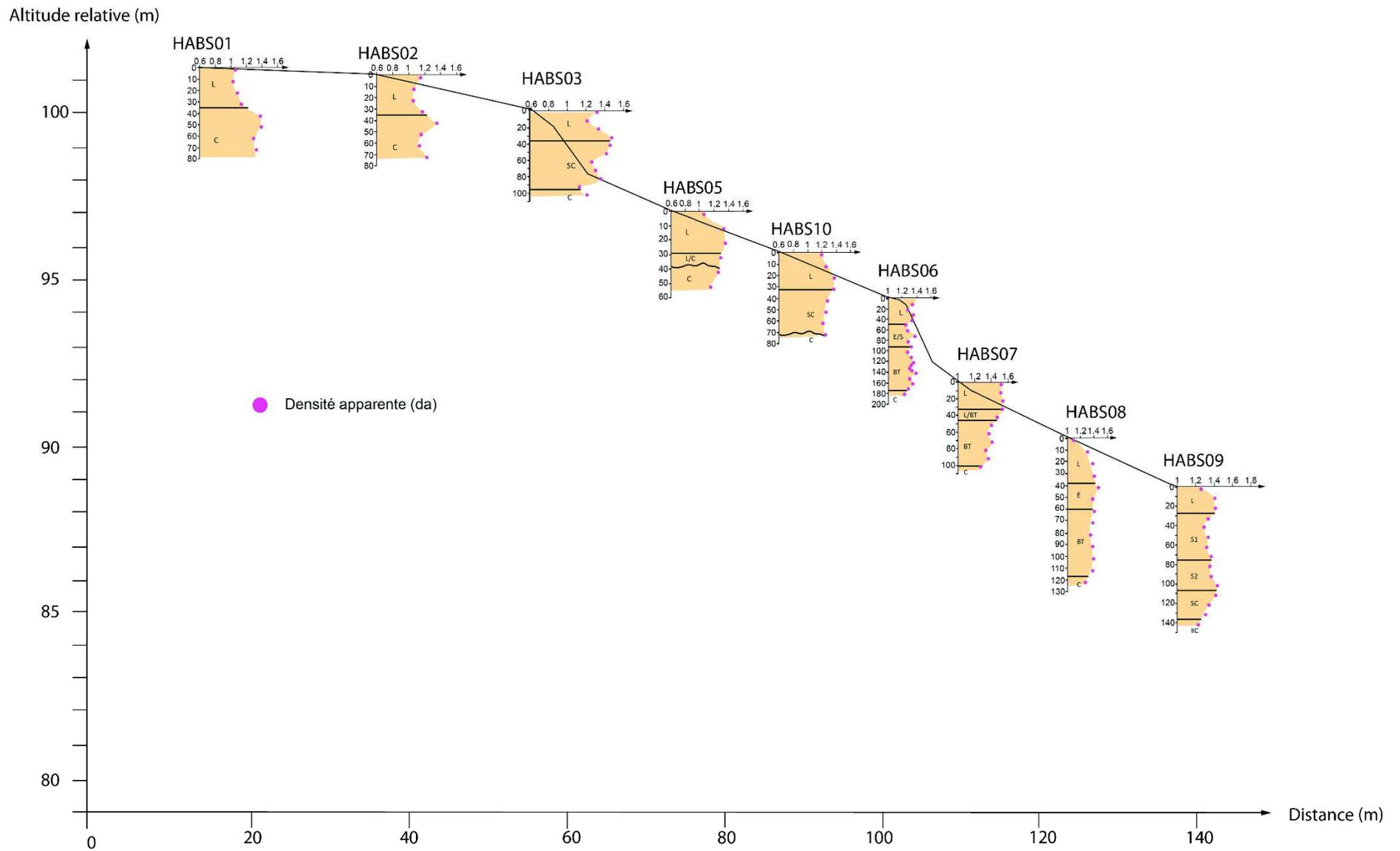


Figure 9.8 : Evolution des densités apparentes des profils de la toposéquence HABS ; Source : Lucie Froehlicher

Tronçon 1 : HABS 01, HABS 02 et HABS 03

Pour le profil HABS 01, on note une rupture vers 40 cm de profondeur. Les densités mesurées entre la surface et 40 cm se situent entre 1 et 1,2. A 40 cm, elles passent à 1,4 pour se stabiliser entre 1,3 et 1,4 ensuite. Cette rupture brutale s'explique par le passage de l'horizon de labour L au loëss (C1). Le graphique de l'évolution de la densité apparente pour HABS 02 est relativement semblable à celui de HABS 01, avec la même rupture à 40 cm. Les da relevées dans le loëss sont cependant un peu moins élevées, peut-être en raison de l'existence de nombreux terriers comblés. Pour HABS 03, le graphique montre une première rupture remarquable à 30 cm avec une densité apparente de 1,5. Cette rupture correspond sur la description de la coupe à un changement d'horizon (passage de L1 à L2, avec une semelle de labour marquée à 30 cm). Les da décroissent jusqu'à 80 cm avec des valeurs oscillants entre 1,3 et 1,4. Puis à 90 cm de profondeur, une nouvelle rupture est identifiée (avec des da comprises entre 1,15 et 1,2). Cette rupture correspond au passage au loëss.

Tronçon 2 : HABS 05, HABS 10 et HABS 06

Pour le profil HABS 05, la densité apparente de surface est assez faible pour la première mesure en comparaison aux autres valeurs du même horizon. Cette différence s'explique très probablement par la présence d'une fourmilière à cet emplacement précis, ou par les premiers effets de la transformation en prairie par les mesures MAET depuis 2011. La valeur mesurée est en effet identique à celle de la parcelle de référence prairiale (HABSREF) à la même profondeur. Pour le reste de l'horizon L, les mesures présentent des valeurs proches de 1,4, peu différentes de la plupart des valeurs des horizons de labour, ce qui suggère que les effets de la transformation en prairie ne se sont pas encore fait sentir. Dans l'horizon de transition (L/C) entre 25 et 36 cm, la valeur de la da décroît (1,3). Dans l'horizon C (après 36 cm), la valeur de la da continue à décroître pour atteindre à la base de la coupe une valeur légèrement inférieure à 1,2. Sur HABS 10, le profil des da présente deux ruptures bien distinctes caractérisées par les deux grands changements d'horizons. On note un pic à 32 cm de profondeur, c'est-à-dire à la limite de l'horizon L et de l'horizon de transition SC. Après une baisse régulière de 0,2 unités sur 40 cm, on enregistre une petite augmentation lors du passage de l'horizon SC au loëss. Comme pour HABS05 et HABS 10, le profil HABS06 présente en surface un décrochement de la première valeur. En effet, la première mesure révèle une valeur proche de 1,15 tandis que le reste des valeurs de l'horizon L sont très proches de 1,4. Les explications sont sans doute les mêmes que pour les deux sols précédents. Dans l'horizon S, les valeurs oscillent autour d'une valeur centrale de 1,4. Même constat dans l'horizon BT. Dans le dernier horizon (loëss), à 180 cm de profondeur, la valeur mesurée est semblable à toutes celles mesurées dans les horizons loëssiques : proche de 1,2.

Tronçon 3 : HABS 07, HABS 08 et HABS 09

La densité apparente de la fosse HABS 07 ne présente pas de réelle rupture comme pour HABS 1, 2 et 3. Les valeurs sont très stables de 0 à 30 cm (Horizon L), puis décroissent progressivement jusqu'à 1 m de profondeur. Pour HABS 08, la da est très stable sur

l'ensemble du profil, aux alentours de 1,4 après le franchissement de l'horizon de labour (32 cm) et cela jusqu'au loess à 120 cm de profondeur. En revanche, sur HABS 09 on observe plusieurs changements, à chaque fois à une limite d'horizon.

9.2.2 Calcul des stocks de terre pour la toposéquence HABS

Les stocks de terre des différents profils de la toposéquence HABS sont présentés sur la figure 9.9. Chaque stock est établi sur toute l'épaisseur du sol jusqu'à l'apparition du loess. La toposéquence est analysée tronçon par tronçon.

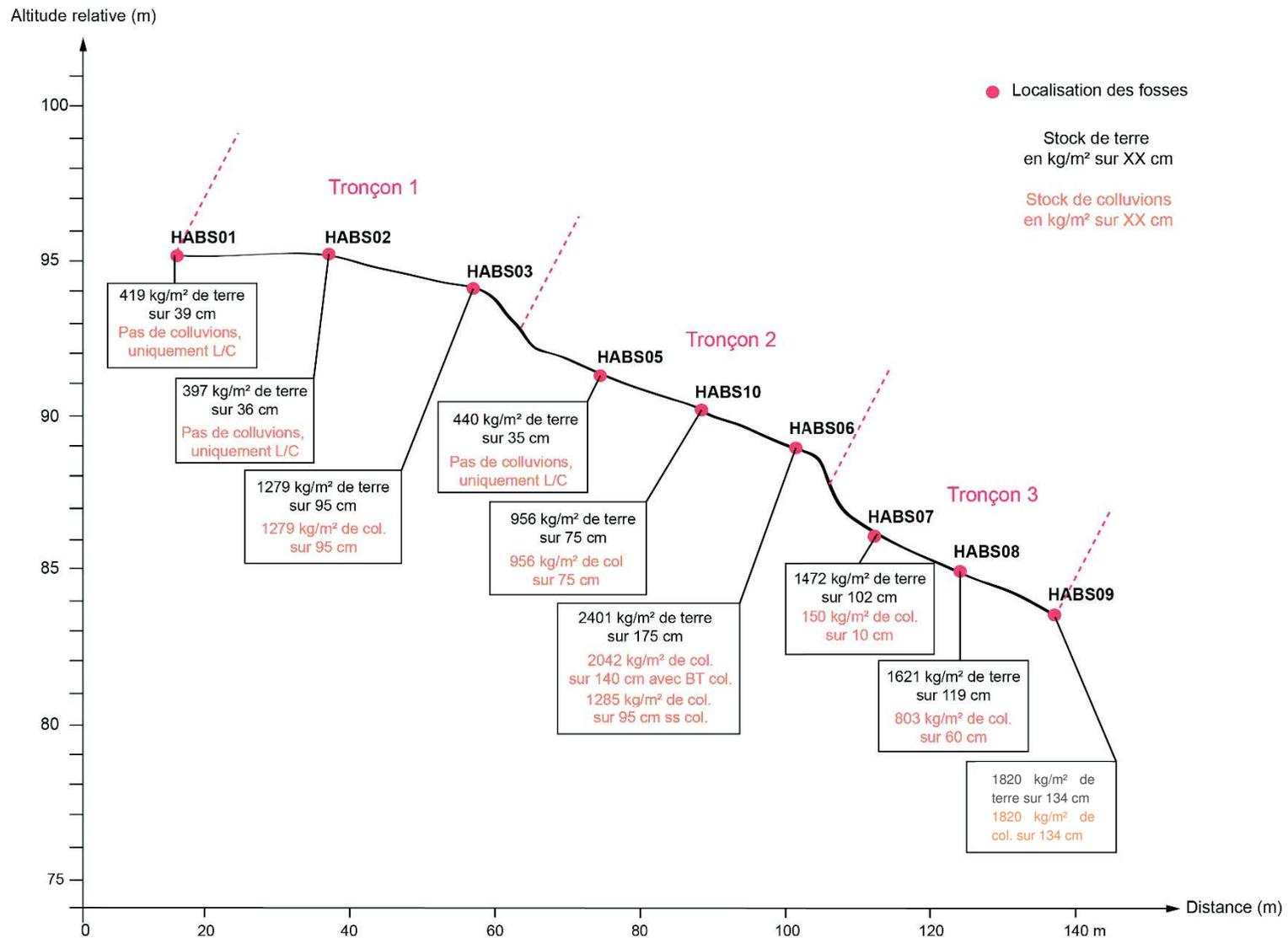


Figure 9.9 : Calcul des stocks de terres pour chaque fosse jusqu'à l'apparition du laess ; Source : Lucie Froehlicher.

Sur le tronçon n° 1 les stocks calculés pour HABS 01 et HABS 02 très proches, de l'ordre de 400 kg/m², pour une épaisseur de sol respective de 36 et 39 cm. A l'aval du tronçon 1, un stock de terre du triple est calculé pour HABS 03, soit 1279 kg/m² sur 95 cm. Ces différences énormes font apparaître le rôle primordial de l'implantation de la haie n°1 sous HABS 03 dans la répartition de ces stocks.

Sur le tronçon n°2, la fosse amont (HABS 05) à morphologie identique à celle de HABS 01 et HABS 02 présente un stock comparable, avec une valeur de 440 kg/m² sur une épaisseur qui est aussi similaire (35 cm). La fosse HABS 10 se caractérise par un stock de terre de plus du double de celui de HABS 05, de l'ordre de 956 kg/m² pour une épaisseur de 75 cm de sol. On note ici une différenciation majeure entre les tronçons 1 et 2 puisque le décrochement entre les fosses peu profondes et profondes est plus rapide. La dernière fosse à l'aval du tronçon 2, HABS 06, présente un stock de terre double à celui de HABS 03 sur une épaisseur de sol elle aussi doublé, avec une valeur de 2401 kg/m² sur 175 cm de sol.

Le tronçon 3 diffère des deux premiers, les stocks de terre étant déjà très importants en partie amont du tronçon avec des valeurs de l'ordre de 1472,5 kg/m² sur 102 cm de sol pour HABS 07, 1621 kg/m² sur 119 cm pour HABS 08 et un stock de 1820 kg/m² sur 134 cm pour HABS 09. Les raisons pour lesquelles le sol est aussi épais à l'amont du tronçon 3 sont sans doute à mettre en lien avec la morphologie de la toposéquence et avec l'activité érosive de la partie amont. Avant l'implantation des haies 1 et 2, l'activité érosive plus intense à l'amont de la toposéquence venait entraîner une accumulation des colluvions à l'aval de cette même toposéquence, au niveau de la concavité de la pente, en fin de l'actuel tronçon 2 et sur le tronçon 3. Par ces dépôts, les sols sont restés plus épais et ont même permis la préservation du BT que l'on sait en place au niveau de HABS 06 (BT partiellement en place), de HABS 07 et de HABS 08, témoins des sols originaux. Par ailleurs, en raison d'une ablation moderne à l'aval du tronçon 3, pour l'implantation d'habitats, nous ne pourrions pas mettre en lien le stock de terre avec l'implantation d'une haie sous HABS 09.

9.2.3 Calcul des stocks de colluvions pour la toposéquence d'Habsheim « HABS ».

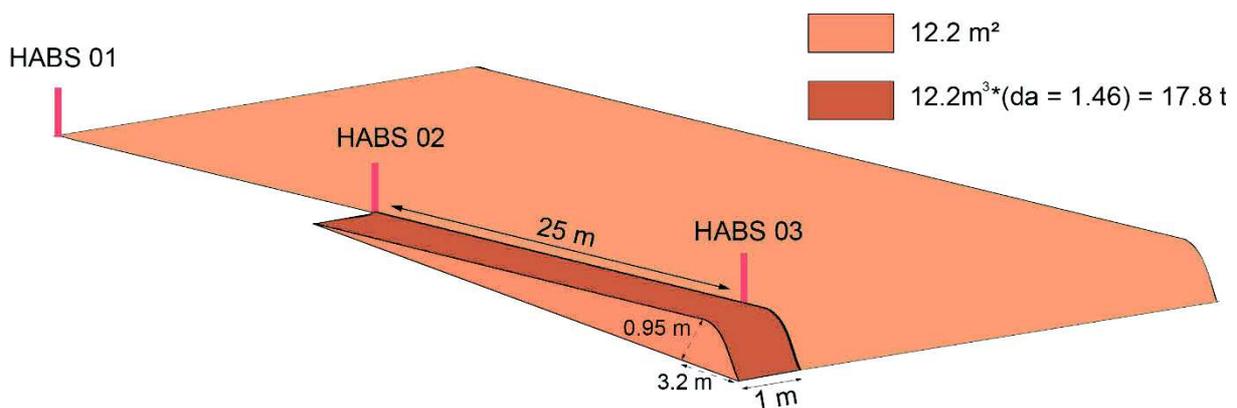
Pour le calcul du stock de colluvions, la méthode est la même que celle utilisée pour le calcul du stock de terre à la différence que seul les horizons colluviaux sont concernés (figure 9.9). Ainsi, pour les premières fosses des tronçons 1 et 2 (HABS 01 / HABS 02, HABS 05) il n'y a aucun stock de colluvions, puisque les horizons de labour L se sont développés à partir du loess en place. Lorsque le sol est entièrement développé dans des colluvions, stocks de terre et de colluvions sont identiques (HABS 03, HABS 10, et HABS 09). On note ici que pour ces fosses, l'horizon de labour L est comptabilisé dans les colluvions. Pour les fosses HABS 06, HABS 07 et HABS 08, on note de grandes différences entre les stocks de terres et de colluvions car elles possèdent des portions de sol en place (BT).

Avec les précédents calculs, nous avons une idée précise du stock de terres et de colluvions en kg/m² en fonction de la profondeur de la fosse. Néanmoins, cette information reste ponctuelle et ne permet de se rendre compte de ces volumes de terres et de colluvions à

l'échelle des parcelles. C'est pourquoi, pour plus de précision, nous allons calculer les stocks de colluvions retenus par les haies en mètres linéaires de haie.

Calcul du stock de colluvions retenu par les haies en mètre linéaire de haie pour la toposéquence d'Habsheim « HABS » : Le tronçon 1

Pour le premier tronçon, la zone de dépôt des colluvions démarre juste à l'aval de la fosse HABS 02. A partir des relevés topographiques précis effectués et des sondages à la tarière et fosses, il est possible de calculer la surface (en m²) de la tranche de colluvions (figure 9.10). Ainsi vue en coupe, la tranche a la forme approximative d'un triangle d'une superficie de 12,2 m². Sur un mètre linéaire de haie, cette surface devient un volume de 12,2m³. Pour transformer ce volume en stock de terre, il faut l'associer à la densité apparente moyenne du sol en question. Nous avons retenu la valeur de 1,46, moyenne de la da des colluvions sur le tronçon. On aboutit ainsi à un stock de 17,8 tonnes de colluvions accumulées par mètre linéaire de haie.



Quantification du potentiel de stockage de terre érodée pour le tronçon 1

Le calcul de la masse de colluvions stockées dans le rideau supérieur permet d'estimer la hauteur de sol érodé pour peu que l'on puisse estimer la surface de la zone d'ablation, ce qui est relativement facile sur ce tronçon. La zone d'ablation a la forme approximative d'un rectangle, limité d'un côté par la ligne de crête, du côté opposé par la zone de colluvionnement ; latéralement les limites importent peu, les petits côtés du rectangle étant orientés dans le sens de la plus grande pente. La grande longueur retenue est de 50 m environ, soit la longueur de la haie. La superficie de la zone d'ablation est du même ordre que celle de la zone de colluvionnement, 1120m² (figure 9.11).

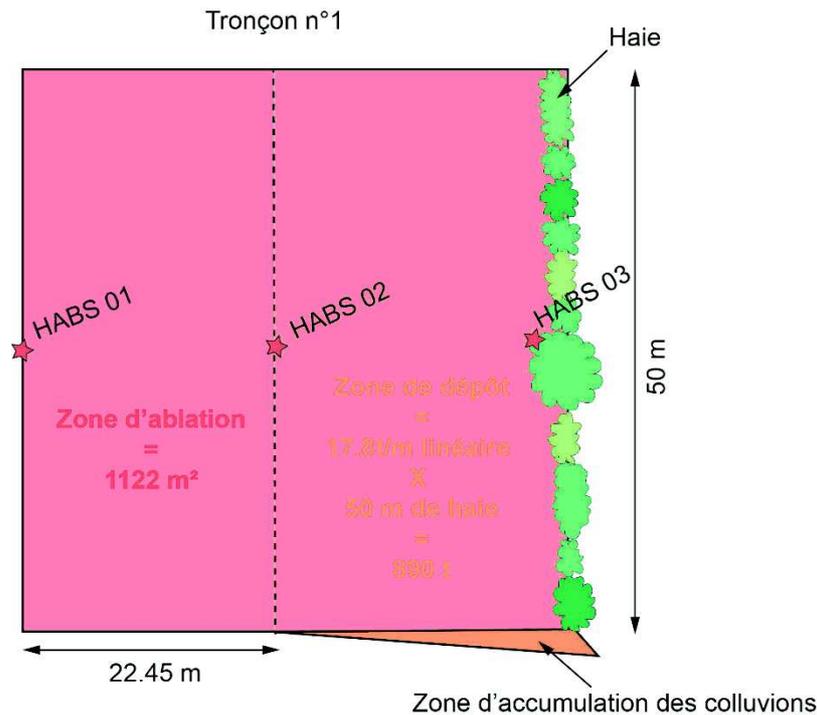


Figure 9.11 : Détermination de la zone d'ablation et de dépôt du tronçon 1 du site d'Habsheim ; Source : Lucie Froehlicher

Si l'on retient la longueur de 50 m de haies et un stockage de 17,8 tonnes de terre stockée par mètre linéaire de haie, le tonnage de terre stockée dans le rideau et à l'amont représente au total 890 tonnes. En retenant la densité apparente moyenne déjà utilisée de 1,46, ce tonnage correspond à un volume de 610 m³. En rapportant ces chiffres à la surface de la zone d'ablation, on obtient des valeurs de 793 kg/m², soit une épaisseur de 54 cm de sol. Ces chiffres peuvent être interprétés de plusieurs manières différentes :

- A titre comparatif, cela correspond à un peu plus de la moitié de la masse et de la hauteur du luvisol initial, complètement tronqué
- Dans la réalité, cela signifie que depuis la mise en place du rideau il y a 2700 ans, ce sont 54 cm de sol érodés qui ont été stockés sur place au lieu d'être accumulé en bas de pente ou être entraînés par les cours d'eau. En chiffres moyens annuels, la hauteur de terre érodée retenue est de 0,2 mm/an.
- Si, par approximation, on retient pour la période entre 2700 BP et nos jours le même taux d'érosion que celui calculé pour les époques préhistoriques (4,5 t/ha/an), l'efficacité de la haie en termes de rétention de terre érodée est légèrement supérieure à 50 % sur ce tronçon.

Le stock de colluvions (t/m de haie) sur le tronçon 2 de la toposéquence « HABS »

Le calcul du stock de colluvions pour le tronçon médian de la toposéquence (HABS 05, HABS 10 et HABS 06) se fait sur le même principe que ci-dessus (figures 9.12 et 9.13). Les deux haies limitant le tronçon étant grossièrement parallèles entre elles et perpendiculaires à la

penne, il est tout à fait justifié de travailler sur un rectangle incliné dans le sens de la plus grande penne. La zone d'accumulation des colluvions est comprise entre HABS 05 et la haie 2. La figure 9.12 présente les détails de la tranche de dépôt dont la superficie est estimée à 19,8 m², soit 19,8 m³ par mètre linéaire de haie. Avec une densité apparente moyenne de 1.46, ceci correspond à un stock de colluvions de 28,9 tonnes/m linéaire de haie.

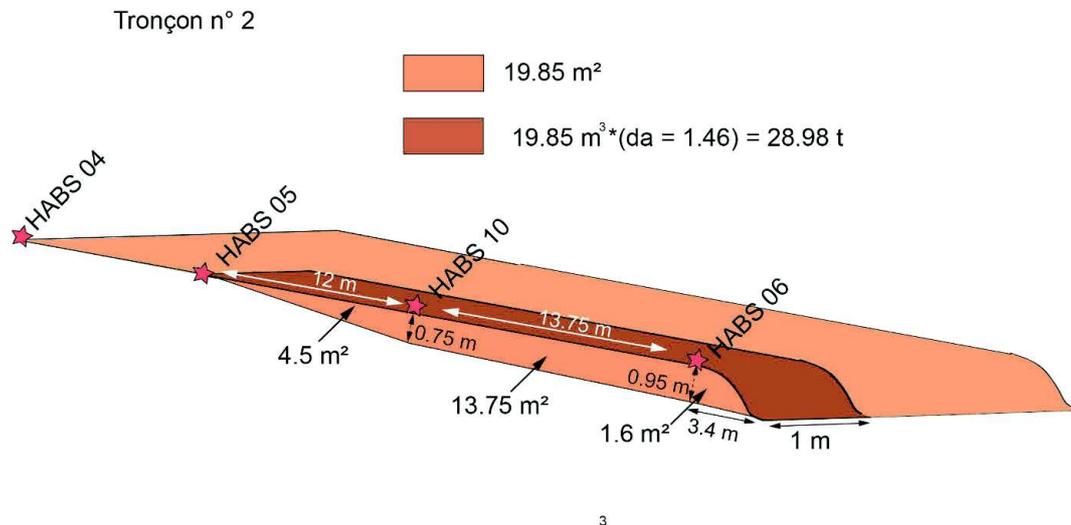


Figure 9.12 : Calcul de stock de colluvions pour le tronçon 2 du site d'Habsheim ; Source : Lucie Froehlicher

Estimation de la zone de départ et de la zone de dépôts des colluvions pour le tronçon 2

Les calculs sont effectués ici sur une largeur de 20 m, qui est celle de la haie n° 2. La superficie de la zone d'ablation est de 280 m² (figure 9.13). Sur les 20 m de longueur de la haie, le tonnage de colluvions stockées entre HABS 05 et la haie est de 578 t. Si ce tonnage provenait des 280 m² de la zone d'ablation, cela signifierait une érosion moyenne sur cette surface de 2,06 t/m², soit 141 cm de sol. Cette érosion se serait produite en 1370 ans environ, date estimée du début de formation du rideau de culture inférieur. Elle correspondrait à des taux d'érosion de 15 t/ha/an. Ni ces taux, ni la hauteur de l'ablation ne sont crédibles, ne serait-ce qu'en raison de la hauteur du rideau amont et de sa morphologie, incompatibles avec une ablation de 1,4 m de terre juste à son aval et de l'importance même des taux d'érosion qui sont équivalents avec les mesures expérimentales (Cerdan *et al.*, 2010). L'explication que nous proposons est qu'une partie de ces colluvions provient du tronçon supérieur. Nous avons noté qu'en termes d'efficacité, le rideau amont retenait un peu plus de 50 % de la terre érodée à l'amont. La haie se comporte donc comme un système semi-perméable, et une partie de la terre érodée sur le tronçon 1 traverse cette structure et vient se mêler aux colluvions issues de l'amont du tronçon 2, le tout s'accumulant à l'amont du rideau inférieur.

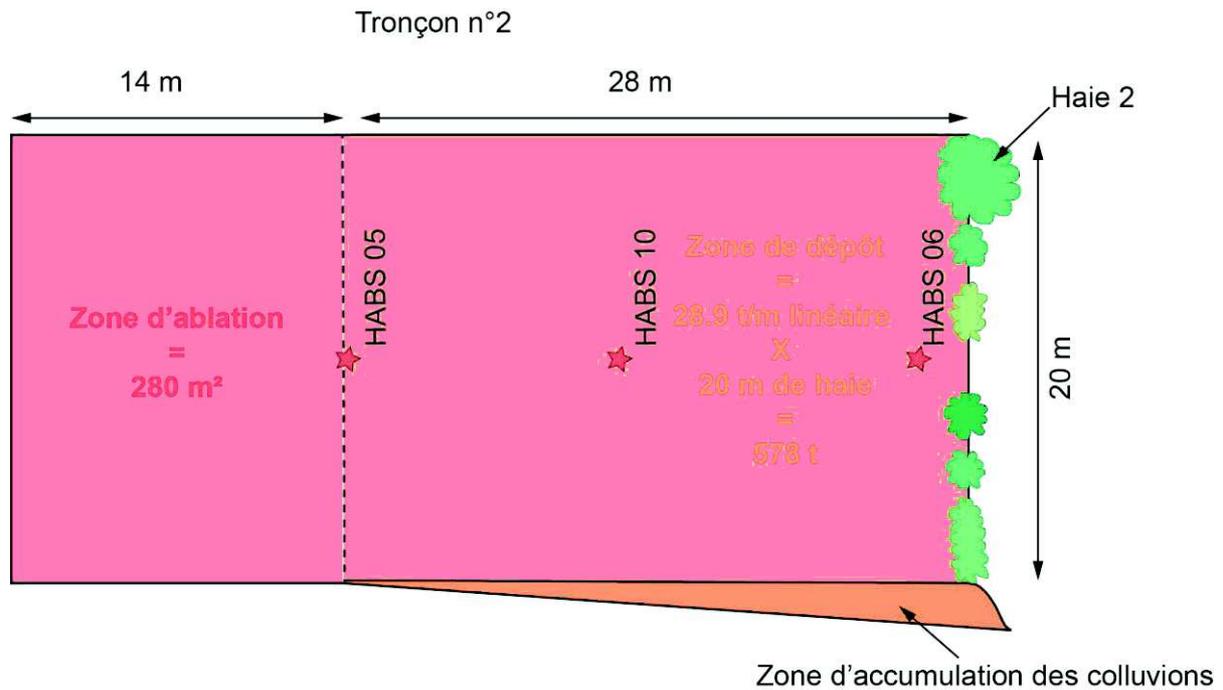


Figure 9.13 : Détermination de la zone d'ablation et de dépôt du tronçon 2 du site d'Habsheim ; Source : Lucie Froehlicher

Sur le tronçon n°3, où se situent les fosses HABS 07, HABS 08 et HABS 09, le calcul de stock de colluvions et l'estimation de la zone de départ et de dépôt est impossible, en raison du décaissement de la partie aval du tronçon lors de la construction du lotissement.

Conclusion sur le bilan de l'érosion et l'efficacité des haies sur la toposéquence HABS

Les calculs auxquels nous avons procédé illustrent trois points. D'une part, l'intensité de l'érosion est forte, voire surprenante, même sur des matériaux dont on connaît par ailleurs la forte érodibilité. Les taux d'érosion mesurés, aussi bien avant l'établissement des haies qu'ultérieurement, sont aussi importants que ceux mesurés en parcelles d'érosion dans les conditions de l'agriculture intensive. En second lieu, l'efficacité des haies comme système de stockage des colluvions – et frein à l'érosion – est clairement mise en évidence. Le tonnage de terre sédimentant à l'amont des haies est élevé, aussi bien en valeur absolue qu'en pourcentage (> 50 %) de l'ablation. Enfin, il semble bien y avoir un effet de « cascade ». Les haies se comportent de façon semi perméables par rapport au colluvionnement, mais une fraction non négligeable des colluvions qui traversent la première haie sédimente ensuite. On en déduit que l'efficacité du système est renforcée lorsque les haies se succèdent.

9.2.4 Stockage du C_{org} dans les sols de haies de la toposéquence HABS

Evolution du stock de C_{org} avec la profondeur sur l'ensemble de la toposéquence HABS

Les figures 9.14, 9.15 et 9.16 présentent l'évolution du stock de carbone (cumulé et non cumulé) en fonction de la profondeur avec un point de mesure tous les 10 cm sur l'ensemble des fosses du transect. Même si les courbes ont toutes grossièrement la même allure, des différences notables existent d'un profil à l'autre. Pour ne reprendre que la tranche 0-10 cm, le stock mesuré varie de 0,63 (HABS 09) à 1,28 (HABS 06) kg/m^2 . En profondeur, les stocks deviennent très faibles dans le substrat loessique, de l'ordre de 0.25 à 0.3 kg/m^2 . L'évolution des stocks avec la profondeur suit deux types de schéma (figure 9.16). Dans les sols relativement peu épais, le stock est surtout concentré dans les horizons de labour. Ce schéma concerne les 5 profils supérieurs de la toposéquence, aussi bien les sols complètement tronqués (HABS 01, HABS 02, HABS 05) que les sols développés sur les colluvions carbonatées (HABS 03, HABS 10). Ces deux types de sols ne montrent pas de différences majeures quant à la répartition des stocks. Le deuxième type de répartition concerne les sols épais, quels que soit leur origine : sols complètement développés sur colluvions carbonatées (HABS 09) ou à BT conservé en profondeur (HABS 06, HABS 07, HABS 08). Dans ces sols, le stock de C_{org} est proportionnellement relativement élevé en profondeur. On observe aussi des pics de C_{org} , qui témoignent peut-être de ruptures dans les processus de colluvionnement. On retiendra ici que, davantage que le type de pédogenèse, c'est l'épaisseur du sol qui semble être le facteur principale de la répartition des stocks.

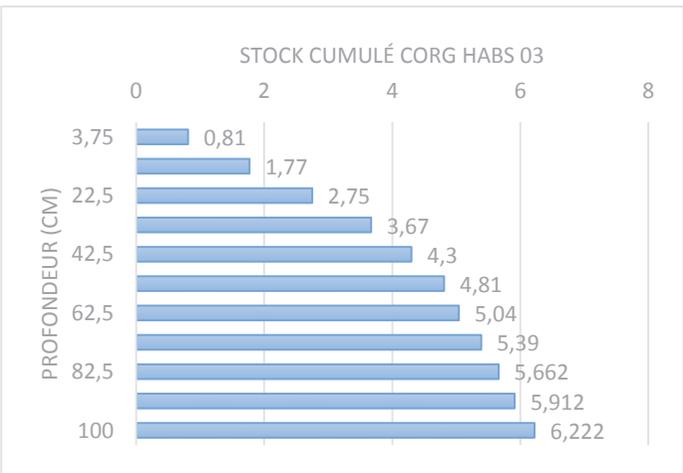
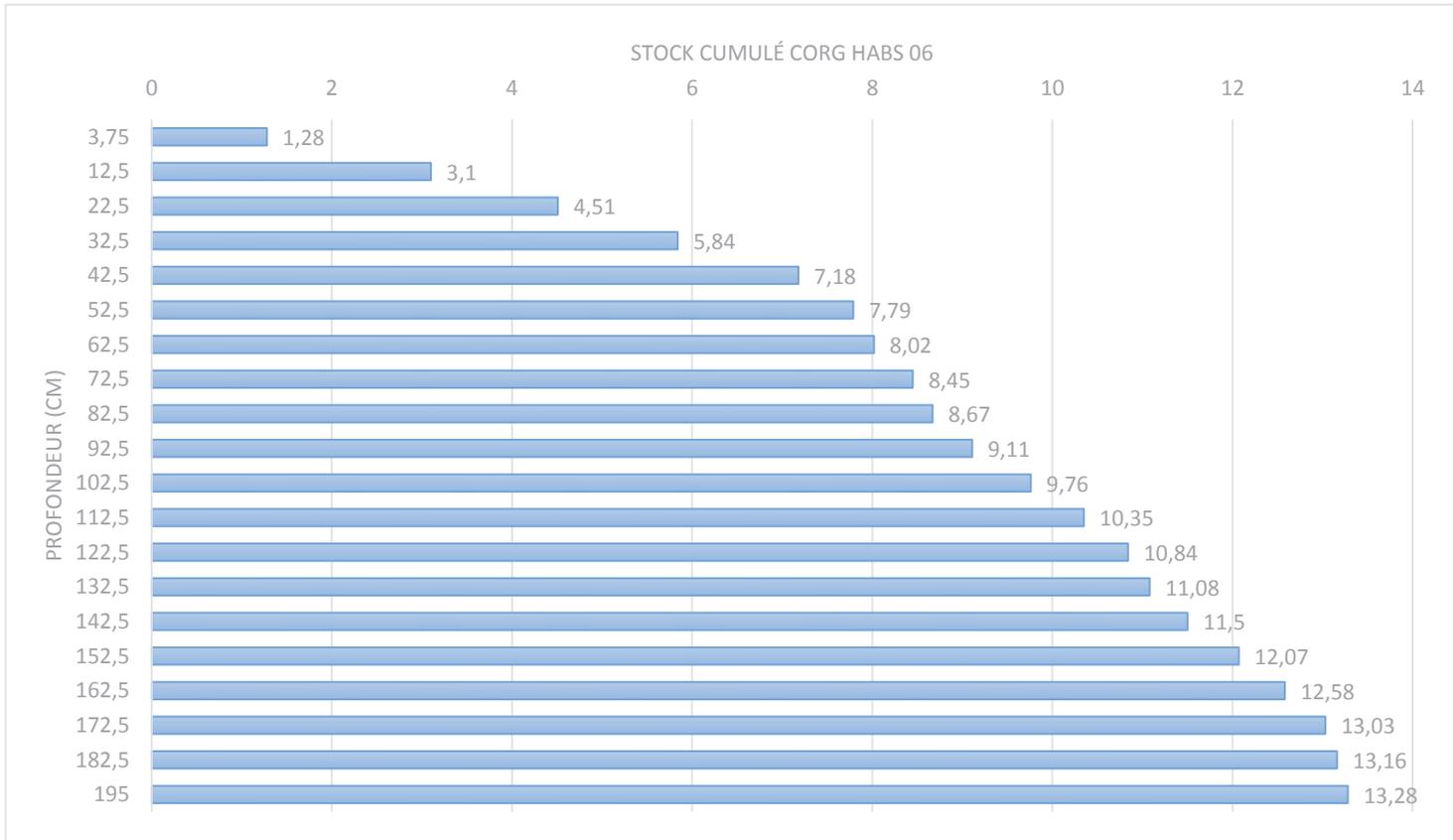
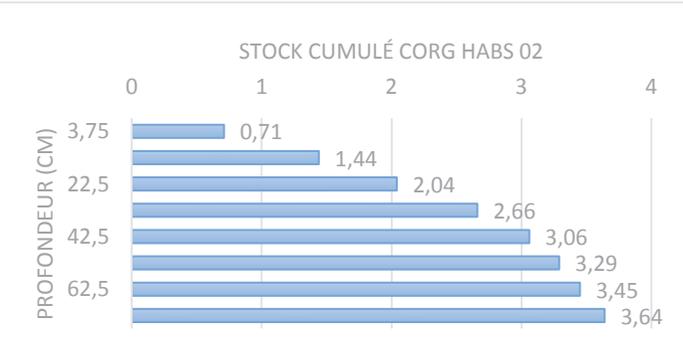
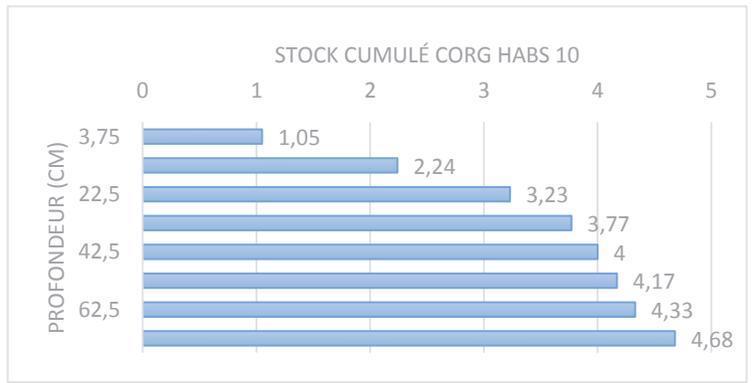
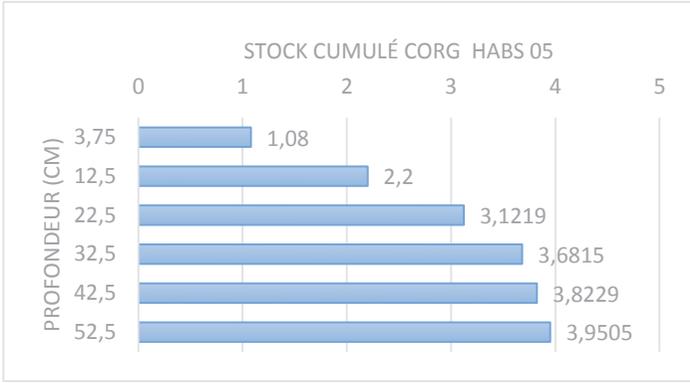
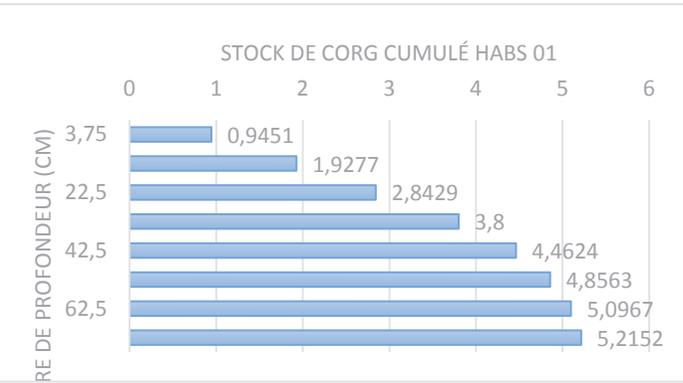


Figure 9.89 : Stocks de C_{org} cumulés (kg/m²) pour les profils HABS 01, HABS 02, HABS 03, HABS 05, HABS 10 et HABS 06 ; Source : Lucie Froehlicher

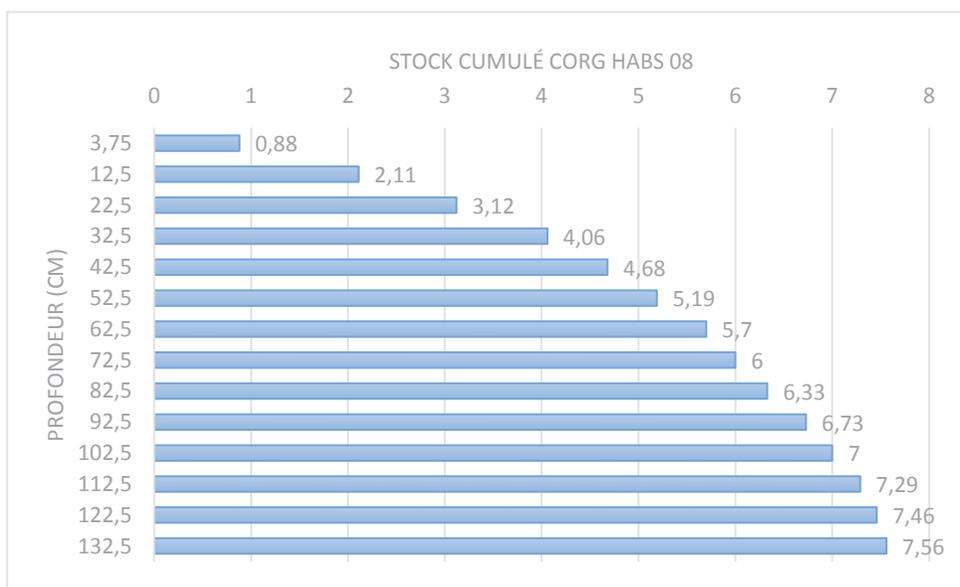
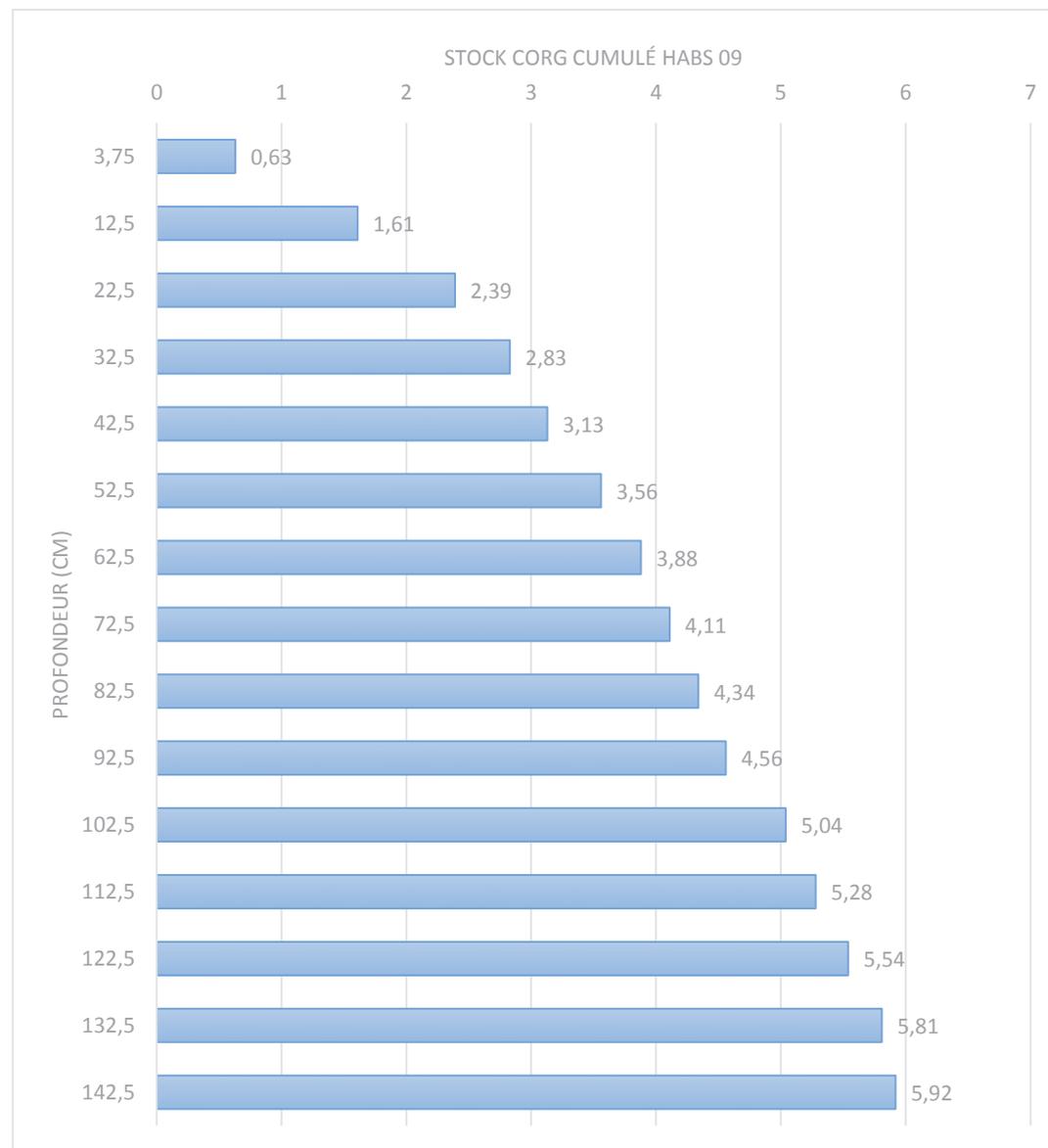
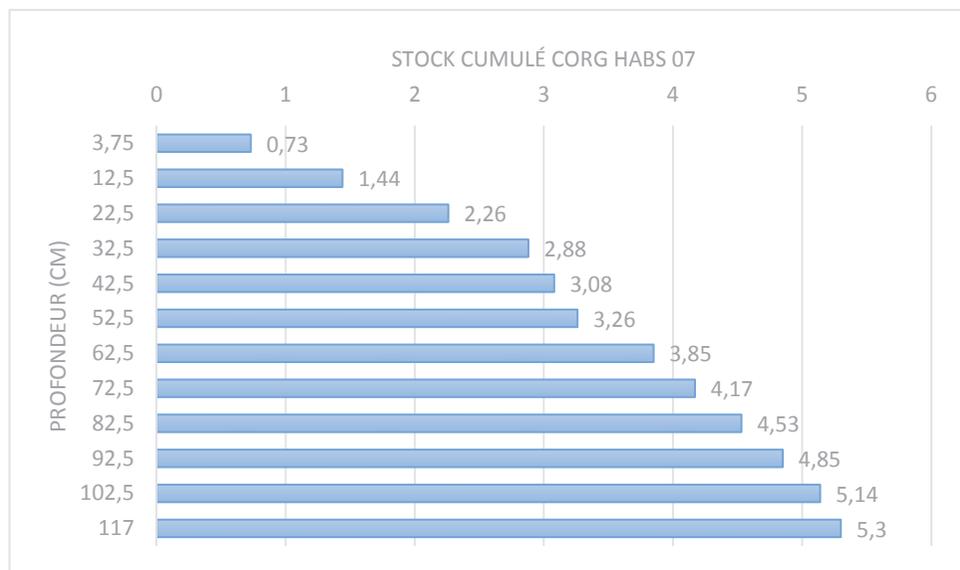


Figure 9.15 : Stocks de C_{org} cumulés (kg/m^2) pour les profils HABS 07, HABS 08 et HABS 09 ; Source : Lucie Froehlicher

Evolution des stocks en C_{org} par tranche de 10 cm pour le tronçon 1

Par tranche de 10 cm, les stocks de C_{org} des profils HABS 01 et HABS 02 sont relativement constants jusqu'à 40 cm de profondeur : 0,9 à 1 kg/m² pour le premier, de l'ordre de 0,7 kg/m² pour le second. Ils décroissent ensuite, pour atteindre des valeurs très faibles dans le loess (0,11 kg/m² par tranche de 10 cm). Même s'ils sont morphologiquement très semblables, les profils HABS 01 et HABS 02 présentent des stocks cumulés relativement différents : 4,9 t pour le premier entre la surface du sol et le début du loess pur et 3,3 t pour le second, pour la même épaisseur. Situé dans la même parcelle agricole que les deux premiers, et donc soumis au même itinéraire technique, le profil HABS 03 présente également des stocks homogènes sur les 40 cm supérieurs (environ 0,8 kg/m² par tranche de 10 cm) et une décroissance importante ensuite. Le stock total de C_{org} entre la surface et le loess pur est de 5,9 kg/m². On voit bien que si le profil de répartition est du même type sur les 3 profils, le stock de C_{org} est plus important sur HABS 03. C'est son épaisseur plus importante, due à l'accumulation de colluvions, qui en est responsable. Cet « effet colluvions » peut être chiffré ici, par comparaison avec les deux autres profils, entre 1 et 2,6 kg/m², soit 10 à 26 t/ha. D'ores et déjà une remarque s'impose : le C_{org} des colluvions ne se préserve pas intégralement. Dans la mesure où les colluvions sont constituées d'horizons de surface érodés, les teneurs (et stocks) initiaux des colluvions devraient être, en cas de préservation intégrale, de l'ordre de grandeur de ceux enregistrés dans les horizons de surface : le profil de C_{org} devrait être beaucoup constant avec la profondeur sur l'épaisseur des colluvions. La baisse notable des stocks en profondeur, par rapport à la teneur initiale, montre qu'une grande partie du C_{org} est minéralisée par l'activité biologique, sans que cette minéralisation soit compensée par des apports de matière organique fraîche. Ce point sera détaillé plus loin.

Evolution des stocks en C_{org} par tranche de 10 cm pour le tronçon 2

Nous rappelons ici que ce tronçon est en MAE depuis 2011. Le couvert végétal est depuis cette date une surface enherbée en permanence.

La fosse HABS 05, au sommet du tronçon n° 2, est morphologiquement très proche de HABS 01 et HABS 02 du tronçon supérieur. De fait les variations avec la profondeur y sont similaires, et le stock total entre la surface du sol et le début du loess, soit 3,7 kg/m² est intermédiaire entre les valeurs calculées pour ces deux profils.

Pour sa part, HABS 10, sol développé dans des colluvions carbonatées, est relativement semblable à HABS 03. Le stock de C_{org} y varie de la même manière, mais est notablement moins important (4,7 kg/m² contre 6,2). Ceci semble dû à son épaisseur moindre (apparition du loess vers 70 cm contre 95 cm pour HABS 03). Une comparaison à la même profondeur, soit environ 70 cm, donne des valeurs assez proches (4,3 et 5 kg/m² respectivement). Avec HABS 06, on passe à des fosses dont le stock de C_{org} et sa répartition diffèrent notablement des précédents. Les 40 premiers centimètres, correspondant à l'ancien horizon de labour L, sont caractérisés par un stock de C_{org} relativement élevé en comparaison des cinq premières fosses. Sur cette épaisseur, les valeurs par tranches de 10 cm sont comprises entre 1,28 et 1,82 kg/m². Les variations avec la profondeur sont plus chaotiques, avec des pics à certaines profondeurs et des teneurs relativement fortes dans le BT, légèrement plus argileux. Dans ces

niveaux, les stocks par tranches de 10 cm atteignent 0,5 à 0,65 kg/m², ce qui est bien plus important que les stocks des horizons profonds des sols précédents, à des profondeurs pourtant supérieures. En revanche, dans les horizons de colluvions limoneuses et carbonatées qui surmontent le BT, les stocks sont bas (minimum de 0,22 kg/m²) et du même ordre que ceux des sols précédents aux profondeurs équivalentes.

Au sein du BT, on note des stocks minimums à la transition entre le BT colluvial et le BT en place. Nous ne pouvons en donner une explication claire. A cette exception près, les stocks du BT colluvial et ceux du BT en place sont du même ordre de grandeur, ce qui suggère que les stocks élevés des BT sont davantage liés à leur teneur plus forte en argile qu'aux remaniements qui ont affecté la partie sommitale de cet horizon.

Evolution des stocks en C_{org} par tranche de 10 cm pour le tronçon 3

Localisé au pied du rideau de culture aval, la fosse HABS 07 est située dans une bande enherbée. Là aussi, les stocks par tranche de 10 cm sont relativement constants jusqu'à 40 cm de profondeur. Ils sont relativement bas pour des horizons de surface, de l'ordre de 0,7 kg/m². Après une chute brutale au sommet du BT, les stocks augmentent à nouveau au sein de cet horizon, pour approcher les valeurs enregistrées dans HABS 06. Ils décroissent dans l'horizon C pour atteindre une valeur minimale de 0.16 kg/m². Sur HABS 08, les variations sont plus simples. Dans l'horizon de labour (les 40 premiers cm), le stock varie entre 0.9 et 1.2 kg/m² par tranche de 10 cm. Puis le stock décroît progressivement, jusqu'à atteindre la valeur minimale de 0.17 kg/m² dans le loess à plus de 130 cm de profondeur. Le profil des stocks en C_{org} de la fosse HABS 09 est sensiblement le même que celui de HABS 08, avec toutefois des stocks moins importants à profondeur identique, ce qui souligne une fois encore le rôle de la teneur en argile des horizons profonds dans le stockage du carbone.

Evolution du stock de C_{org} par horizon pour la toposéquence HABS

La figure 9.17 présente l'évolution des stocks de C_{org} pour chacune des fosses du transect HABS horizon par horizon, et non plus systématiquement par tranches de sol d'épaisseurs constantes. Sur ce mode de représentation, le stock par horizon est directement proportionnel à la surface des rectangles. L'axe vertical est contraint par l'épaisseur de l'horizon. C'est donc en faisant varier la longueur de leur axe horizontal que l'on peut ajuster la surface des rectangles au stock. La lecture des stocks est ainsi très visuelle, et rend bien compte de l'importance relative des différents horizons et de la profondeur dans le stockage du C_{org}.

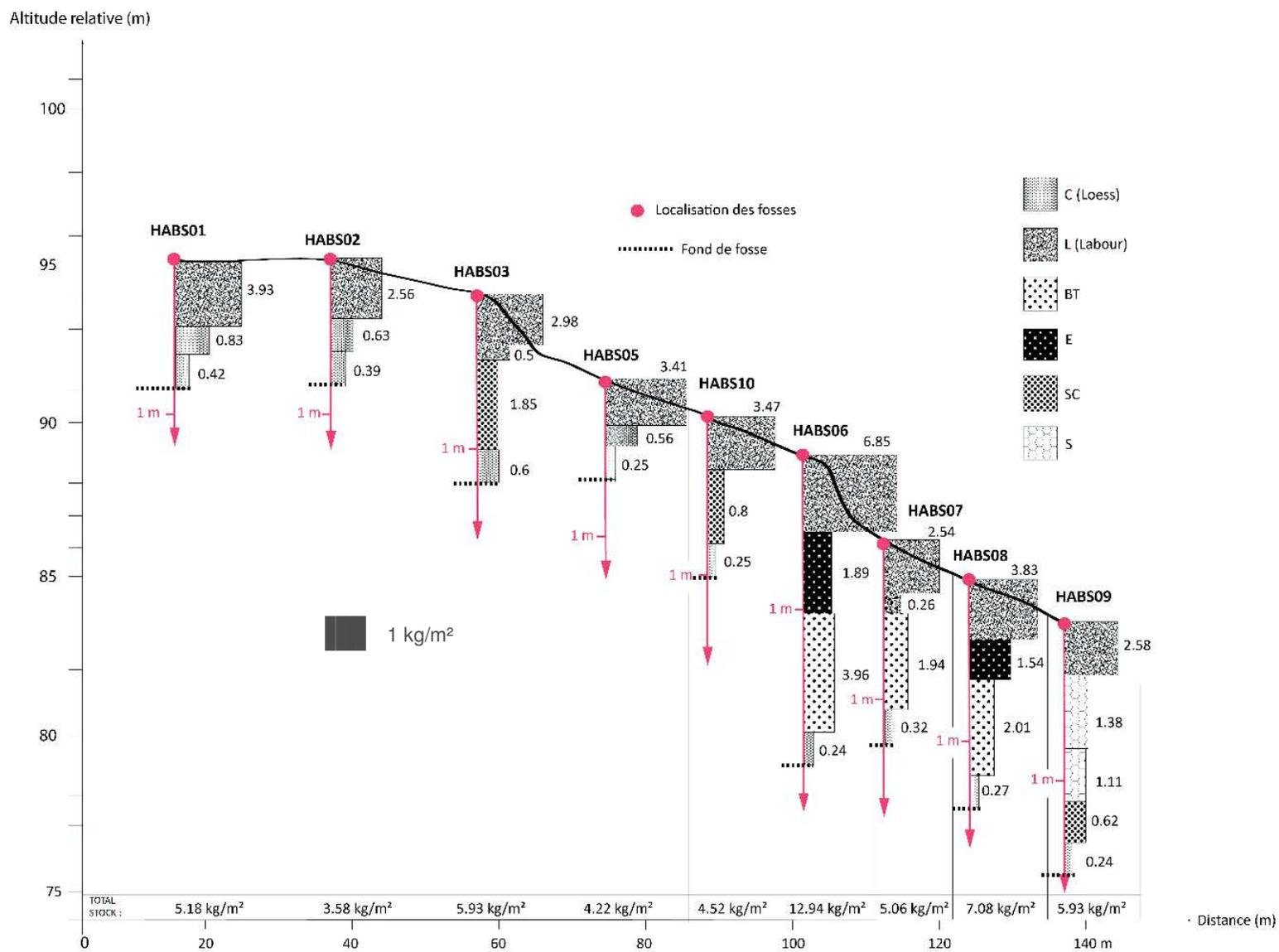


Figure 9.17 : Evolution du stock de C_{org} par horizon pour la toposequence HABS; Source : Lucie Froehlicher

On note ainsi, que de façon tout à fait classique, le principal stock de C_{org} est constitué par l'horizon de labour L. Il varie entre 2,54 et 6,85 kg/m² selon le sol, pour une épaisseur de l'ordre de 30 à 40 cm, sans que l'on puisse mettre en évidence une loi de répartition en fonction du type de sol ou du positionnement sur la toposéquence. Il semble que le principal facteur régissant le stock de carbone des horizons L soit les pratiques culturales et la politique de fertilisation des agriculteurs. Malgré des demandes insistantes auprès de ceux-ci, nous n'avons pas eu accès à ces données. Une analyse plus poussée montre que les sols se répartissent en deux groupes. Dans les sols tronqués et les sols colluviaux peu épais, le stock de C_{org} de l'horizon L représente de 71 à 81 % du stock total. Dans les sols très épais, cette part descend à 43-54 % (tableau 9.1).

Tableau 9.15 : Calcul des rapports entre les stocks en C_{org} des horizons de labour et le stock total en C_{org} ; Source : Lucie Froehlicher

Nom fosse	Stock C_{org} horizon de labour (L) (en kg/m ²)	Stock total C_{org} (en kg/m ²)	Rapport Stock C_{org} L / Stock C_{org} total
HABS 01	3,93	5,18	76 %
HABS 02	2,56	3,58	71,5 %
HABS 03	2,98	5,93	50,3 %
HABS 05	3,41	4,22	80,8 %
HABS 10	3,47	4,52	77,6 %
HABS 06	6,85	12,94	53 %
HABS 07	2,54	5,06	50 %
HABS 08	3,83	7,08	54 %
HABS 09	2,58	5,93	43,5 %

Pour ce qui est des horizons C (lœss), nous avons calculé le stock de C_{org} sur une épaisseur standard de 20 cm pour l'ensemble des fosses. On note une valeur « générale » de l'ordre de 0,25 kg/m² sauf pour l'horizon C de la fosse HABS 03 (0,6 kg/m²). Sur ce dernier sol, il n'est pas impossible que l'important réseau racinaire observé, en lien avec la proximité de la haie, en soit à l'origine.

Pour les horizons situés entre les horizons L et C de chaque fosses (BT ; S ; SC), les stocks en C_{org} sont très différents d'un profil à l'autre. On distingue des horizons S appauvris pour HABS 06 et 08 avec des stocks de C_{org} peu élevés par rapport à l'épaisseur des horizons. Pour les horizons BT, on observe des stocks relativement importants, surtout pour HABS 06 (profil d'accumulation au pied de la haie). Les horizons SC et S développés dans les colluvions limoneuses carbonatées ont quant à eux des stocks relativement faibles en comparaison des BT.

Dans la mesure où nous n'avons pu obtenir aucun renseignement sur les pratiques culturales et les amendements organiques, il n'est pas possible de discuter davantage des stocks de l'horizon L, certainement influence par ces facteurs. Nous présentons ci-dessous la figure 9.18, qui reprend la figure 9.17 après avoir supprimé le stock de l'horizon L. Dans ces horizons, les stocks sont nettement moins dépendants des pratiques culturales. On observe ainsi bien visuellement l'influence de la profondeur du sol sur le stockage, et également les différences qui apparaissent entre horizons BT, légèrement enrichis en argile, et les horizons plus limoneux développés à partir des colluvions carbonatées.

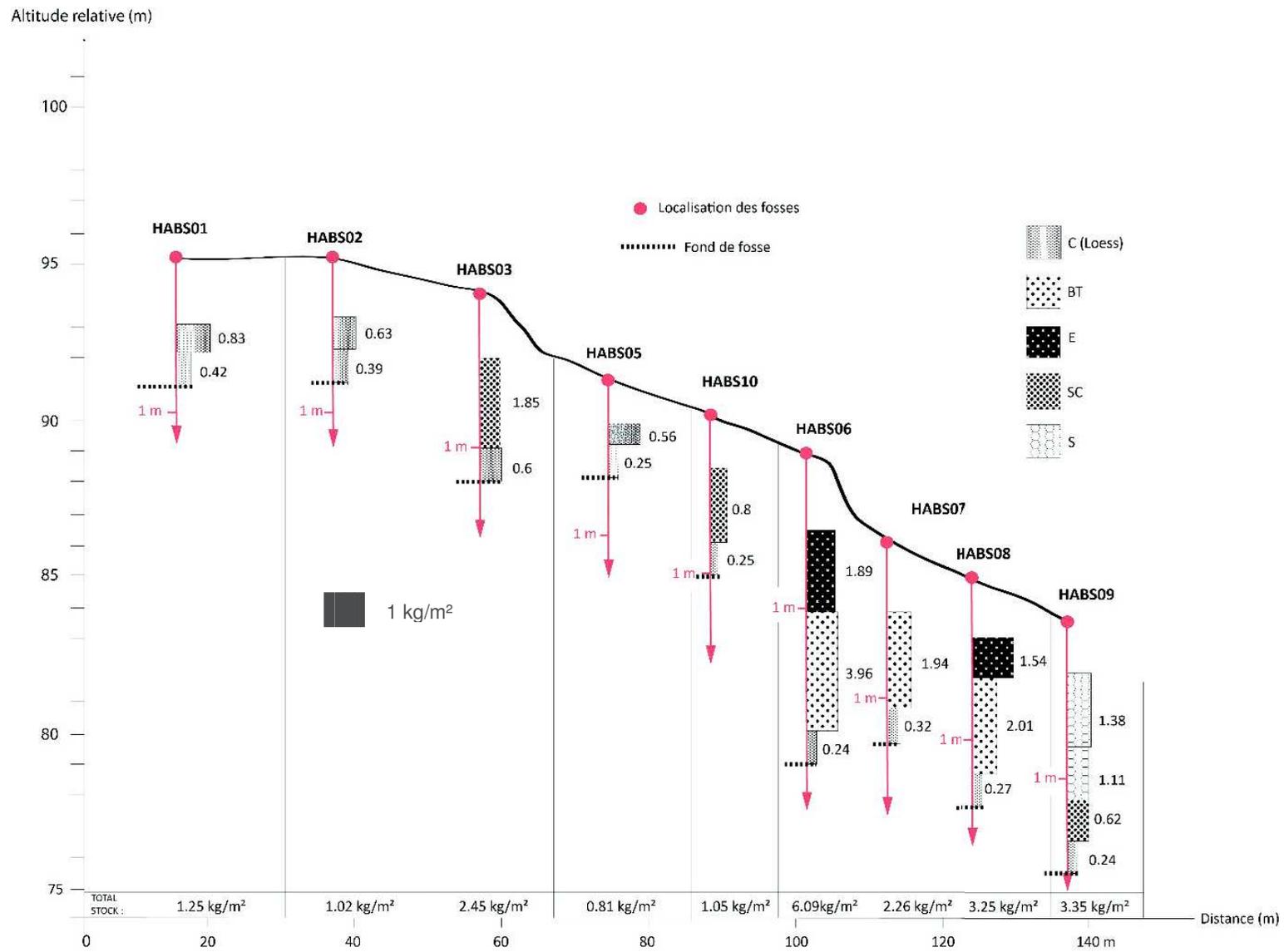


Figure 9.18 : Evolution du stock de C_{org} par horizon sans l'horizon L pour la toposéquence HABS; Source : Lucie Froehlicher

Stocks de C_{org} réels et théoriques dans les colluvions sur la toposéquence HABS

Ainsi que nous l'avons évoqué au début du paragraphe 9.2.4., le stock de C_{org} des colluvions carbonatées est relativement faible, en raison d'une minéralisation partielle des matières organiques, non compensée par des apports de MO fraîche. Nous avons essayé de quantifier ce phénomène, de manière simple, sur les colluvions en excluant l'horizon L, pour les profils HABS 03 et HABS 10.

Sur HABS 03, sans l'horizon de labour, on a une épaisseur de colluvions de 57 cm (de 38 à 95 cm de profondeur). Sur cette épaisseur, le stock de terre est de 771 kg/m². Nous faisons l'hypothèse que la teneur initiale des colluvions en C_{org} est de 0,98 %, teneur moyenne de la tranche 0-5 cm de l'horizon L sur la toposéquence. Il s'ensuit que le stock initial de C_{org} devait être de 7,55 kg/m² sur les 57 cm de sol considérés. La teneur mesurée actuellement est de 1,85 kg/m² sur cette épaisseur, soit 24,5 % du stock théorique.

Le même calcul est effectué sur HABS 10, avec les données de départ suivantes : colluvions présentes entre 32 et 85 cm de profondeur, soit une épaisseur totale de 53 cm, stock de terre correspondant : 546,1 kg/m², stock de C_{org} théorique : 5,35 kg/m². Le stock mesuré est de 0,8 kg/m², soit environ 15 % du stock théorique.

Ces calculs simplistes ne reflètent pas la complexité des processus de minéralisation. Ils montrent toutefois nettement que dans ces matériaux limoneux relativement superficiels, le stockage intégral de la matière organique colluvionnée n'est de loin pas le processus dominant. Le stockage de terre ne s'accompagne pas forcément d'un stockage équivalent de la matière organique.

Comparaison des stocks de C_{org} des colluvions avec le luvisol de référence ZOO

Il est également possible de comparer le stock de C_{org} des colluvions avec celui du luvisol de référence ZOO, aux mêmes profondeurs. Entre 38 et 95 cm de profondeur, soit 57 cm d'épaisseur, le stock de C_{org} du luvisol de référence est de 1,05 kg/m², à comparer aux 1,85 kg/m² des colluvions de HABS 03 (tableau 9.2). De même, entre 32 et 85 cm de profondeur, soit une épaisseur totale de 53 cm, le stock est de 1,08 kg/m², à comparer aux 0,8 kg/m² des colluvions de HABS 10 aux mêmes profondeurs. Dans le premier cas, le stock de C_{org} des colluvions est de 80 % supérieur à celui du luvisol de référence aux mêmes profondeurs, dans le deuxième cas, il est inférieur de 20 %. Selon le cas, le remplacement d'un luvisol initial peut donc se traduire par une augmentation ou une diminution du stock de carbone organique.

Tableau 9.2 : Calcul du stock de carbone du profil ZOO aux mêmes profondeurs que les profils HABS 03 et HABS 10 ; Source : Lucie Froehlicher

	Horizons	Profondeur (cm)	Stock de C _{org} par horizon (kg/m ²)	Stocks concernées pour la comparaison avec SC de HABS 03 (kg/m ²)
Profil de référence ZOO / Comparaison avec HABS 03	A	0-10	0,9	/
	E	10-45	1,12	0,22 (= 7cm)
	BT	45-95	0,83	0,83 (= 50 cm)
	C	95-...	0,26	/
TOTAL Stock C_{org} pour la comparaison avec SC de HABS 03 (kg/m²)	1,05 (= 0,22 + 0,83)			
Profil de référence ZOO / Comparaison avec HABS 10	A	0-10	0,9	/
	E	10-45	1,12	0,42 (= 13cm)
	BT	45-95	0,83	0,66 (= 40 cm)
	C	95-...	0,26	/
TOTAL Stock C_{org} pour la comparaison avec SC de HABS 10 (kg/m²)	1,08 (=0,42+0,66)			

Il est difficile de procéder à une comparaison du même type avec le profil HABS 06, en raison de la complexité des processus de colluvionnement sur ce sol. On notera toutefois que les teneurs et stocks (par tranche) de C_{org} dans le BT de HABS 06 sont quatre fois supérieurs au BT de la référence ZOO. Cela s'explique certainement par le fait que le BT de HABS 06 est un BT en grande partie colluvionné, et que la partie en place a été mise en surface après troncature des horizons supérieurs. Contrairement à celui de la référence ZOO, ce BT a donc été à un moment de son histoire très proche de la surface du sol, ce qui a favorisé son enrichissement en matière organique.

9.3 La toposéquence d'Uffheim « UFF »

Le calcul des stocks de terre, de colluvions et de C_{org} a été fait sur le même modèle que pour la toposéquence HABS.

9.3.1 Évolution des densités apparentes des sols de la toposéquence UFF

Prises dans leur globalité, les mesures de densité apparente des trois profils de la toposéquence UFF sont comparables à celles mesurées pour la toposéquences HABS (figure 9.19). Pour UFF 01 et UFF 02 les d_a sont relativement constantes entre 1,25 et 1,35 sur l'ensemble des profils. Pour UFF 03, on observe une d_a très forte à la transition entre L et SC avec une valeur proche de 1,6. Il s'agit de la valeur de d_a mesurée la plus importante pour l'ensemble des toposéquences d'étude et des sites de référence. Elle pourrait être liée à une compaction importante au niveau de la semelle de labour.

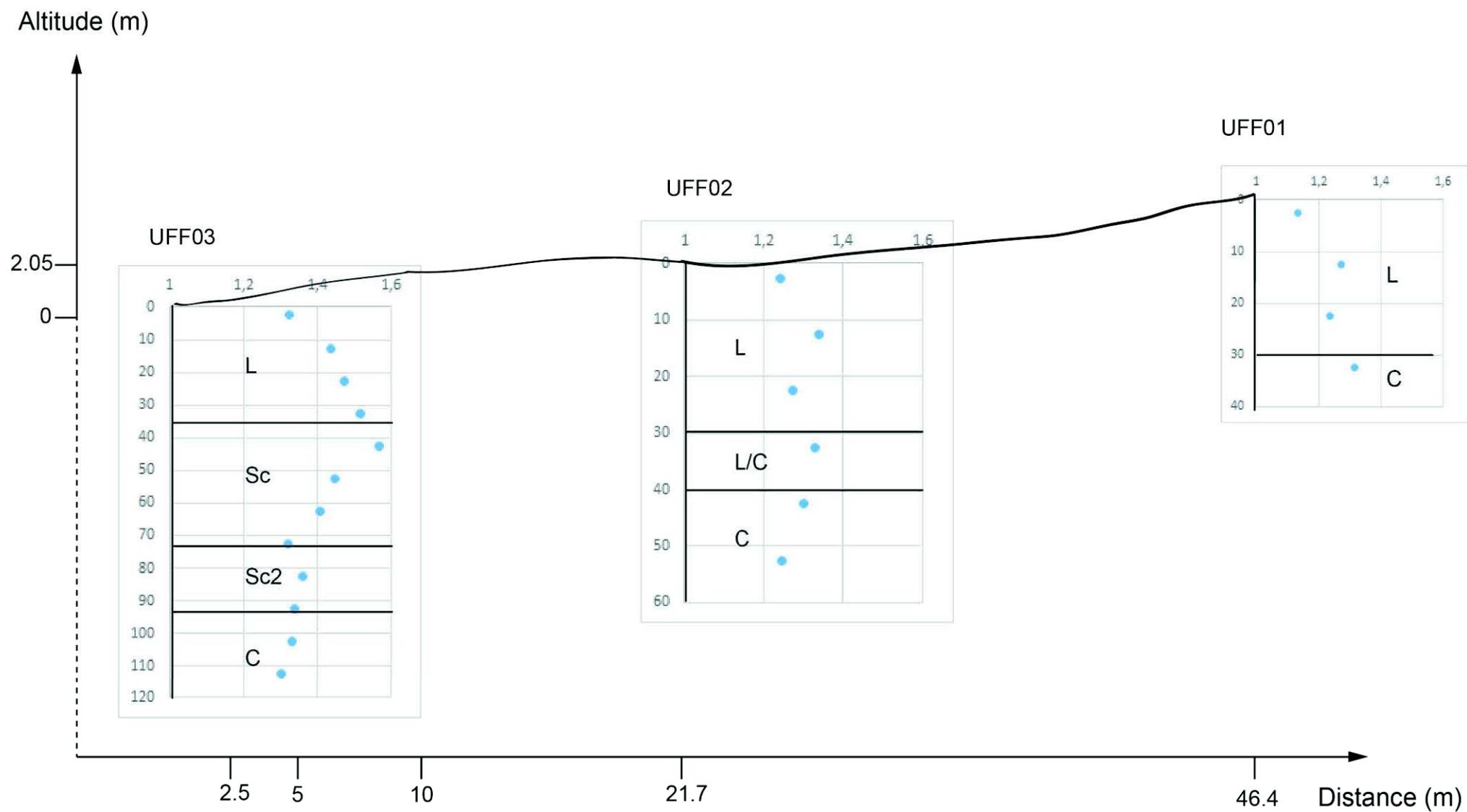


Figure 9.19 : Densité apparente des profils de la toposéquence UFF ; Source: Lucie Froehlicher

9.3.1 Calcul des stocks de terres pour la toposéquences d'Uffheim

Les stocks de terre de la toposéquence UFF sont donnés par la figure 9.20, en stock total au-dessus du loëss et en stocks de terre colluvionnée.

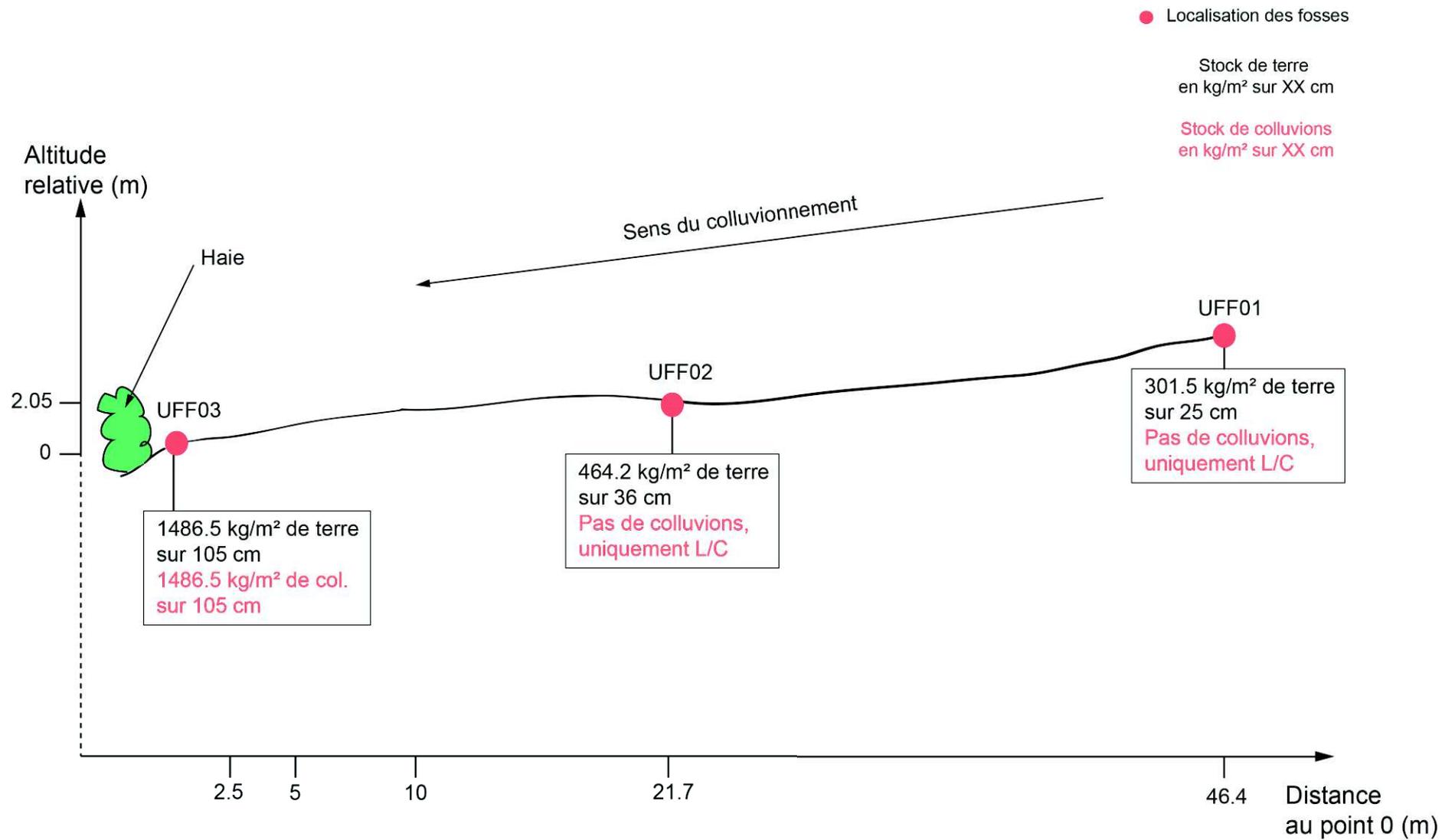


Figure 9.20 : Résultats des stocks de terre et de colluvions pour la toposéquence d'Uffheim ; Source : Lucie Froehlicher

Comparable au premier tronçon de la toposéquence d'HABS au niveau de l'organisation et de l'épaisseur des sols, la toposéquence UFF révèle à travers ces trois fosses des sols tronqués jusqu'au loess entre UFF 01 et UFF 02, puis une zone d'accumulation de colluvions (UFF 03). Les stocks de terre calculés par rapport à l'épaisseur des sols sont comparables à ceux de la toposéquence HABS. On enregistre des stocks de terre de 301,5 kg/m² sur 25 cm de sol pour UFF 01, 464,2 kg/m² sur 36 cm pour UFF 02 et 1486,5 kg/m² de sol sur 105 cm pour UFF 03.

9.3.2 Calcul des stocks de colluvions par mètres linéaires de rideau pour la toposéquence UFF

La zone concernée par le colluvionnement démarre juste à l'aval du profil UFF 02 (figure 9.21). Comme pour la toposéquence HABS, la tranche de sol occupée par les colluvions a été assimilée à un triangle, de surface 12,18 m². Avec une densité apparente moyenne de 1.42 pour les sols du site d'Uffheim (1.46 pour HABS), cela correspond à un tonnage de 17,29 t par mètre linéaire de haie.

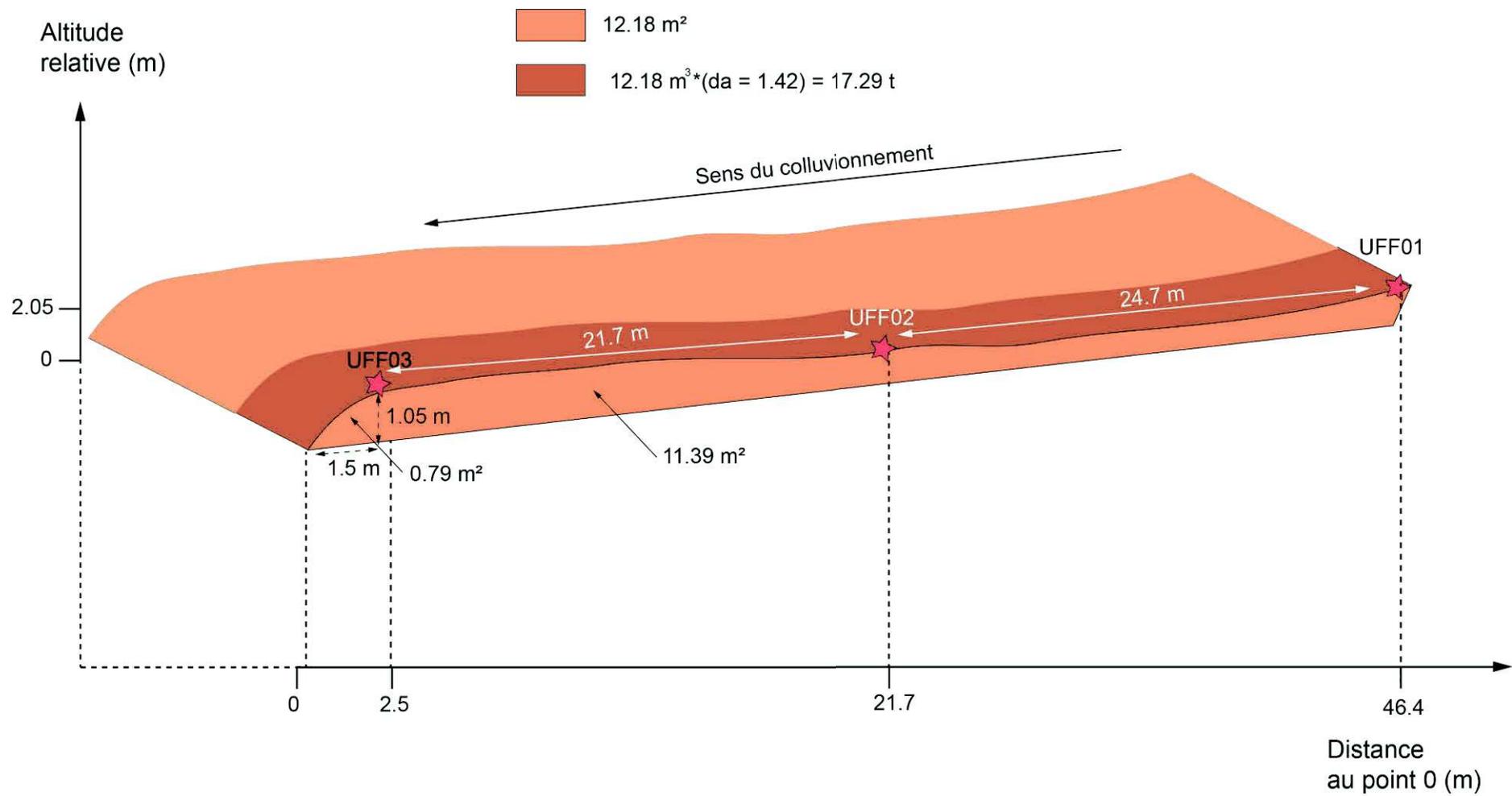


Figure 9.21 : Calcul du stock de colluvions en mètres linéaires de rideau de culture pour la toposéquence UFF (Uffheim) ; Source : Lucie Froehlicher

Estimation de la zone d'ablation du sol et de la zone de dépôt des colluvions

La longueur approximative de la parcelle est d'une centaine de mètres. La surface calculée de la zone d'ablation, assimilée à un rectangle, est de 2170 m². Les sédiments érodés sur cette zone se déposent entre UFF 02 et UFF 03, sur une zone d'environ 2470 m². Le tonnage de colluvions correspondant est de l'ordre de 1730 tonnes (figure 9.22).

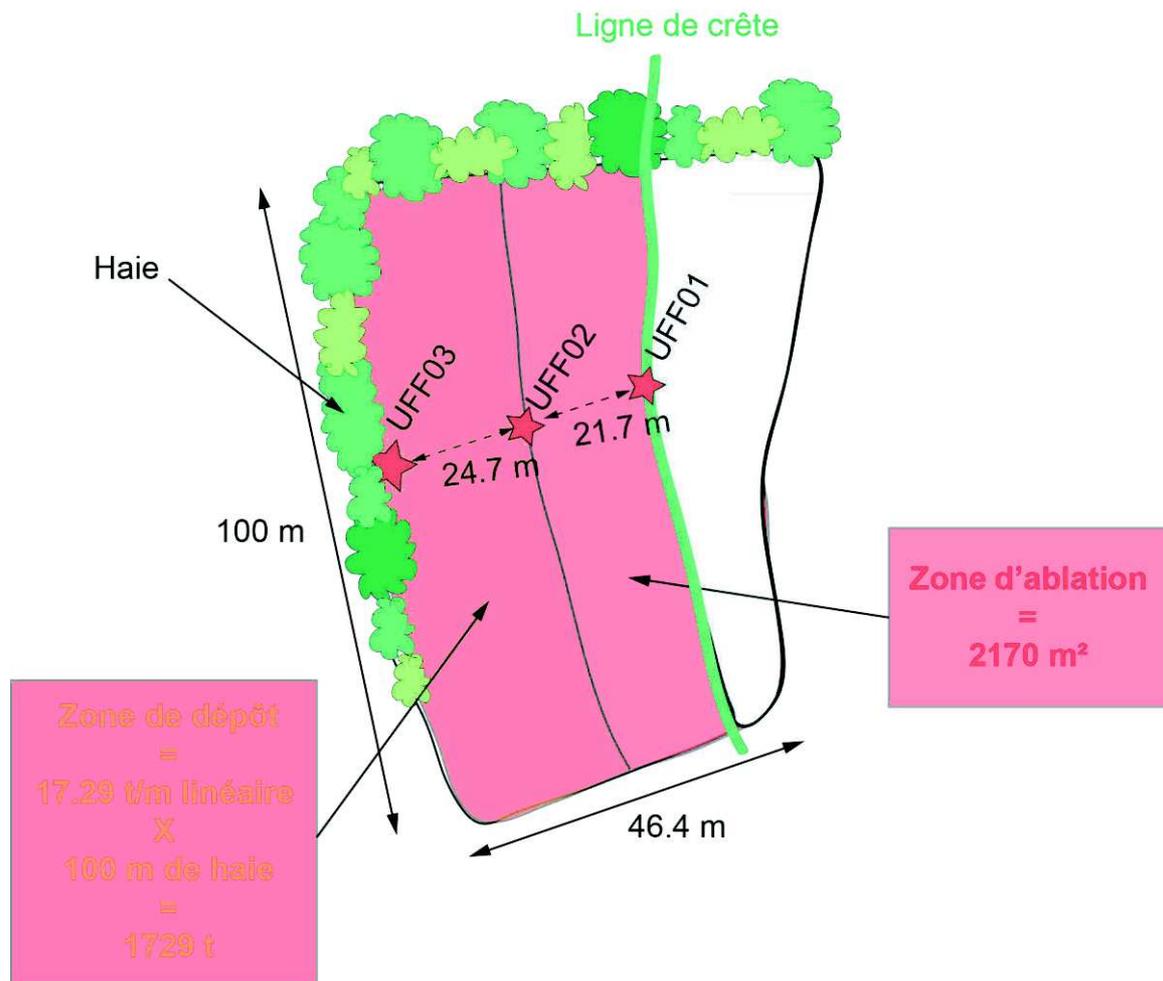


Figure 9.22 : Calcul de la zone d'ablation et de la zone de dépôt du site d'Uffheim (UFF) ; Source : Lucie Froehlicher

Quantification du potentiel de stockage de terre érodée, toposéquence UFF

Tout comme pour le tronçon 1 de la toposéquence HABS, il est possible de calculer la hauteur de sol érodée dans la zone d'ablation et stockée dans la zone d'accumulation. Le tonnage accumulé étant de 1730 t et la zone d'ablation étant estimée à 2170 m², on peut estimer à 0,8 t/m² la quantité de terre érodée dans la zone d'ablation et stockée dans le rideau de culture. En tenant compte d'une densité apparente moyenne de 1,42 sur cette toposéquence, ce tonnage correspond à une hauteur de sol de 56 cm. Ce chiffre est étonnamment comparable à celui calculé pour le tronçon supérieur de la toposéquence HABS (54 cm), dont la dynamique est très comparable à celle de UFF.

9.3.3 Stockage du C_{org} dans les sols de la toposéquence UFF

9.3.3.1 Evolution du stock de C_{org} (cumulé et non cumulé) avec la profondeur par tranche de 10 cm pour l'ensemble de la toposéquence UFF

Les stocks de C_{org} calculés sont présentés sous forme de graphiques, en stocks cumulés (figure 9.23) et par tranche de 10 cm (figure 9.24). Les trois profils présentent des variations du même type. Les stocks sont de l'ordre de 1 kg/m² en surface de l'horizon de labour, mais décroissent dès 20 cm de profondeur. La décroissance est relativement régulière pour les profils UFF 01 et UFF 02, plus chaotique pour UFF 03, ce qui semble être une règle assez générale dans les niveaux colluviaux. Dans le loëss, les teneurs sont très faibles, parfois inférieure à 0,1 kg/m² par tranche de 10 cm. Le stock total des profils UFF 01 et UFF 02 (respectivement 2,54 et 3,34 kg/m²) est relativement faible si on les compare aux sols équivalents de la toposéquence HABS, à savoir HABS 01, 02 et 05 (respectivement 5,21, 3,64 et 3,95 kg/m²). En revanche, le stock de C_{org} du profil UFF 03, colluvial, est comparable à celui du sol équivalent de la toposéquence HABS, à savoir HABS 03 : 6,64 kg/m² contre 6,22 kg/m².

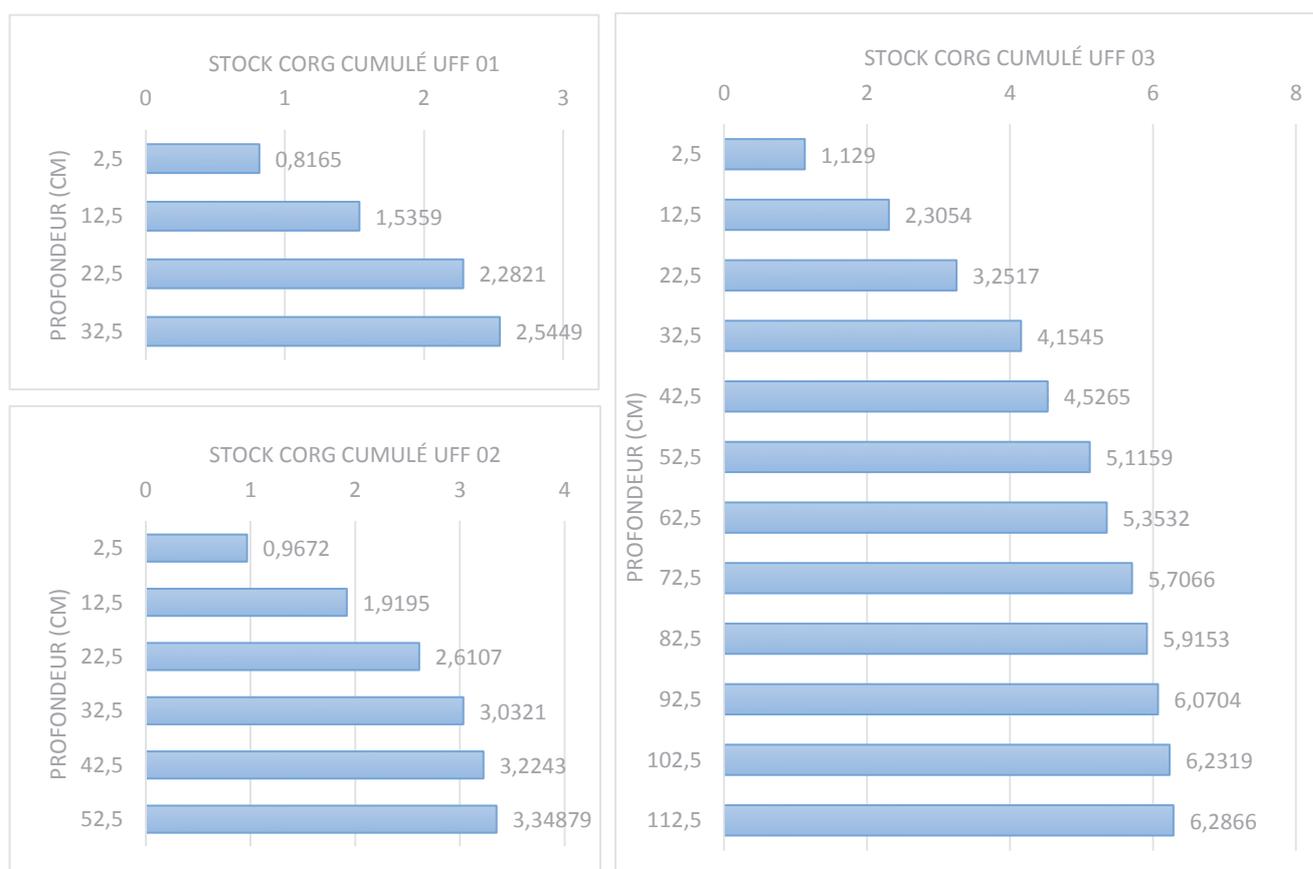


Figure 9.23 : Stock des C_{org} cumulés des profils UFF 01, UFF 02 et UFF 03 de la toposéquence d'Uffheim ; Source : Lucie Froehlicher

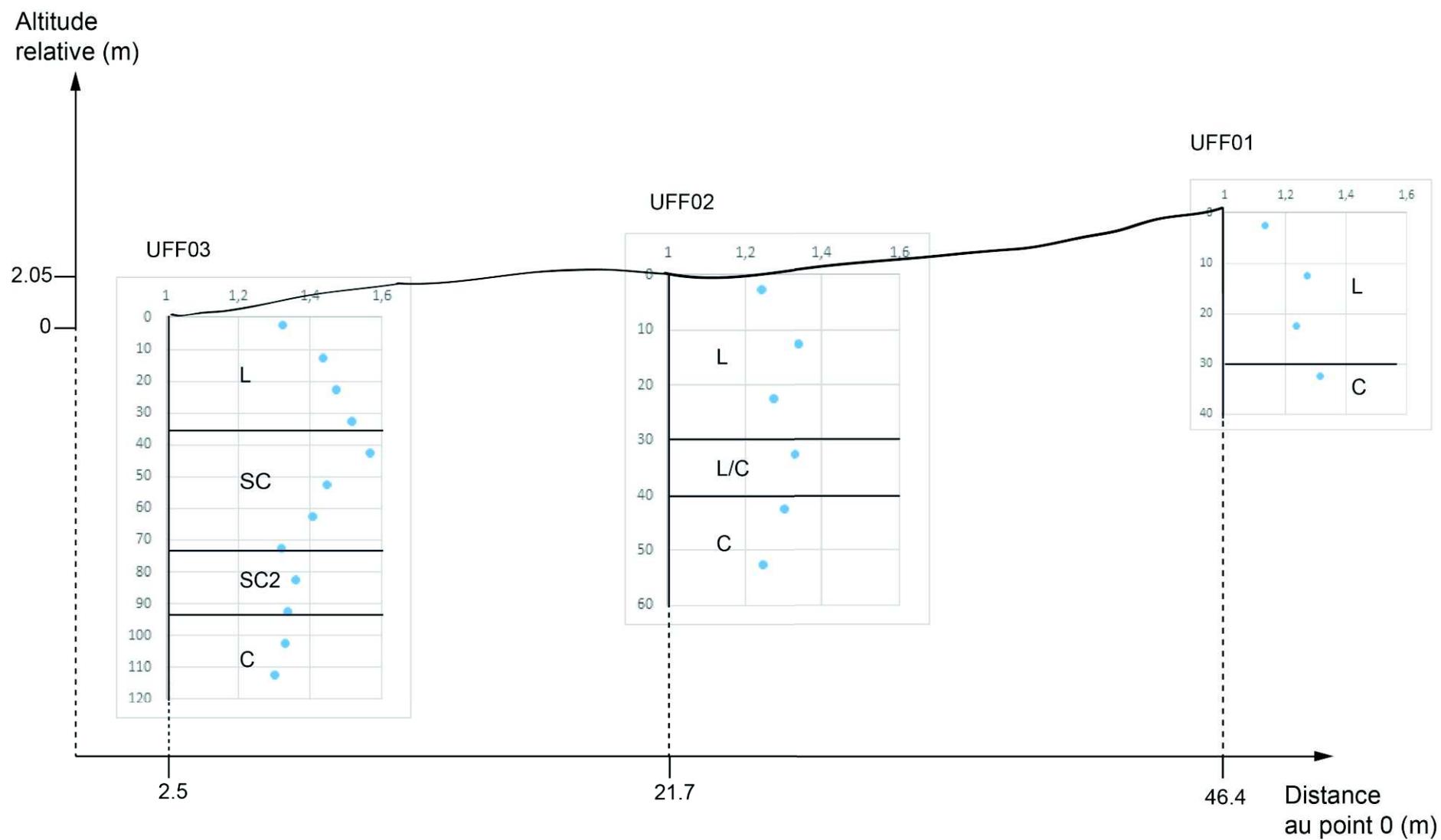


Figure 9.24 : Evolution des densités apparente des profils de la toposéquence UFF ; Source : Lucie Froehlicher

9.3.3.2 Evolution du stock de carbone organique par horizon pour la toposéquence UFF

Nous avons repris ici le même traitement graphique que pour HABS (figure 9.25). Ainsi, on voit au premier coup d'œil que les stocks les plus importants sont ceux des horizons de labour L, avec des valeurs de 2,09 kg/m² sur 25 cm pour UFF 01, 2,92 kg/m² sur 32 cm pour UFF 02 et 3,81 kg/m² sur 34 cm. Ces valeurs sont relativement comparables à celles notées sur le tronçon supérieur de la toposéquence HABS. Sous les horizons de labour, les autres horizons présentent des stocks moindres avec des valeurs comprises entre un maximum de 1,43 kg/m² (SC1 de UFF 03, sur 38 cm) et 0,11 kg/m² (C de UFF 03, sur 20 cm). Les stocks les plus faibles sont ceux mesurés pour les horizons lœssiques de 20 cm d'épaisseur avec des stocks respectifs pour UFF 01, UFF 02 et UFF 03 de l'ordre de 0,7 kg/m² ; 0,55 kg/m² et 0,11 kg/m². Les horizons d'accumulations présents dans le profil UFF 03 nommé SC1 et SC2 présentent des stocks assez faibles en comparaison des stocks mesurés dans des horizons similaires pour la toposéquence HABS, avec des valeurs de 1,43 kg/m² pour 38 cm d'épaisseur et 0,72 kg/m² pour 33 cm d'épaisseur. Contrairement à HABS, nous n'avons pas calculé ici les stocks hors horizon de labour, ce calcul s'avérant dans ce cas précis peu pertinent.

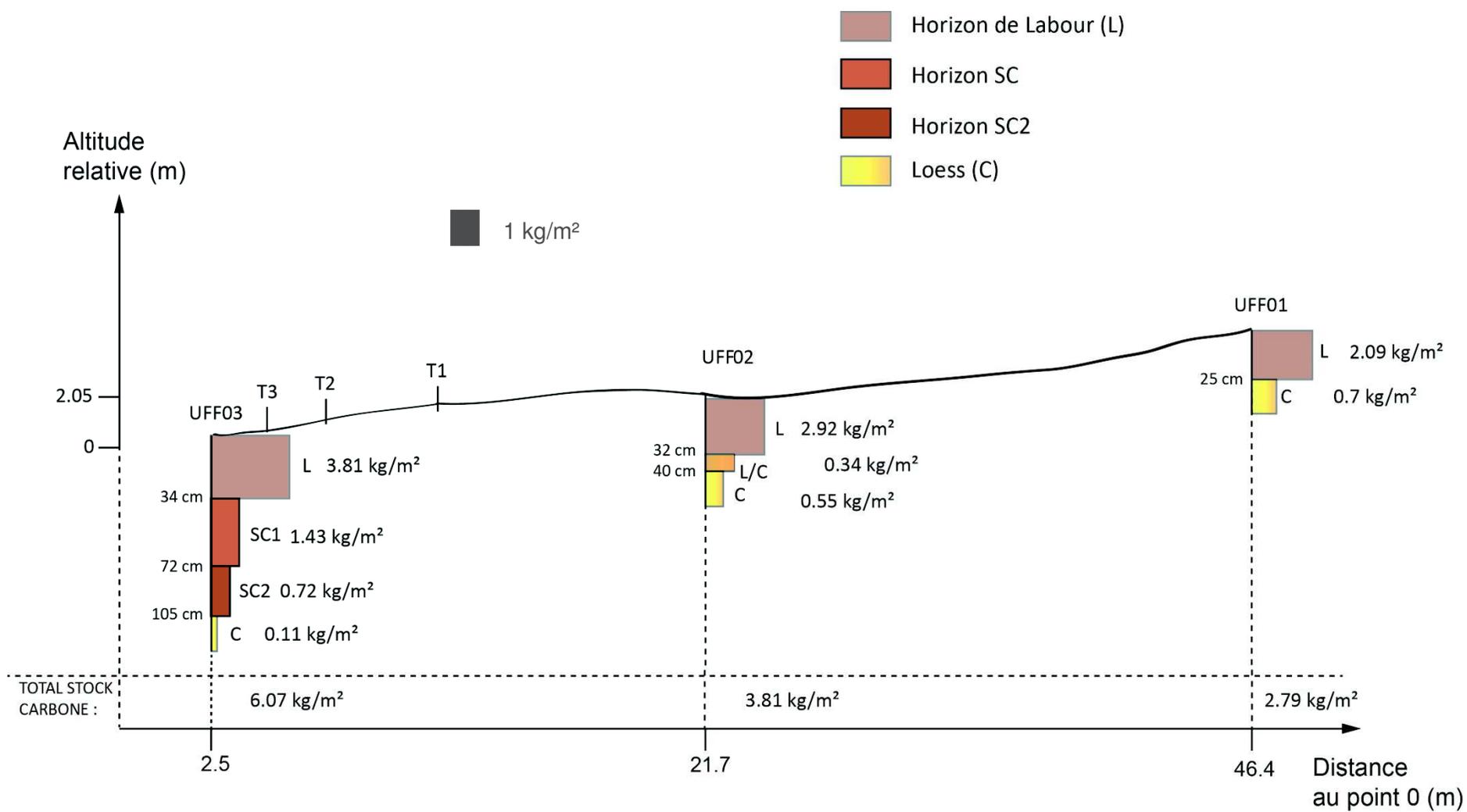


Figure 9.25 : Evolution des stocks en C_{org} par horizon pour la toposéquence UFF ; Source : Lucie Froehlicher

9.3.3.3 Stocks de C_{org} réels et théoriques dans les colluvions sur la toposéquence UFF

Hors horizon de labour, le stock de terre des colluvions du profil UFF 03 est de 1010,3 kg/m² sur 71 cm d'épaisseur. Le stock théorique en C_{org} que cette masse représente peut être estimé à partir d'une valeur moyenne de teneur en C_{org}. Nous avons pris la valeur moyenne des teneurs des horizons de surfaces (0-5 cm) de HABSREF, ZOO, UFF 01, UFF 02 et UFF 03, soit 1,02 % de C_{org}. Il s'ensuit que le stock théorique de C_{org} des colluvions, hors minéralisation devrait être de 11,3 kg/m² sur l'épaisseur considérée.

Dans la pratique, avec les différents processus de minéralisation, le stock réel mesuré est de 2,15 kg/m² sur 71 cm de sol. Elle représente 19 % du stock théorique. Cette valeur est du même ordre de grandeur que celles calculées sur la toposéquence HABS, à savoir 15 et 24,5 %, et les conclusions que l'on peut en tirer sur les faibles capacités de stockage en carbone des colluvions sont donc identiques.

9.3.3.4 Comparaison des stocks de C_{org} de UFF avec la référence du luvisol ZOO

La quantité de C_{org} mesurée sur la même épaisseur de sol (71 cm), à une profondeur équivalente, sur le profil de référence ZOO est de 1,38 kg/m² (tableau 9.3). On note donc que la quantité de carbone stockée dans les colluvions, 2,15 kg/m² est légèrement supérieure, mais à peine.

Tableau 9.16 : Détail du calcul du stock en C_{org} sur 71 cm du profil ZOO entre 34 et 105 cm pour la comparaison avec l'horizon Sc1 et Sc2 (71 cm) de UFF 03 ; Source : Lucie Froehlicher

Profil de référence ZOO	Horizons	Profondeur (cm)	Stock de C _{org} par horizon (kg/m ²)	Stocks concernées pour la comparaison avec Sc1 et Sc2 de UFF 03 (kg/m ²)	TOTAL Stock C _{org} pour la comparaison avec Sc1 et Sc2 de UFF 03 (kg/m ²)
	A	0-10	0,9	/	1,38 (= 0,35 + 1,03)
	E	10-45	1,12	0,35 (= 11cm)	
	BT	45-95	0,83	1,03 (= 60 cm)	
	C	95-...	0,26	/	

9.4 La toposéquence « CIG » : disparition du signal haie/rideau de culture

La situation représentée par la toposéquence CIG (rideau arasé) est très différente et peu comparable aux précédentes. Nous avons toutefois fait le choix de présenter ici les résultats obtenus sur ces parcelles, car ils permettent de rendre compte d'une évolution brutale possible des sols, si ceux-ci sont soumis à des travaux de terrassement d'ampleur.

Pour cette étude, nous procédons de la même manière qu'avec les autres toposéquences. Nous traiterons dans un premier temps du calcul des stocks de terre, des stocks de colluvions et enfin des stocks de C_{org} par tranche de 10 cm et par horizon. Notons toutefois ici, qu'aucune estimation sur les zones d'ablation ou de dépôt ne sera faite ici.

9.4.1 Évolution des densités apparentes des sols de la toposéquence CIG

Les d_a des profils CIG, présentées sur la figure 9.26, montrent des évolutions importantes avec une amplitude des valeurs comprises entre 1,1 et 1,5. Sur les trois profils, la d_a reste comprise entre 1,3 et 1,5 jusqu'à 50 cm de profondeur, avant de baisser à 1,2 ou 1,1 CIG 02) dans le loëss.

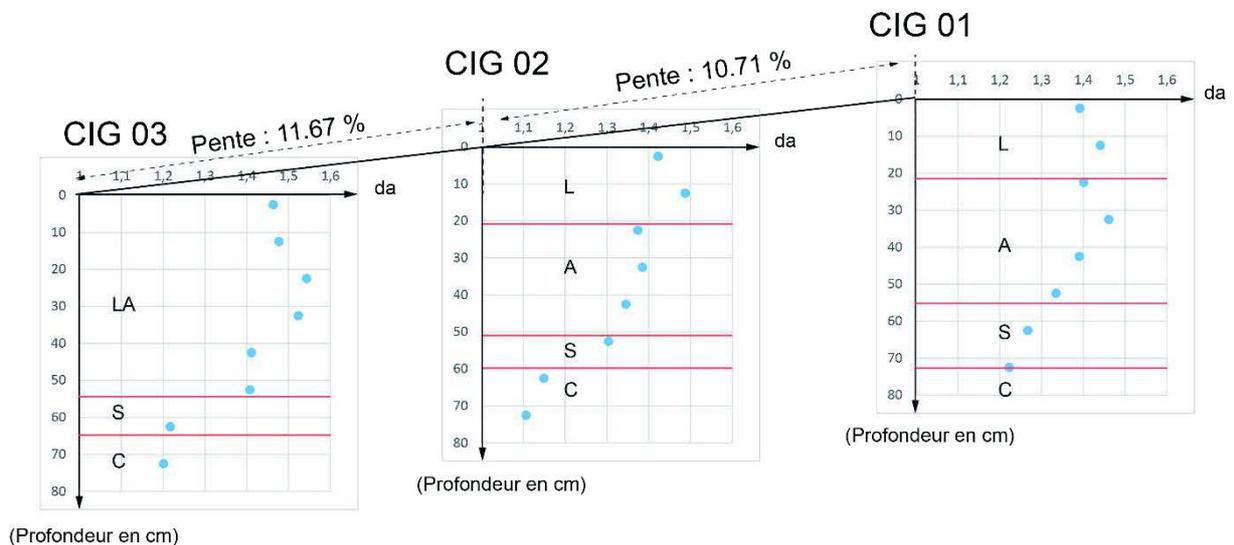


Figure 9. 26 : Evolution des densités apparentes pour les 3 profils de sols de la toposéquence CIG ; Source : Lucie Froehlicher

9.4.2 Calcul des stocks de terre pour la toposéquence « CIG »

Le calcul des stocks de terre montre que leur répartition n'est pas corrélée avec la pente. Le stock de terre le plus élevé est situé à l'amont de la toposéquence au niveau du profil CIG 01 avec 1240,7 kg/m² sur 75 cm (figure 9.27). Sur CIG 02, le stock de terre est plus bas, 887.5 kg/m² sur 65 cm. Le dernier profil, CIG 03, présente quant à lui un stock de terre plus élevé que CIG 02 avec 943 kg/m² sur 65 cm. Un tel déséquilibre dans l'organisation des stocks de terre est sans doute lié aux travaux mécaniques d'arasement du talus. Nous n'avons pas calculé ici de stocks de colluvions : ils sont identiques aux stocks de terre.

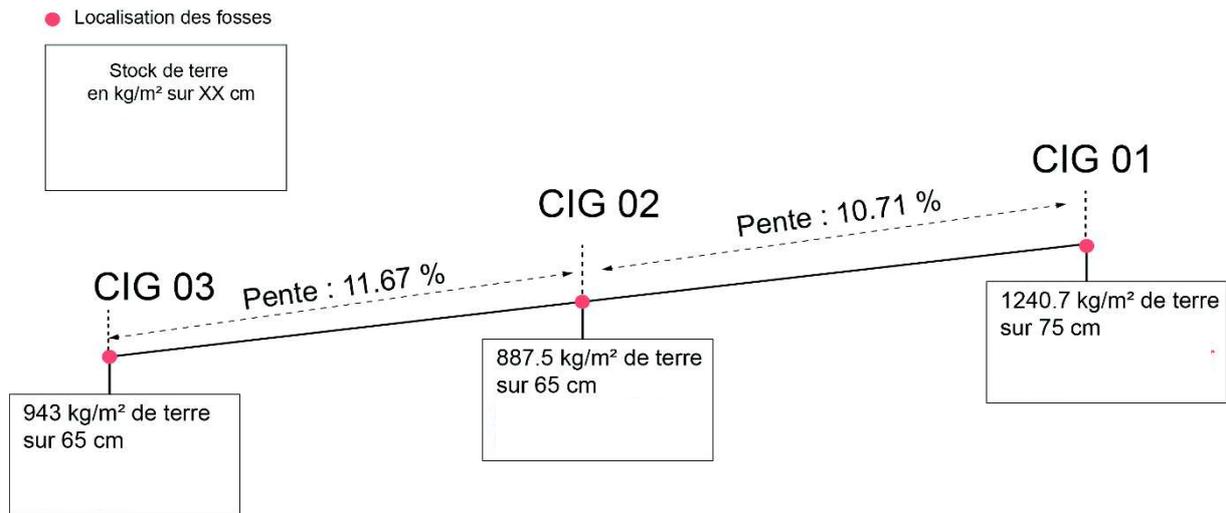


Figure 9.27 : Stock de terre des profils de sol de la toposéquence CIG ; Source : Lucie Froehlicher

9.4.3 Stockage du C_{org} dans des sols de haie disparue : la toposéquence « CIG » à Habsheim

9.4.3.1 Evolution du stock de C_{org} avec la profondeur tous les 10 cm pour la toposéquence « CIG »

L'évolution, par tranches de 10 cm, des stocks de C_{org} cumulés et non cumulés est présentée sur les figures 9.28 et 9.29. Les stocks sont assez faibles dès la surface avec 0.55 kg/m² pour CIG 01, 0.67 kg/m² pour CIG 02 et 0.74 kg/m² pour CIG 03. Pour l'ensemble des 3 profils, on enregistre des valeurs relativement constantes jusque vers 50 cm, profondeur à laquelle on observe une baisse. Sur CIG 02 et CIG 03, un enrichissement est noté vers 35-45 cm.

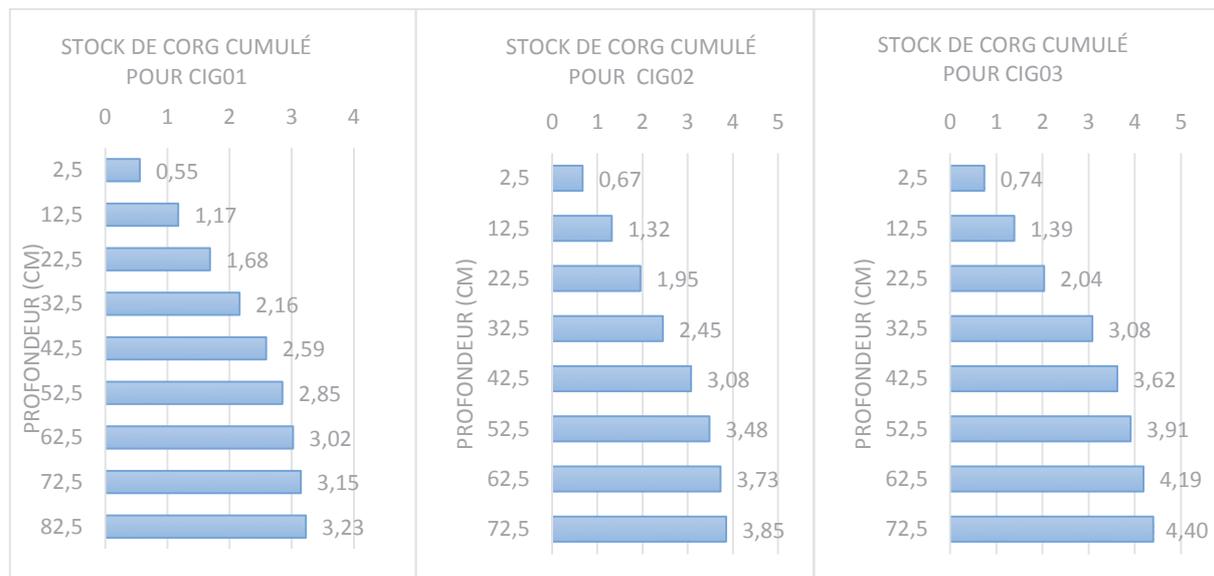


Figure 9.28 : Evolution des stocks de Corg cumulés pour les profils CIG01, CIG02 et CIG03 ; Source : Lucie Froehlicher

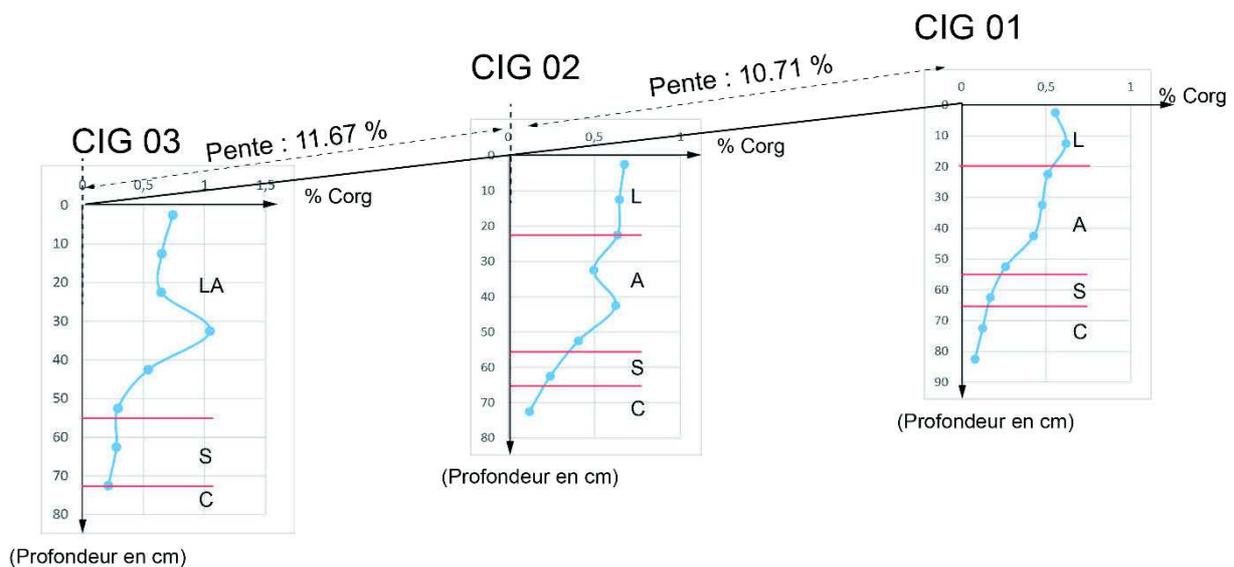
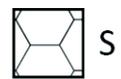


Figure 9.29 : Evolution des stocks de Corg pour les profils CIG01, CIG02 et CIG03 ; Source : Lucie Froehlicher

9.4.3.2 Evolution du stock de Corg horizon par horizon pour la toposéquence « CIG »

Lorsqu'on analyse la répartition des stocks de C_{org} par horizon, le premier constat est le même que pour les autres toposéquences : l'horizon de labour (L) présente de manière systématique le stock en C_{org} le plus important (figure 9.30). Encore une fois, nous ne connaissons pas ici l'impact des pratiques agricoles. Ainsi, l'interprétation des stocks de surface doit être nuancée. Une rupture brutale est enregistrée entre les horizons L, A et les horizons structuraux S, où les stocks passent sous les $0,4 \text{ kg/m}^2$. Sous ces horizons structuraux, les horizons lœssiques (C) présentent des stocks « classiques » au vu de tous ceux mesurés pour les toposéquences d'UFF, d'HABS, de l'ordre de $0,20 \text{ kg/m}^2$. Au niveau inter profils, les répartitions sont assez homogènes (hormis LA pour CIG 03 où la différenciation entre horizons L et A n'a pas été possible). En termes de stockage, le bilan que l'on peut faire sur cette toposéquence est le stockage du C_{org} est très limité sous les horizons L et A que l'on considère ici comme étant l'ancien horizon de labour. Avec une telle organisation des sols et de la répartition des stocks de C_{org} , l'existence ancienne d'une haie est difficilement détectable. Une des conclusions que l'on peut tirer de cette organisation est que, pour cette toposéquence, la transformation des sols induite par l'arrachage de la haie ne suggère d'aucune façon l'existence d'une haie passée à cet emplacement. De plus le stockage induit par la présence d'un rideau disparaît lors de l'arasement. En clair, pour pérenniser le stockage du carbone dans les sols de rideaux de culture, il est important que ces structures restent en place.



S



L (Labour)



C (Loess)



A

1 cm
1 cm = 1 kg C.O

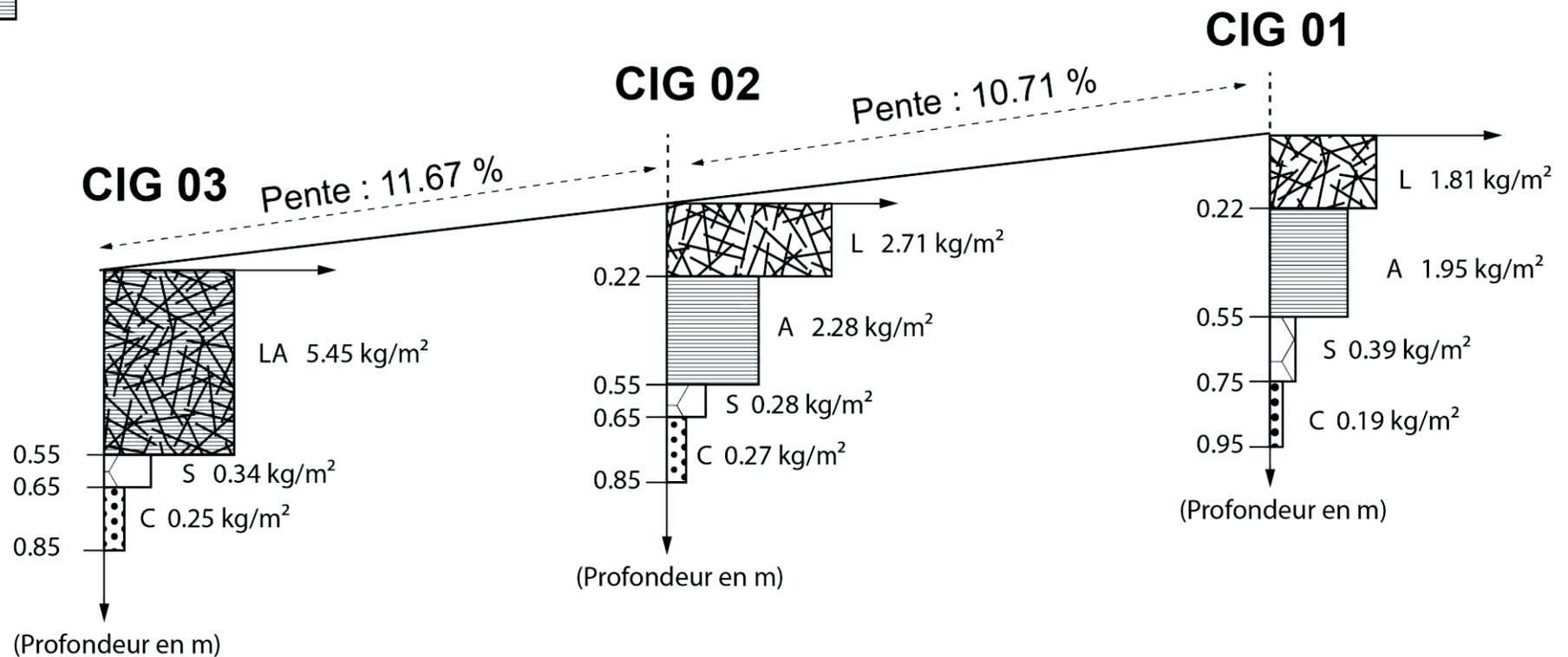


Figure 9.30 : Evolution des stocks de Corg par horizons pour les profils CIG01, CIG02 et CIG03 ; Source : Lucie Froehlicher

9.5. Conclusion

Au terme de cette étude, le bilan que l'on peut tirer sur les stocks de terre et de carbone organique est contrasté. L'efficacité des haies pour le stockage des terres et le blocage de l'érosion nous semble largement démontrée. En revanche, le stockage de carbone organique dans les sols colluviaux reste limité, même s'il n'est pas nul. La minéralisation reste active, sans doute tant que l'enfouissement n'est pas important et que le système n'est pas fossilisé. L'abondance des limons, par ailleurs, réduit la stabilité du complexe argilo-humique, ce qui restreint la possibilité de stocker du carbone.

Par ailleurs notre étude a mis en évidence l'importance des flux érosifs dès les époques préhistoriques. Des flux minimaux de 4,5 t/ha/an sont équivalents à ceux que l'on peut observer en agriculture intensive. Que l'on arrive avec des moyens techniques limités (araire) à de tels chiffres, interroge sur la part respective des contraintes du milieu et de celle des itinéraires techniques.

Conclusions et perspectives

Cette étude sur la dynamique et l'intérêt des paysages de haies en Alsace a nécessité une étude pluridisciplinaire, rapprochant de nombreuses disciplines telles que la géographie, la pédologie, la géomatique, l'histoire, l'archéologie,... Les résultats produits à partir de ces différentes approches sont multiples et permettent, une fois associés, de comprendre le paysage et ses évolutions au sein d'un système complexe et non plus en tant que simple unité paysagère. De nombreuses réponses peuvent aujourd'hui être apportées aux différents questionnements posés sur les origines, les rôles et les enjeux associés aux haies. Nous répondrons successivement aux grands questionnements posés dans cette thèse. En parallèle de ce bilan, nous poserons la question des perspectives qu'ouvriraient ces structures agraires (qui, au moins inconsciemment, évoquent le passé) à une agriculture du futur, si elles étaient réintégrées, réhabilitées dans les paysages d'openfield.

Une des premières problématiques de cette étude était de caractériser les haies et de faire un bilan sur leurs origines, leurs évolutions, leurs localisations préférentielles et autres perspectives historiques à deux échelles différentes : le territoire alsacien et le site d'étude.

A l'échelle de l'espace du Rhin Supérieur, le bilan est clair. Au vu des différents résultats du travail sur les mentions, les toponymes et autres documents géohistoriques exploités, complété par l'exploitation de la couverture LIDAR du Haut-Rhin, on peut affirmer aujourd'hui que les systèmes de haies étaient relativement généralisés dans différentes petites régions naturelles d'Alsace au moins depuis le X^{ème} siècle. Les vallées du versant est des Vosges sont un des lieux où les haies, délimitant des systèmes agraires en bandes isohypses, sont particulièrement abondantes. Elles le sont également dans les zones les plus sensibles à l'érosion, à savoir l'Outre-Forêt (67), le Kochersberg (67) et le Sundgau (68), zones de collines caractérisées par l'importance des couvertures de loess. On soulignera toutefois que la couverture LIDAR ne permet pas de relever les haies, mais les ruptures topographiques (rideaux de culture) qui leur sont associées dans les zones de collines. En ce sens, le relevé LIDAR rend compte de la couverture maximale de haies potentiellement présente sur l'espace considéré, et non pas de la réalité de leur existence à un instant T. Il y a dans cette optique un risque de surestimer l'abondance des haies à un moment donné. De même, la couverture LIDAR ne permet pas davantage de cartographier l'existence potentielle de haies dans des endroits dépourvus de relief, comme la plaine rhénane. Il y a donc là un risque de sous-évaluation des haies dans ces zones, risque toutefois limité dans la mesure où d'autres approches comme la toponymie ou l'analyse des mentions dans les archives historiques semblent aller dans le même sens. En ce qui concerne les systèmes de haies encore (ou à nouveau ?) fonctionnels en Alsace, nous avons pu montrer qu'ils étaient relativement marginaux et dans différents niveaux de conservation. Ces haies sont le plus souvent intégrées à des systèmes prairiaux, des vergers et des parcelles labourées de petites tailles. C'est à partir de ces systèmes encore actifs que nous avons pu affiner notre étude à l'échelle précise du site.

Avec les sites d'Habsheim/68 (HABS), d'Uffheim/68 (UFF) et de Marmoutier/67 (MARMOU) nous avons analysé en détail les caractéristiques, les origines et les évolutions des haies et des systèmes cultureux associés. Un des premiers résultats apportés par cette étude est l'ancienneté des haies en Alsace. Deux rideaux de culture associés à des haies ont pu être datés avec certitude de la fin de l'Age du Bronze pour l'un, de la fin du Bronze ou du tout début de l'Age du Fer pour l'autre. Par les talus qu'ils ont engendrés, ces rideaux ont fixé certaines limites du parcellaire, qui apparaissent stables depuis trois millénaires. Les archives pédologiques permettent de remonter le temps bien plus loin que les archives historiques et montrent comment certaines structures se sont pérennisées depuis des époques insoupçonnées. Toutefois, les mêmes approches à l'échelle du site ne s'opposent pas aux archives historiques. Si certaines haies datent de la Préhistoire et de la Protohistorique, leur généralisation semble davantage dater du Haut-Moyen Age. En ce sens, les approches pédologiques confortent les données historiques. C'est en travaillant à l'échelle de ces mêmes sites d'étude, que nous avons répondu à un deuxième questionnement, qui est de connaître et de quantifier le potentiel de stockage de terre érodée de ces systèmes de haies/rideaux de culture dans la lutte contre l'érosion des sols et pour le piégeage du carbone organique dans l'optique d'une lutte contre le réchauffement climatique. Le bilan établi sur le potentiel de stockage des colluvions par les haies est sans appel. Elles permettent une lutte efficace contre l'érosion des sols agricoles. Compte-tenu de la superficie estimée des zones d'ablation, les colluvions accumulées à l'amont des haies, dans les rideaux de culture, correspondent à une hauteur de sol érodé comprise entre 50 et 60 cm de haut ! Cela est loin d'être négligeable. On sait que depuis les temps préhistoriques, plus d'un mètre de sol a été érodé (c'est-à-dire *a minima* la hauteur du luvisol préexistant). Les sols étant complètement tronqués en sommet de parcelle, et le loess étant de ce fait affleurant sous l'horizon de labour, il est difficile d'estimer la hauteur réelle de sol érodé car la troncature a pu se poursuivre dans le loess. Mais si on retient pour toute la durée de mise en culture des sites depuis 5800 ans les taux d'érosion mesurés depuis le Néolithique, les colluvions stockées à l'amont des haies représentent sans aucun doute plus de 50 % de la masse de terre érodée sur les versants.

Un autre résultat fondamental apporté par l'étude de la toposéquence d'Habsheim est l'importance de l'érosion agricole au Néolithique et/ou à l'Age du Bronze : Entre les *terminus post quem* de 5800 BP (début de l'agriculture) et *ante quem* de 2700 BP (début de l'édification d'un rideau de culture) le luvisol qui occupait la partie sommitale de la colline étudiée a été complètement tronqué jusqu'au loess. On peut en déduire des taux d'érosion moyens qui étaient au minimum de 4,5 t/ha/an, tout à fait comparables à ceux qui sont mesurés en agriculture intensive, moderne. Ces chiffres sont bien des chiffres minimaux. Pour peu que la troncature se soit poursuivie dans le loess, ou que le sol n'ait été cultivé que sur la moitié de la période considérée (1500 ans sur 3100), qu'il faudrait envisager des taux moyens d'érosion de l'ordre de 9 t/ha/an. De tels chiffres questionnent nécessairement sur la part des contraintes environnementales (granulométrie du sol, pente, climat) et des itinéraires techniques (choix des cultures, mécanisation) dans l'érosion. Si l'ancienneté de l'érosion en Alsace a déjà été démontrée par quelques études pédo-archéologiques, paléoenvironnementales et archéologiques, l'intensité des flux érosifs mesurée à des échelles de temps aussi longues, pour ces périodes, et à l'échelle spatiale du versant érodé est réellement un résultat complètement nouveau et significatif.

Une fois quantifié, le stock de colluvions est mis en parallèle avec le stock en carbone organique (C_{org}) afin d'établir un bilan sur la valorisation possible des sols agricoles comme puits de carbone. Dans les sols loessiques, par nature pas très riches en C_{org} , le bilan est intéressant mais doit être nuancé. Les stocks en C_{org} calculés les plus importants sont ceux situés juste en amont des haies, là où les colluvions sont les plus épaisses. On y a mesuré des stocks de C_{org} pouvant aller jusqu'à $12,94 \text{ kg/m}^2$ (HABS 06), en fonction en particulier de l'épaisseur du colluvionnement. Une variabilité forte existe également au niveau des horizons de labour, l'ensemble des stocks relevés variant entre 2 et 4 kg/m^2 de C_{org} (le profil HABS 06 avec 6 kg/m^2 constitue une exception, liée à un épaissement de l'horizon de labour). Cette variabilité a sans doute pour principale origine les politiques d'amendement et les choix techniques des agriculteurs, mais nous n'avons pu avoir aucune information à ce sujet. Si l'on s'abstrait des horizons de labour, dont le poids compte énormément en termes de stocks de C_{org} , on note que les horizons profonds qui piègent le mieux le carbone sont ceux qui sont les plus riches en argile, ce qui n'est pas surprenant. L'exemple le plus significatif est encore une fois situé sur la toposéquence d'Habsheim, au niveau de la fosse HABS 06, où l'horizon BT stocke 4 kg/m^2 de C_{org} . La mise en parallèle des granulométries et des stocks de carbone illustre le rôle du complexe argilo-humique dans les colluvions anciennes et profondes. On notera également qu'il y a un écart important entre le stock théorique de C_{org} qu'auraient des colluvions bien fossilisées par leur enfouissement et dans lesquelles aucune minéralisation ne se produirait, et les stocks réels, qui ne représentent que 15 à 25 % de ce stock théorique. Il est toutefois difficile de préciser si cet écart important est lié à la lenteur de l'enfouissement des colluvions ou à leur nature limoneuse. Les deux phénomènes jouent très certainement.

Une discussion s'impose à présent sur la vocation et le potentiel des haies au sein de paysages agricoles moderne comme alternative à l'openfield dans les paysages agricoles d'Alsace d'une part, mais aussi dans les paysages agricoles labourés en général. Il convient de revenir, tout d'abord, sur la très forte valeur des flux moyens d'érosion mis en évidence pour les périodes préhistoriques et sur le questionnement qu'il induit en ce qui concerne la part respective des contraintes environnementales et des pratiques culturelles quant à leur responsabilité dans les phénomènes érosifs. Le moins que l'on puisse dire est qu'il met à mal le schéma caricatural opposant d'un côté le « bon sens paysan » des anciens, qui auraient pratiqué une agriculture durable, respectueuse de l'environnement, non destructive, adaptée au milieu et une agriculture moderne, intensive, monoculturale, complètement déconnectée du fonctionnement normal des écosystèmes et de ce fait destructrice. Faut-il pour autant dédouaner cette dernière et se réfugier derrière une fatalité liée à la nature du milieu physique ? Non, et cela au moins pour trois raisons. La première est que le niveau de connaissance que nous avons du fonctionnement des milieux, des processus qui régissent ce fonctionnement font que nous savons que nous dégradons le milieu et nous donne l'obligation morale d'y réagir. La deuxième est que cette même connaissance nous donne également les moyens scientifiques et techniques pour proposer des solutions. La troisième, enfin est liée au fait que nous vivons dans un monde très différent, ne serait-ce que par la densité de population dans les villages, et que les dégâts occasionnés par l'érosion deviennent disproportionnés. Il suffit pour s'en convaincre de consulter les quotidiens régionaux locaux. En Alsace, le mois de juin 2016 témoigne de cette triste réalité. Pendant trois semaines consécutives des dizaines de coulées d'eaux boueuses d'origine agricole pour l'essentiel ont provoqué des dégâts environnementaux (pertes des sols, pollutions des cours d'eau,...), sur les infrastructures et

des pertes humaines (figure 10.1). Dans le détail, c'est la conjonction entre des événements climatiques exceptionnels (des orages violents qui ont suivi une longue phase pluvieuse), la faible couverture végétale des sols en raison l'omniprésence du maïs, leur forte saturation en eau après un printemps particulièrement pluvieux et la présence de lotissements dans des zones vulnérables. Compte-tenu de l'efficacité prouvée sur le long terme des haies, et plus encore des successions des haies sur un même versant dans la rétention de terre, la question de leur réintroduction dans les zones à risque est clairement posée.

6 juin 2016



Les coulées d'eau boueuse ont inondé la rue Principale avant de gagner le lotissement. PHOTO: DINA

10 juin 2016 / Burnhaupt-le-Bas (68)



Mercredi, Burnhaupt-le-Bas a été victime d'un orage diluvien et stationnaire.

Juin 2016 / Flaxanden (68)



Flaxlanden sous la boue

Les travaux de nettoyage s'annoncent longs. PHOTO: DINA

9 juin 2016 / Romanswiller (67)



Rue de Neuhöflich à Wasselonne. Des rivières parent de 1,70 m d'eau. PHOTO: DINA

Rue des Tissorands à Romanswiller. La canalisation du Crastatloch a cédé.

8 juin 2016 / Wasselonne (67)



À Salmbach, dimanche après-midi des vagues d'eau ont dévalé la rue de Villars, qui s'est transformée en torrent. PHOTO: DINA

Figure 10.1: Extraits d'articles des Dernières Nouvelles d'Alsaces sur les coulées de boues ; Montage : Lucie Froehlicher

Par ailleurs, avec les conséquences dramatiques prévisibles du réchauffement climatique, les politiques ont dû réagir et trouver des actions en faveur d'une lutte active pour limiter les gaz à effets de serre. Le piégeage du carbone dans les sols agricoles est l'une de ces alternatives (Papy, 2016). Différents programmes scientifiques cherchent à prouver et à valoriser le rôle que peuvent jouer les sols dans cette lutte contre le réchauffement climatique. L'initiative 4/1000 et l'un de ces programmes français à enjeux internationaux s'engageant dans la COP21 pour lutter contre le réchauffement climatique. Il a pour vocation d'augmenter le piégeage du carbone organique dans les sols agricoles à la hauteur relative de 0.4 ‰ par an du stock préexistant dans les 40 cm supérieurs du sol, et cela de manière continue afin de compenser l'augmentation annuelle des gaz à effet de serre à l'échelle globale. Les résultats de notre étude constituent une base intéressante pour cette initiative puisqu'ils montrent que même dans des sols limoneux, par nature peu fournis en complexe argilo-humique, qu'un stockage de C_{org} est possible dans des colluvions épaisses et stabilisées dans des rideaux de culture. Ce stockage sera sans doute plus long que dans les 40 cm supérieurs du sol. D'une

manière générale, hors colluvions, des techniques qui permettraient d'enfouir profondément le C_{org} , par exemple dans le loess des sols tronqués seraient à tester. On relèvera d'ailleurs que dans la très grande majorité des études qui ont été ou sont faites sur le stockage du carbone, les horizons de sols profonds sont complètement négligés. D'autre part, pour ce qui est des horizons superficiels, les grandes disparités que l'on relève dans les horizons de labour en ce qui concerne les stocks de C_{org} , qui varient en général de 2 à 4 kg/m² pour des épaisseurs comparables montrent qu'il y a là une grande marge d'augmentation du stock pour les sols où ils sont les plus faibles. Par ailleurs, l'installation de haies pourrait créer des zones où le stock total du sol augmenterait considérablement, ne serait-ce qu'en raison de la forte densité de racines, productrices de différents types de carbone (sucres solubles, acides organiques, matière organique provenant de leur décomposition,...), dans les horizons profonds.

Qu'il s'agisse du stockage de carbone organique ou de lutte antiérosive, une des questions clef à laquelle il convient de réfléchir est donc bien celle de la réintroduction de systèmes de haies bien pensés à l'échelle des versants. Autant que la question de leur acceptabilité par les populations et les agriculteurs, il convient de réfléchir à la compatibilité des haies avec une agriculture « moderne », terme auquel on pourra préférer celui d'agriculture « rentable ». Des successions de haies perpendiculaires à la pente sont-elles compatibles avec une agriculture très mécanisée ? Et si oui, quel type de haies ? Des haies pérennes, productives ou non ? Des haies entièrement constituées d'espèces valorisables économiquement à court terme, style miscanthus ou arbustes pour fournir du BRF ? Il est clair que dans les paysages d'openfield, la réimplantation de systèmes de haies est complexe. Elle nécessiterait des redécoupages parcellaires considérables, peut-être incompatibles avec les pratiques agricoles industrielles que l'on connaît aujourd'hui, voire un changement du panel de plantes cultivées dans les zones les plus sujettes à l'érosion. Un exemple comparatif concret est constitué par le Kaiserstuhl, situé dans la plaine rhénane allemande entre Colmar et Fribourg-en-Brisgau. Ce petit massif d'origine volcanique est localement couvert d'épaisses (parfois 20 m) couches de loess. Dans le dernier quart du XX^e siècle, de très gros travaux ont été faits pour créer tout un réseau de terrasses agricoles, principalement occupés par des vergers industriels. Malgré ces difficultés, au vu de l'intensité de l'érosion et de leurs conséquences humaines et économiques, au vu des conséquences déjà observées du réchauffement climatique, des adaptations et même des changements drastiques dans nos pratiques agricoles sont inévitables. Ces adaptations déjà en cours se traduisent d'une part par de nouvelles adaptations des plantes OGM ou biotechnologies en réponses aux catastrophes climatiques toujours plus nombreuses, plus intenses et plus longues. Ces biotechnologies du futur ont pour vocation de créer des OGM « arborant de nouveaux traits : tolérance au stress hydrique, meilleure adaptation aux risques climatiques, résistance aux maladies, meilleure valorisation des engrais,... » (Bertheau, 2016). Des recherches sur des OGM résistants à la sécheresse sont même en cours, pour coller aux prévisions environnementales désastreuses qui nous attendent (Bertheau, 2016). Cependant, les résultats escomptés ne sont toujours pas là. Des études révèlent même l'anti productivité de certaines plantes génétiquement modifiées au vu des résultats obtenues dans des systèmes de cultures agro-écologiques, beaucoup plus productives. Ainsi, avec des biotechnologies beaucoup trop instables, d'autres réponses doivent être apportées pour limiter la baisse de la production alimentaire.

Au vu des résultats produits dans cette thèse, un premier scénario d'adaptation des pratiques agricoles peut être proposé pour le territoire alsacien afin d'assurer une sécurité alimentaire pour les générations futures. Ce scénario consisterait dans un premier temps à contrôler l'érosion des parcelles agricoles trop vulnérables où le colluvionnement est trop important. Ce contrôle se ferait par l'implantation de haies au sein des parcelles agricoles afin de bloquer et stocker les flux colluviaux. Avec la réforme de la PAC 2015-2020, ce changement est à envisager avec les paiements de base et les paiements verts établis en fonctions des surfaces agricoles de l'agriculteur et du respect des trois critères environnementaux : « contribution au maintien des prairies permanentes, diversité des assolements (au moins trois cultures différentes) et présence d'au moins 5 % de surfaces d'intérêt écologique (SIE) sur la superficie arable de l'exploitation » (Agreau, 2015). D'autre part, ces espaces végétalisés sont aujourd'hui largement valorisables tant au niveau écologique (trames vertes et bleues, réserve faune et flore) qu'au niveau de la biomasse produite. En 1974 déjà, dans l'ouvrage de Duvigneaud, le botaniste Martin Tanghe dépeint un paysage caractérisé par une « utilisation abusive d'un paysage » (figure 10.2A) et un paysage avec « une utilisation rationnelle [...] où il fait bon vivre » (figure 10.2B). Ces deux images montrent à quoi pourrait ressembler nos paysages d'openfield en les restructurant. On voit sur ces figures un redécoupage des parcelles qui deviennent plus petites et associées à des systèmes de haies. Sans pour autant partir dans un système bocager, quelques haies placées à des endroits stratégiques et avec des écartements judicieusement calculés permettraient de rétablir des flux de matières modérés préservant la stabilité des sols.

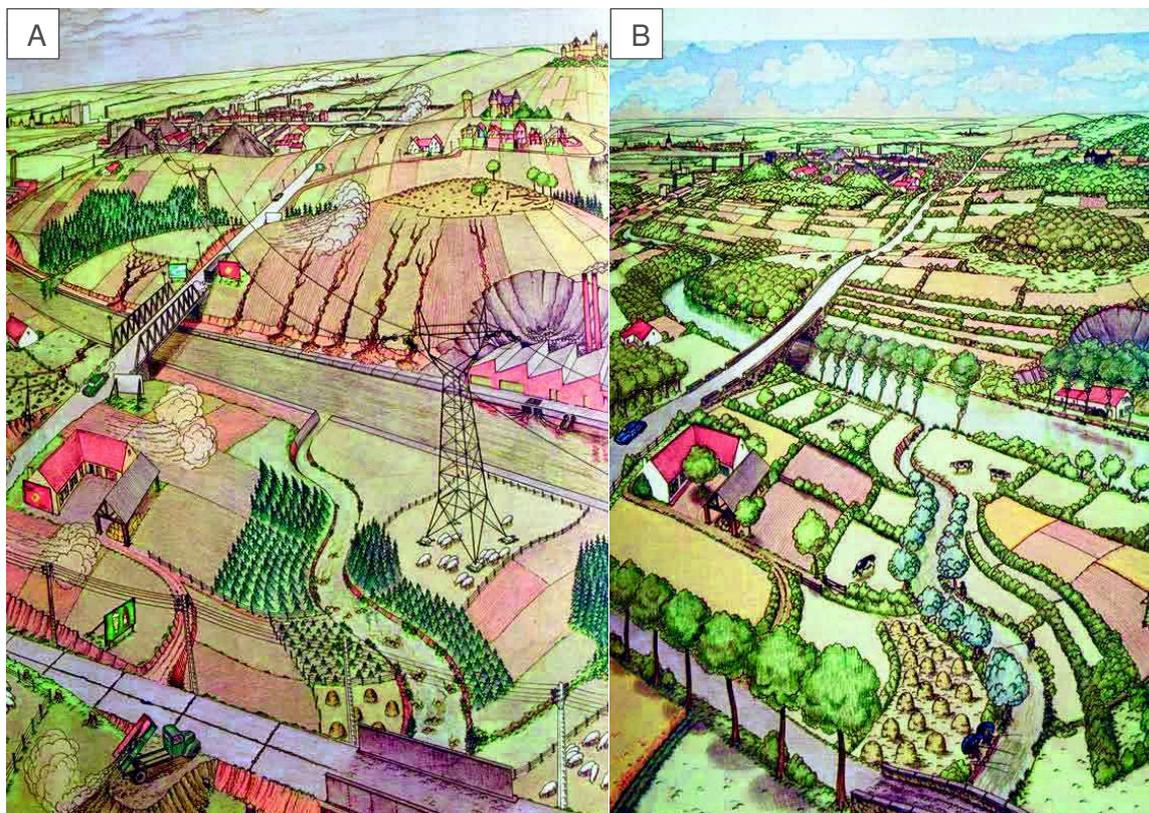


Figure 10.2 : Avant/Après implantation de haies, œuvres tirées de La synthèse écologique de Duvigneaud (1974) ; Auteur : Martin Tanghe

Une fois cette stabilité des sols maîtrisée, le reste sera induit. Si les processus d'érosion et de colluvionnement sont contrôlés et réduits par l'installation d'un réseau de haies bien pensé, les processus de stockage de terre et du C_{org} à l'échelle du versant, voire de la parcelle, devraient pouvoir être résolus.

Bibliographie

- ADBR, 3P496/40. Tableau d'assemblage du plan cadastral parcellaire de la commune de Marmoutier, 1822. Carte et légende.
- ADBR, 3P496/44. Cadastre de la commune de Marmoutier, Section D1, feuille 1^{ère}, 1822.
- ADEME, 2012. Stratégie Agriculture et Forêt, Période 2010-2013, Orientations stratégiques de l'ADEME, Polynôme, 24 p.
- ADEME, 2014. Carbone organiques des sols : L'énergie de l'agro-écologie, une solution pour le climat. ADEME Editions, 15 p.
- ADHR C 1164/7. Plans de finage de l'Intendance d'Alsace, 1760-1762. Feuille et légende, Habsheim.
- ADHR C1175/12. Plans de finage de l'Intendance d'Alsace, 1760-1762. Feuille et légende, Uffheim.
- ADHR, C1173/18. Plans de finage de l'Intendance d'Alsace, 1760-1762. Feuille et légende, Sierentz.
- AFES, 1992. Référentiel pédologique 1992. Principaux sols d'Europe, Versailles, INRA éditions, 222 p.
- AGREAU, 2015. Arbres, haies et bandes végétalisées dans la PAC 2015-2020. Fiche Règlementaire, France, 15 p.
- ALLIX A., 1931. Les rideaux, étude topographique. Les Etudes rhodaniennes, 7 (2) : 220
- AMOREUX P.-J., 1787. Mémoire sur les haies destinées à la clôture des prés, des champs, des vignes & des jeunes bois : où l'on traite des différentes espèces de haies, de leur construction et de leurs avantages. Paris, Edition Cuchet, 238 p.
- ANDERSEN B.G., BORNS H. Jr., 1997. The Ice Age World. Scandinavian University Press, 229 p.
- ANTOINE A., MARGUERIE D., 2007. Bocages & Sociétés. Actes du colloque organisé à l'Université Rennes 2, Presses Universitaires de Rennes, Rennes, 510 p.
- ANTOINE J.-M., 2008. Les mots des risques naturels. Presses Universitaires du Mirail, Toulouse, 128 p.
- ANTOINE P., ROUSSEAU D.-D., ZOLLER L., LANG A., MUNAT A.-V., HATTE C., FONTUGNE M.R., 2001a. High-resolution record of the last inter-glacial cycle in the loess palaeosol sequences of Nussloch (Rhine Valley-Germany). Quaternary International, 76/77 : 211-229

- ANTOINE P., ROUSSEAU D.-D., HATTE C., GAUTHIER C., MOINE O., LANG A., FUCHS M., ZOLLER L., LAGROIX F., 2001b. Aeolian dynamics and processes during the last glacial in Europe : data from loess-palaeosol sequences. Ukraine/Dnieper Valley, 30 p.
- ARMAND R., 2009. Etude des états de surface du sol et leur dynamique pour différentes pratiques du travail du sol : Mise au point d'un indicateur de ruissellement. Thèse, Université de Strasbourg, Strasbourg, 208 p.
- ARMAND R., BOCKSTALLER C., AUZET A.-V., VAN DIJK P., 2009. Runoff generation related to intra-field soil surface characteristics variability. Application to conservation tillage context. *Soil & Tillage Research*, 102 : 27-37.
- ARROUAYS D., BALESSENT J., GERMON J.-C., JAYET P.-A., SOUSSANA J.-F., STENGEL P., 2002. Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? INRA, rapport d'expertise scientifique collectif, 334 p.
- ARROUAYS D., SABY N., 2003. Une simulation de l'utilisation d'un réseau de surveillance pour le contrôle du carbone séquestré dans les sols, détecterons-nous des changements ? *Etude et Gestion des Sols*, 7-17.
- ARROUAYS D., FELLER C., JOLIVET C., SABY N., ANDREUX F., BERNOUX M., CERRI C., 2003. Estimation de stocks de carbone organique des sols à différentes échelles d'espace et de temps. *Etude et Gestion des sols*, 10 : 347-355.
- ASSELIN E., DOMENECH G., 2007. De l'arbre au sol, les BRF. Éditions du Rouergue, 192 p.
- AUBERT G., BAIZE D., DOSSO M., JAMAGNE M., « SOLS - Diversité des sols », Encyclopædia Universalis [en ligne], consulté le 4 février 2016. URL : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/sols-diversite-des-sols/>
- AUFRERE L., 1929. Les rideaux, étude topographique. *Annales de Géographie*, 38 (216) : 529-560.
- AUGE S., 1999. La bourse aux arbres dans la Manche. *Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 36 : 25-38.
- AUZET A.-V., 1987. L'érosion des sols cultivés en France sous l'action du ruissellement. *Annales de Géographie*, 537 : 529-556.
- AUZET A.-V., BOIFFIN J., LUDWIG B., 1995. Concentrated flow erosion in cultivated catchments : Influence of soil surface state. *Earth Surface Processes and Landforms*, 20 : 759- 767.
- AUZET A.-V., KIRKBY M.J.M., VAN DIJK P., 2005. Surface characterisation for soil erosion forecasting : *Catena*, 62 : 77-208.
- AWITI A.O., WALSH M.G., SHEPHERD K.D., KINYAMARIO J., 2008. Soil condition classification using infrared spectroscopy : A proposition for assessment of soil condition along a tropical forest-cropland chronosequence. *Geoderma*, 43 (1-2) : 73-84.

- BACHELIER G., 1968. Contribution à l'étude de la minéralisation du carbone des sols, sa mesure en laboratoire et sur le terrain, sa nature, son dynamisme et son intérêt. Mémoire ORSTOM n° 30, ORSTOM, Paris, 145 p.
- BAIZE D., 1988. Guide des analyses courantes en pédologies. INRA, Paris, 172 p.
- BAIZE D., 2004. Petit lexique de pédologie. INRA-Quae, Paris, 274 p.
- BAIZE D., GIRARD M.C., 2009. Référentiel pédologique 2008. Editions Quae/AFES, 405 p.
- BAIZE D., JABIOL B., 2011. Guide pour la description des sols. Editions Quae, Versailles, 429 p.
- BALESDENT J., 1996. Un point sur l'évolution des réserves organiques des sols en France. Etude et Gestion des sols, Numéro spécial 3/4 : 245-260.
- BALESDENT J., GUILLET B., 1982. Les datations par le ^{14}C des matières organiques des sols. Contribution à l'étude de l'humification et du renouvellement des substances humiques. Science du Sol, 20 (2) : 93-112.
- BALESDENT J., DERRIEN D., FONTAINE S., KIRMAN S., KLUMPP K., LOISEAU P., MAROL C., NGUYEN C., PERSONENI E., ROBIN C., 2011. Contribution de la rhizodéposition aux matières organiques du sol, quelques implications pour la modélisation de la dynamique du carbone. Etude et Gestion des Sols, 18 : 201-216.
- BARD E., ARNOLD M., FAIRBANKS R.G., HAMELIN B., 1993. ^{230}Th - ^{234}U and ^{14}C ages obtained by mass spectrometry on corals. Radiocarbon, 35(1) : 191-199.
- BARTHES B., BRUNET D., FERRER H., CHOTTE J.-L., FELLER C., 2006. Détermination of total carbon and nitrogen content in range of tropical soils using near infrared spectroscopy : influence of replication and sample grinding and drying. Journal of Near Infrared Spectroscopy, 14 : 341-348.
- BASF SE. Les maladies du blé, [En ligne]. http://www.agro.basf.fr/agroportal/fr/fr/cultures/les_cereales/la_protection_phyto_du_ble/les_maladies_ravageurs_et_adventices/les_maladies/les_maladies.html (Page consultée le 1er février 2016)
- BAUDRY J., BUNCE R.G.H., BUREL, 2000. Hedgerows : An international perspective on their origin, function and management. Journal of environmental Management, 60 : 7-22.
- BAUDRY J., JOUIN A., 2003. De la haie aux bocages. Organisation, dynamique et gestion. INRA Edition, Paris, 435 p.
- BENOIT-JANIN P., 1985. Carte pédologique de France à 1/100 000, Feuille Langres, Notice explicative. INRA, Olivet, 125 p.
- BERNOUX M., CHENU C., BLANCHART E., EGLIN T., BISPO A., BARDY M., KING D., 2011. Le programme GESSOL 2 : Impacts des pratiques agricoles sur les matières organiques et les fonctions des sols. Etude et Gestion des Sols, 18 (3) : 137-145.

- BERNOUX M., CHEVALLIER T., 2013. Le carbone dans les sols des zones sèches, Des fonctions multiples indispensables, Agropolis International, Comité Scientifique Français de la Désertification, Les dossiers thématiques, 10 : 42 p.
- BERTHEAU Y., 2016. Nourrir le monde : quelles positions pour les biotechnologies ? *Courrier de l'environnement de l'Inra*, 66 : 9-24.
- BLOCH M., 1931. Les caractères originaux de l'histoire rurale française. Tome I. Librairie Armand Colin, Paris, 265 p.
- BNU, MCarte 1196-130. Mulhausen Ost 3685.
- BNUS, MCarte554. Plan d'assemblage de la commune de Habsheim, édition 1918.
- BOEHLER J.-M., 1995. Une société rurale en milieu rhénan : La paysannerie de la plaine d'Alsace (1648-1789), 2ème édition revue et corrigée, Presses Universitaires de Strasbourg, Strasbourg, 3 tomes, 964 p., 1030 p. et 467 p.
- BOEHLER J.-M., 2014. Septième fascicule de la collection Alsace Histoire, *Revue d'Alsace* [en ligne], 140 / 2014. Mis en ligne le 01 septembre 2014, consulté le 15 juin 2016, URL : <http://alsace.revues.org/2162>
- BOESCH Q., 2014. Rapport de terrain + fichiers. Inédit.
- BOGAARD A., 2004. Neolithic farming in Central Europe: an archaeobotanical study of crop husbandry practices. London : Routledge.
- BOGAARD A., 2005. "Garden agriculture" and the nature of early farming in Europe and the Near East. *World Archaeol* , 37 (2) : 177-196.
- BOGAARD A., JONES G., CHARLES M., 2005. The impact of crop processing on the reconstruction of crop sowing time and cultivation intensity from archaeobotanical weed evidence. *Vegetation History and Archaeobotany*, 14 : 505-509.
- BOISSINOT A., BRACONNIER H., BRACONNIER J.-C., BRACONNIER H., BRACONNIER N., MORIN-PINAUD S., GRILLET P., 2014. Terres de bocage. Concilier nature et agriculture. Editions Ouest-France, 252 p.
- BONNEAU M., SOUCHIER B., 1979. *Pédologie, 2, Constituants et propriétés du sol*. Masson, Paris, 459 p.
- BONNEAU M., SOUCHIER B., 1994. *Pédologie, 2, Constituants et propriétés du sol*. 2^{ème} Edition, Masson, Paris, 655 p.
- BONNIER G., sans date. La grande flore en couleurs de Gaston Bonnier. Librairie générale de l'enseignement, Paris, 120 fascicules + 1 table générale.
- BRAQUE R., 1961. Observations sur quelques sols forestiers des confins méridionaux du Bassin Parisien. *Bull. Association française pour l'Etude du Sol*, 5 : 216-234.
- BRAS C., BAUD P., BOURGEAT S., 2013. Dictionnaire de géographie. Initial, 608 p.
- BRGM, 2014. Les sols. Géosciences, La revue du BRGM pour une Terre Durable, 18 : 313 p.

- BRYAN R.B., 2000. Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope. *Geomorphology*, 32 : 385-415
- BU C.-F., CAI Q.-G., NG S.-L., CHAU K.-C., DING S.-W., 2008. Effects of hedgerows on sediment erosion in Three Gorges Dam Area, China. *International Journal of Sediment Research*, 23 : 119-129.
- BURACZYNSKI J., BUTRYM J., 1984. La datation des loëss du profil d'Achenheim (Alsace) à l'aide de la méthode de thermoluminescence. *Bulletin de l'Association française pour l'Etude du Quaternaire*, 21 (4) : 201-209.
- BURNELL O.W., RUSSELL B., IRVING A., CONNELL S.D., 2013. Eutrophication offsets increased sea urchin grazing on seagrass caused by ocean warming and acidification. *Marine Ecology, Progress series*, 485 : 37-46.
- CALVET R., 2003. Le sol Propriétés et fonctions, constitution et structure phénomènes aux interfaces. Editions France Agricole, Dunod, Tome 1, 457 p.
- CAMPY M., MACAIRE J.-J., 1989. Géologie des formations superficielles : géodynamique-faciès-utilisation. Masson, Paris, 433 p.
- CARCAUD N., ARNAUD-FASSETA G., 2014. La géoarchéologie française au XXIème siècle. CNRS Edition, Paris, 311 p.
- CARNET C., 1979. L'Effet anti-érosif du bocage en région granitique de Bretagne, In : Colloque sur l'érosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen, Strasbourg-Colmar, pp. 153-156.
- CARNET C., MEROT P., RUELLAN A., 1979. Approche du rôle des talus dans la redistribution des sols et dans le fonctionnement hydrique et hydrologique d'un bassin versant bocager en région granitique de Bretagne. *Bulletin de l'Association française pour l'Etude du Sol, Science du Sol*, 4 : 377-197.
- CAUBEL-FORGET V., GRIMALDI C., 2000. Influence du talus/haie de ceinture de fond de vallée sur le potentiel hydrique du sol. INRA Unité Sol et Agronomie de Rennes-Quimper, pp. 235-243.
- CÉCILLON L., CASSAGNE N., CZARNES S., GROS R., BRUN J.-J., 2008. Variable selection in near infrared spectra for the biological characterization of soil and earthworm casts. *Soil Biology & Biochemistry*, 40 : 1975-1979.
- CERDAN O., GOVERS G., LE BISSONNAIS Y., VAN OOST K., POESEN J.-P.M., SABY N., GOBIN A., VACCA A., QUINTON J., AUERSWALD K., KLIK A., KWAAD F.J.P.M., RACLOT D., IONITA D., REJMAN J., ROUSSEVA S., MUXART T., ROXO M.-J., DOSTAL T., 2010. Rates and spatial variations of soil erosion in Europe : A study based on erosion plot data. *Geomorphology*, 122 : 167-177.
- CHAPELOT J., 1977. L'archéologie du paysage. *La Recherche*, 83 (8) : 999-1000.
- CHAMPIER L., 1954. Mises au point sur quelques questions agraires. In : *Revue de Géographie de Lyon*, 29 (3) : 211-220.

- CHANG C., LAIRD D.A., MAUSBACH M.J., HURBURGH C.R., 2001. Near-Infrared Reflectance Spectroscopy-Principal Components Regression Analyses of soil properties. *Soil Science Society of America Journal*, 65 : 480–490.
- CHENU C., BALABANE M., 2001. Matières organiques et activité biologique des sols cultivés. Une approche des matières organiques par leurs fonctions. *Perspectives Agricoles*, pp. 42-45.
- CHENU C., VIRTO I., PLANTE A.F., ELSASS F., 2009. Clay-size organo-mineral complexes in temperate soils: relative contributions of sorptive and physical protection. In: D.A. Laird, J. Cervini-Silva (Eds.), *Carbon Stabilization by Clays. CMS workshop lectures*. The Clay Minerals Society, Chantilly, VA, pp. 120-135.
- CHENU C., KLUMPP K., BISPO A., ANGERS D., COLNENNE C., METAY A., 2014. Stocker du carbone dans les sols agricoles : évaluation de leviers d'action pour la France. *Innovations Agronomiques*, 37 : 23-37.
- CHOUQUER G., 2007. Spatiotemporalités des planifications historiques : une proposition de réorganisation, 23 p. <http://www.archeogeographie.org/index.php?rub=bibli/colloques/pre-actes/chouquer>.
- CHOUQUER G., 2009. Ce que le temps fait aux formes planimétriques Du péché originel de l'analyse de morphologie agraire à sa réhabilitation. *Géocarfour*, 84 (4) : 217- 227.
- CHRÉTIEN J., VERNI P., 1971. Les sols de la plaine de la Saône. *Bull. AFES*, 4 : 27-43.
- COMINO J.R., BRINGS C., LASSU T., ISERLOH T., SENCIALES J.M., MARTINEZ MURILLO J.F., RUIZ SINOGA J.D., SEEGER M, RIES J.B., 2015. Rainfall and human activity impacts on soil losses and rill erosion in vineyards (Ruwer Valley, Germany). *Solid Earth*, 6 : 823-837.
- COÛTEAUX M.M., BERG B., ROVIRA P., 2003. Near Infrared Reflectance Spectroscopy for determination of organic matter fractions including microbial biomass in coniferous forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 35 (12): 1587-1600.
- CRAHET M., 1981. Cartes pédologiques de France à 1/100 000, Feuille Chartres, Notice explicative. INRA, Olivet, 233 p.
- CUPILLARD C., RICHARD A., 2000. Les derniers chasseurs-cueilleurs d'Europe occidentale (13000-5500 av. J.C.) : Actes du Colloque International de Besançon, Doubs, 23-25 octobre 1998, 415 p.
- DABIN B., 1970. Analyse des matières organiques dans les sols : dosage du carbone organique total, ORSTOM, Bondy, 17 p.
- DE ALBA S., LINSTROM M., SCHUMACHER T.E., MALO D.D., 2004. Soil landscape evolution due to soil redistribution by tillage: a new conceptual model of soil catena evolution in agricultural landscapes. *Catena*, 58 : 77-100.
- DEFFONTAINES J.-P., 1998. Les sentiers d'un géoagronome. Paris, Arguments, 359 p.
- DELAGE P., CUI Y.J., ANTOINE P., 2005. Geotechnical problems related with loess deposits in Northern France. *Proceedings of International Conference on Problematic Soils, Famagustan*, 24 p.

- DELIBRIAS G., 1979. Problèmes liés à la datation des sols fossiles par le carbone 14. Bulletin de l'Association française pour l'Etude du Quaternaire, 16 (1) : 35-42.
- DELIBRIAS G., EVIN J., 1975. Sommaire des datations ¹⁴C concernant la Préhistoire en France, I. Dates parues de 1955 à 1974 (suite : Chapitre III : Néolithique : de environ 7000 BP à environ 4000 BP). Bull. Soc. Préhist. Française, 72 (9) : 277-288.
- DROUOT M., 1961. Thann à l'époque Mazarine (1658-1789). Histoire politique et administrative. Soc. Ed. Les Belles Lettres, Paris, 176 p.
- DUCHAUFOR P., 1977. Pédologie, tome 1 : pédogenèse et classification. Masson, Paris, 477 p.
- DUCHAUFOR P., 1997. Abrégé de pédologie, Sol, Végétation, environnement, 5ème édition, Masson, Paris, 291 p.
- DUCLOUX J., 1989. Carte pédologique de France à 1/100 000, feuille Fontenay, Notice explicative. INRA, Olivet, 204 p.
- DUCLOUX J., 1970. L'horizon bêta des sols lessivés sur substratum calcaire de la plaine poitevine. Bull. AFES, 3: 15-25.
- DUNGAIT J.A.J., HOPKINS D.W., GREGORY A.S., WHITMORE A.P., 2012. Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance. Global Change Biology, 18 (6) : 1781-1796.
- DUVIGNEAUD P., 1974. La synthèse écologique : populations, communautés, écosystèmes, biosphère, noosphère. Doin, 296 p.
- EBERSBACH R., SCHADE C., 2004. Modelling the intensity of linear pottery land use: an example from the Mörlener Bucht in the Watterau Basin, Hesse, Germany. In : Stadtarchäologie Wien (éd.), Enter the past: the e-way into the four dimensions of cultural heritage, Oxford: Archaeopress, pp. 337-348.
- ECCP (European Climate Change Programme), 2001. Working Group Sinks Related to agricultural Soil. Final Report. 75 p.
- ELDOR A.P., 2015. Soil micromorphology, ecology, and biochemistry. Fourth Edition, Elsevier, Oxford, 573 p.
- ERTLEN D., 2009. Archivage pédologique et dynamiques environnementales : mise au point d'une méthode de reconnaissance des paléovégétations, fondée sur l'analyse spectroscopique dans le proche infrarouge (SPIR) des matières organiques de sols et paléosols. Thèse, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 381 p.
- ERTLEN D., SCHWARTZ D., TRAUTMANN M., WEBSTER R., BRUNET D., 2010. Discriminating between organic matter in soil from grass and forest by near-infrared spectroscopy. Eur. J. Soil Sci., 61(2) : 207-216.
- ERTLEN D., GEBHARDT A., SCHNEIDER N., DURAND F., THOMAS Y., MICHLER M., SCHNEIKERT F., BOËS E., SCHWARTZ D., 2012. Anthropisation et érosion agraire dans un paysage loessique (Bas-Rhin, France). In : Bertonecello F., Braemer F. (éds), Variabilités

environnementales, mutations sociales. Nature, Intensités, Echelles et Temporalités des changements, XXXIIème rencontres internationales d'archéologie et d'histoire, Antibes, pp. 85-92.

ERTLEN D., SCHNEIDER N., GAUTHIER E., WIETHOLD J., RICHARD H., THOMAS Y., BÖES E., 2014. Human environmental impact from the Neolithic to the Middle Ages: a pluridisciplinary approach focused on a small catchment area at the Kochersberg (Bas-Rhin, France). *Quaternaire*, 25 (3) : 255-268.

ERTLEN D., SCHWARTZ D., BRUNET D., TRENDEL J.-M., ADAM P., SCHAEFFER P., 2015. Qualitative near spectroscopy, a new tool to recognize past vegetation signature in soil organic matter. *Soil Biology & Biochemistry*, 127-134.

European Commission, 2010. European Soil Data Center [en ligne], <http://esdac.jrc.ec.europa.eu/> (consultée le 13 mars 2016).

EVIN J., 1983. Révision de la chronologie absolue des débuts du Néolithique en Provence et Languedoc In : Premières communautés paysannes en Méditerranée occidentale : Actes du Colloque International du CNRS (Montpellier, 26-29 avril 1983) [en ligne]. Paris : CNRS édition, 1987 (généré le 18 mars 2016). Disponible sur Internet : <http://books.openedition.org/editions-cnrs/962>.

EVIN J., 1992. Les datations par le radiocarbone en géologie et en archéologie, fiabilité de la méthode selon l'origine et l'état des matériaux. Documents des laboratoires de Géologie de Lyon, Département des Sciences de la Terre, Université Claude Bernard Lyon, 122 : 99 p.

EVIN J., 2002. Le radiocarbone. In : Géologie de la Préhistoire, Miskovsky J.C. [sous la dir. de...], GEOPRE, Presses Universitaires de Perpignan, pp. 1181-1197.

FLATRES P., 1979. L'évolution des bocages : la région Bretagne. L'évolution agricole récente des bocages. 103 (1) : 303-320.

FAVROT J.-C., 1969. Les sols des terrasses de l'isle dans la région du Mussidan (Dordogne). Remarques sur les sols lessivés. *Bull. AFES*, 3 : 21-36.

FEDOROFF N., 1967. Un exemple d'application de la micromorphologie à l'étude des paléosols. *Bulletin de l'Association française pour l'Etude du Quaternaire*, 4 (3) : 193-209.

FEDOROFF N., ROSSIGNOL J.-P., 1969. Les boubènes sur limons des terrasses de la Garonne (Région d'Agen). *Bull. AFES*, 5 : 37-52.

FEDOROFF N., COURTY M.-A., 1994. Organisation du sol aux échelles microscopiques, In : Duchaufour P. et Souchier B. (dir.), *Pédologie 2. Constituants et propriétés du sol*, deuxième édition, Paris, Masson, pp. 349-375.

FINK J., 1969. Les progrès de l'étude des loëss en Europe. *Bulletin de l'association française pour l'étude du quaternaire*, supplément, pp. 3-12.

FITZPATRICK E. A., 1984. *Micromorphology of Soils*. Chapman and Hall, New York, 432 p.

FOLLAIN S., 2005. Effet du réseau bocager sur l'organisation des sols. Redistributions des sols et stockage en carbone organique. Thèse de doctorat, ENSA Rennes, 241 p.

- FOLLAIN S., WALTER C., LEGOUT A., LEMERCIER B., DUTIN G., 2007. Inducted effects of hedgerow networks on soil organic carbon storage within an agricultural landscape. *Geoderma*, 142 : 80-85.
- FOUCAULT A., RAOULT J.-F., 2005. Dictionnaire de Géologie. Dunod, Paris, 6ème édition, 382 p.
- FREIBAUER A., ROUNSEVELL M., SMITH P., VERHAGEN J., 2004. Carbon sequestration in the agricultural soils of Europe, *Geoderma*, 122 : 1-23.
- FROEHLICHER L., 2012. Paléovégétations et impacts anthropiques sur le terroir du village disparu de l'Elberforst. Mémoire de Master 1, Université de Strasbourg, 191 p.
- FROEHLICHER L., 2013. L'apport des colluvions dans la reconstitution des dynamiques paysagères à partir de la méthode de la spectroscopie proche infrarouge (SPIR), Mémoire de Master 2, Strasbourg, 172 p.
- FROEHLICHER L., SCHWARTZ D., ERTLEN D., TRAUTMANN M., 2016. Hedges, colluvium and lynchets along a reference toposequence (Habsheim, Alsace, France): The history of erosion in a loess area. *Quaternaire*, 27 (2) : 171-183.
- FROEHLICHER L., VORBURGER F., SCHWARTZ D., en préparation. Rideaux de culture et paysages de haies dans les vallées alsaciennes à la fin des époques médiévales : de la reconstitution des espaces au questionnement par l'iconographie. Pour : Histoire Rurale.
- FUCHS M., LANG A., 2009. Luminescence dating of hillslope deposits. A review, *Geomorphology*, 109 : 17-26.
- GEBHARDT A., 2000. Le rôle de la micromorphologie des sols dans la formation des paysages. *Etudes rurales* [en lignes], 153-154, mis en ligne le 14 juin 2003 (consulté le 23 février 2016). <http://etudesrurales.revues.org/8>
- GEBHARDT A., MARGUERIE D., VISET L., BERNARD V., GAUDIN L., 2007. Des premiers agriculteurs aux bocages armoricains, les données des disciplines paléoenvironnementales. In : A. Antoine & D. Marguerie (éds.), *Bocages et Sociétés*, PUB, pp. 51-61.
- GIRAUDEL C., 2002. Statut juridique des haies, propositions d'évolutions. Actes de colloque, Cerizay, pp. 13-31.
- GOBAT J.-M., ARAGNO M., MATTHEY W., 2003. Le sol vivant : bases de pédologie, biologie des sols. 2e éd. rev. et augm. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 568 p.
- GOEPP S., 2007. Origine, histoire et dynamique des Hautes-Chaumes du massif vosgien. Déterminismes environnementaux et actions de l'Homme. Thèse, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 288 p.
- GOVERS G., VANDAELE K., DESMET P., POESEN J., BUNTE K., 1994. The role of tillage in soil redistribution on hillslopes. *European Journal of Soil Science*, 45 : 469-478.
- GREGORICH E.G., GREER K.J., ANDERSON D.W., LIANG B.C., 1998. Carbon distribution and losses : erosion and deposition effects. *Soil & Tillage Research*, 47 : 291-302.

- GUILLET B., 1979. Etude du renouvellement des matières organiques des sols par des radloiso-topes (In : Bonneau M. et Souchier B., " Pedologie, 2. -Constituants et propriétés du sol ", Eds, Masson, Paris, pp. 210-226.
- GUYOT G., 1997. Climatologie de l'environnement. Masson, Paris, 505 p.
- HAASE D., FINK J., HAASE G., RUSKE R., PECSI M., RICHTER H., ALTERMANN M., JÄGER K.-D., 2007. Loess in Europe: its spatial distribution based on a European Loess Map, scale 1:2,500,000. Quaternary Science Reviews, 26 : 1301-1312.
- HAMON X., DUPRAZ C., LIAGRE F., 2009. L'Agroforesterie, outil de séquestration du carbone en agriculture. CASDAR et Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de la Pêche, 17 p.
- HANAUER A., 1864. Les constitutions de l'Alsace au Moyen-Age : Recueil de documents inédits. Librairie Salomon, Strasbourg, 389 p.
- HAUGER K., RIEDINGER R., SITTLER B., 2001. Wölbäcker im Landkreis Rastatt - Auf den Spuren mittelalterlicher Ackerfluren. Heimatbuchreihe des Landkreises Rastatt, pp. 163-172.
- HEIM J., LAUTRIDOU J.-P., MAUCORPS J., PUISSEGUR J.-J., SOMMÉ J., THEVENIN A., 1982. Achenheim : une séquence type des loess du Pléistocène moyen et supérieur. Bulletin de l'Association française de l'Etude du Quaternaire, 19 (2-3) : 147-159.
- HIGOUNET C., 1979. Les grandes haies forestières de l'Europe médiévale. Actes de congrès de la société des historiens médiévistes de l'enseignement supérieur public, 10ème congrès, Lille, pp. 213-220.
- HOEGH-GULDBERG O., MUMBRY P.J., HOOTEN A.J., STENECK R.S., GREENFIELD P., GOMEZ E., HARVELL C.D., SALE P.F., EDWARDS A.J., CALDEIRA K., KNOWLTON C.M., EAKIN C.M., IGLESIAS-PRIETO R., MUTHIGA N., BRADBURY H., DUBI A., HATZIOLOS M.E., 2007. Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. Science, 318 : 1737-1742.
- HOFF, M. 1978. La végétation des collines calcaires sous-vosgiennes. Vignobles et collines, Coll. La Nature en Alsace, Ed. Mars et Mercure, Wettolsheim, pp. 9-23.
- HOOPER M.D., 1970. Dating hedges. Area, 6 : 63-65.
- HOOPER M.D., 1981. Hedgerows as a resource. In : Last F.T., Gardiner A.S., Forest and woodland ecology : an account of research being done in ETE. Cambridge, NERC/Institute of terrestrial Ecology, pp. 20-23.
- INRA, 2002. Contribution à la lutte contre l'effet de serre : Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? Rapport d'expertise, 334 p.
- INRA, 2003. Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ? Une expertise scientifique collective réalisé par l'INRA à la demande du ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 4 p.
- ISAMBERT M., 1984. Carte pédologique de France à 1/100 000, Châteaudun, Notice explicative. INRA, Olivet, 259 p.

- ISSLER E., LOYSON E., WALTER E., 1965. Flore d'Alsace, Plaine rhénane, Vosges, Sundgau. Société d'étude de la flore d'Alsace, 636 p.
- JAENGER F., 1947. Un exemple de village fortifié en Alsace : Geispolsheim. Cahiers d'Archéologie et d'Histoire d'Alsace, pp. 133-136.
- JEUNESSE C., SCHNITZLER B., 1993. Les premiers agriculteurs : le Néolithique en Alsace. Ed. Les musées de la ville de Strasbourg, 127 p.
- JONGERIUS A., HEINTZBERGER G., 1975. Methods in soil micromorphology. A technique for the preparation of large thin sections. Soil Survey Papers, N° 10, Soil Survey Institute, Wageningen, 48 p.
- KLEBER M., JOHNSON M.G., 2010. Advances in understanding the molecular structure of soil organic matter: implication for interactions in the environment. Advances in agronomy, 106 : 77-142.
- KREUZ A., 2008. Closed forest or open woodland as natural vegetation in the surroundings of Linearbandkeramik settlements? Vegetation History and Archaeobotany, 17 : 51-64.
- KREUZ A., MARINOVA E., SCHÄFER E., WIETHOLD J., 2005. A comparison of early Neolithic crop and weed assemblages from the Linearbandkeramik and the Bulgarian Neolithic cultures: differences and similarities. Vegetation History and Archaeobotany, 14 (4) : 237-258.
- KRULL E.S., BESTLAND E.A., SKJEMSTAD J.O., PARR J.F., 2006. Geochemistry ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, ^{13}C NMR) and residence times (^{14}C and OSL) of soil organic matter from red-brown earths of South Australia: Implications for soil genesis. Geoderma, 132 : 344-360.
- KUHN W., 1953. Hecken, Terrassen und Bodenerstörung im hohen Vogelsberg. - Rhein-Mainische Forschungen 39 : 1-54.
- KWAAD, F.J.P.M., MÜCHER, H.J., 1975. A micromorphological study of some soils and slope deposits in the Luxembourg Ardennes near Wiltz in view of the latest phases of landscape development. Bulletin Société Naturalistes Luxembourgeois, 80: 8-58.
- LACHIVER M., 1997. Dictionnaire du monde rural : Les mots du passé. Fayard, Paris, 1440 p.
- LAMBERT F., DELMONTE B., PETIT J.R., BIGLER M., KAUFMANN P.R., HUTTERLI M.A., STOCKER T.F., RUTH U., STEFFENSEN J.P., MAGGI V., 2008. Dust-climate couplings over the past 800 000 years from the EPICA Dome C ice core. Nature, 452 : 616-619.
- LANG A., HÖNSCHEIDT S., 1999. Age and source of colluvial sediments at Vaihingen-Enz, Germany. Catena, 38 : 90-107.
- LAROCHE B., RICHER DE FORGES A.-C., LEMENAGER S., ARROUAYS D., SCHNEBELEN N., EIMBERCK M., TOUTAIN B., LEHMANN S., TIENTCHEU E., HELIES F., CHENU C., PAROT S., DESBOURDES S., GIROT G., VOLTZ M., BARDY M., 2014. Le programme Inventaire Gestion Conservation des Sols de France : Volet Référentiel Régional Pédologique. Etude et Gestion des Sols, 21 : 125-140.
- LAROUSSE. Dictionnaire de Français, [en ligne]. <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais> (Page consultée le 16 juin 2015).

LAROUSSE AGRICOLE, éditions de 1921, 1926, 1931, 1952, 1981, 1991, 2002. Rubrique «haie», Paris.

LAROUSSE AGRICOLE, 2002, Le monde paysan au XXIème siècle, Larousse, Paris, pp. 333-334.

LAUTRIDOU J.-P., SOMMÉ J., HEIM J., PUISSEGUR J.-J., ROUSSEAU J.D., 1985. La stratigraphie des loess et formations fluviatiles d'Achenheim (Alsace) : nouvelles données bioclimatiques et corrélations avec les séquences pléistocènes de la France du Nord-Ouest. Bulletin de l'Association française pour l'Etude du Quaternaire, 22 (2-3) : 125-132.

LEBEAU I., 1836. Précis de l'histoire d'Avesnes. Avesnes, Virous, Imprimeur-Libraire, 210 p.

LEBEAU R., 2000. Les grands types de structures agraires dans le monde. 7ème édition mise à jour, A. Colin, Paris, 182 p.

LEFEVRE R., 2015. Matière organique stable du sol : dynamique et mécanismes de (dé)stabilisation. Thèse de doctorat de Sciences de la Terre et de l'Environnement, Université Pierre et Marie Curie, 145 p.

LEFRANC P., 2001. La fin de la séquence rubanée en Haute-Alsace (Rubané récent et final) vue à travers l'évolution de la céramique décorée du site de Sierentz "Sandgrube " et "Tiergarten" (Haut-Rhin). Bulletin de la Société préhistorique française, 98 (4) : 627-646.

LEFRANC P., 2007. La céramique du Rubané en Alsace : contribution à l'étude des groupes régionaux du Néolithique ancien dans la plaine du Rhin supérieur. Strasbourg, Univ. Marc-Bloch, 499 p.

LEFRANC P., 2009. Le Néolithique. In : M. Chatelet (éd.), Fouilles et découvertes en Alsace, Ouest-France/INRAP, pp. 25-41.

LEFRANC P., DENAIRE A., BOËS E., 2010. L'habitat néolithique ancien et moyen d'Ittenheim (Bas-Rhin). Revue Archéologique de l'Est, 59 : 65-97.

LEGER M., 1990. Loess landforms. Quaternary International, 7/8 : 53-61.

LEGROS J.P., 2007. Les grands sols du monde. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 574 p.

LEMERCIER B., WALTER C., SCHVARTZ C., SABY N., ARROUAYS D., FOLLAIN S., 2006. Suivi des teneurs en carbone organique et en phosphore extractible dans les sols agricoles de trois régions françaises, Analyse à partir de la Base de Données des Analyses de Terre, Etude et Gestion des Sols, 13 : 165-180.

LENKA N.K., DASS A., SUDHISHRI S., PATNAIK U.S., 2012. Soil carbon sequestration and erosion control potential of hedgerows and grass filter strips in sloping agricultural lands of eastern India. Agriculture, Ecosystems and Environment, 158 : 31-40.

LEPLAT J., 1968. Exposé présenté aux journées de la Géologie Appliquée aux problèmes des Ponts et Chaussées, Bull. Liaison Labo. Routiers P. et Ch., 29 : 32 p.

- LE ROUX X., BARBAULT R., BAUDRY J., BUREL F., DOUSSAN I., GARNIER E., HERZOG F., LAVOREL S., LIFRAN R., ROGER-ESTRADE J., SARTHOU J.-P., TROMMETTER M., 2008. Agriculture et biodiversité, Valoriser les synergies. Expertise scientifique collective INRA, Editions Quae, 178 p.
- LIAGRE F., 2006. Les haies rurales, Rôles – création – entretien. Editions agricoles, 325 p.
- LIBBY W.F., 1955. Radiocarbon dating. 2nd Edition, University of Chicago Press, Chicago.
- LINDSTROM M.-J., 2002. Tillage erosion, description and process of. Encyclopedia of Soil Science, Marcem Dekket, Inc, New York, pp. 1324-1326
- LOZET J., MATHIEU C., 1990. Dictionnaire de Science du Sol : Technique et Documentation, Lavoisier, Paris, 384 p.
- LUCIUS M., 1961. La présence de lœss, des minéraux denses et de minéraux volcaniques dans les dépôts meubles de plateaux de notre pays. Bull. Soc. Natural. Lux., 63 : 1-18.
- MÄCKEL R., SCHNEIDER R., SEIDEL J., 2003. Anthropogenic impact on the landscape of southern Badenia (Germany) during the Holocene documented by colluvial and alluvial sediments. Archeometry, 45 (3) : 487-501.
- MARCIGNY C., 2012. Les paysages ruraux de l'Age du Bronze (2300-800 avant notre ère) : structures agraires et organisations sociales dans l'Ouest de la France. In : CARPENTIER V. et MARCIGNY C., 2012, Des Hommes aux Champs. Pour une archéologie des espaces ruraux du Néolithique au Moyen Age, Presses Universitaires de Rennes, pp. 71-80.
- MARGRETH S., 2004. Die Wirkung des Waldes bei Lawinene. Forum für Wissen, pp. 21-26.
- MARTIN B., ROVERA G., 1998. L'entretien des haies garant de leur diversité : le bocage du Champsaur (Hautes-Alpes, France). Revue de Géographie Alpine, 86 (1) : 19-32.
- MATHIEU C., 1999. Les principaux sols du monde : Voyage à travers l'épiderme vivant de la planète Terre. Lavoisier, 233 p.
- MATHIEU G., 1983. Une nouvelle station rubanée à Ensisheim (Haut-Rhin). Bulletin de la Société préhistorique française, 80 (10-12) : 349-359.
- MEERSMANS J., MARTIN M.P., LACARCE E., ORTON T.G., DE BAETS S., GOURRAT M., SABY N., WETTERLIND J., BISPO A., QUINE T.A., ARROUAYS D., 2013. Estimation of Soil Carbon Input in France : An Inverse Modelling Approach. Pedosphere, 23(4) : 422-436.
- MERIAN M., 1644. Topographia Alsatie completa. Editions Johann Georg Spörling, Franckfurth am Mayn, 16 p. non paginées + 70 p. + 38 planches h.t. – réimpression de l'édition de 1663 pour les éditions Jeanne Lafitte, Marseille (1981).
- MERCIER N., 2008. Datation des sédiments quaternaires par luminescence stimulée optiquement : un état de la question. Quaternaire, 19 (3) : 195-204.
- MEROT P., 1999. The influence of hedgerow systems on the hydrology of agricultural catchments in a temperate climate. Agronomie, EDP Sciences, 19 (8) : 655-669.

- MEROT P., GASCUEL-ODOUX C., WALTER C., ZHANG X., MOLENAT J., 1999. Influence du réseau de haies des paysages bocagers sur le cheminement de l'eau de surface. *Revue des Sciences de l'Eau*, 12 (1) : 23-44.
- METZ B., 2012. *Alsatia Munita : répertoire critique des sites fortifiés de l'Ancienne Alsace du 10ème siècle à la guerre de Trente Ans*, 122 p. (PDF à télécharger).
- MILNE E. BANWART S.A., NOELLEMEYER E., 2015. Soil carbon, multiple benefits, *Environmental Development*, pp. 33-38.
- Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt. Site du ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt [en ligne]. [consulté le 15 juillet 2016]
- MISKOVSKY J.-C., 1987. *Géologie de la Préhistoire : Méthodes, Techniques, Applications*. GéoPré, Paris, 1297 p.
- MONFORTI F., LUGATO E., MOTOLA V., BODIS K., SCARLAT N., DALLEMAND J.-F., 2015. Optimal energy use of agricultural crop residues preserving soil organic carbon stocks in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44 : 519-529.
- MULLER C., HICKEL M.-A., OSTHEIMER F., 2006. *Collections publiques et privées, parcs et jardins*, Société d'histoire et d'archéologie Dambach, Bach, Obernai, 18 p.
- MÜNSTER S., 1555. *La cosmographie Universelle, contenant la situation de toutes les parties du monde, avec leur proprietez & appartenances*, Henry Pierre Editeur, Basel, 1429 p.
- NEDELEC Y., 1978. Un phénomène ignoré des historiens, des géographes et des juristes bas-normands : les doubles haies. In : *Annales de Normandie*, 28e année, 4 : 342-344.
- OUVRY J.-F., RICHET J.-B., BRICARD O., LHERITEAU M., BOUZID M., SAUNIER M., 2012. Fascines et haies pour réduire les effets du ruissellement érosif, *Caractérisation de l'efficacité et conditions d'utilisation*. AREAS, 67 p.
- PAPY F., 2016. Le défi climatique, nouvelle donne pour l'agriculture. *Courrier de l'environnement de l'Inra*, 66 : 25-33.
- PARTY J.-P., 1999. *Guide des sols d'Alsace. Petite région naturelle. Plaine Sud-Alsace. Un guide pour l'identification des sols et leur valorisation agronomique*, 183 p.
- PARTY J.-P., 2001. *Guide des sols d'Alsace. Petite région naturelle n°11. Sundgau et Jura Alsacien. Un guide pour l'identification des sols et leur valorisation agronomique*, 252 p.
- PEARSON G.W., 1993. High-precision bidecadal calibration of the radiocarbon time scale, 500-2500 BC. *Radiocarbon*, 35 (1) : 25-33.
- PEGORIER A., LEJEUNE S., CALVARIN E., 2006. *Les noms de lieux en France : glossaire de termes dialectaux*. 3ème réédition, IGN, Paris, 519 p.
- PELLERIN S., BAMIERE L., ANGERS D., BELINE F., BENOIT M., BUTAULT J.-P., CHENU C., COLNENNE-DAVID C., DE CARA S., DELAME N., DOREAU M., DUPRAZ P., FAVERDIN P., GARCIA-LAUNAY F., HASSOUNA M., HENAULT C., JEUFFROY M.-H., KLUMPP K., METAY A., MORAN D., RECOUS S., SAMSON E., SAVINI I., PARDON L., 2014. *Quels leviers*

techniques pour l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre d'origine agricole ?
Innovations Agricoles, 37 : 1-10.

PÉTREQUIN P., JEUNESSE C., 1995. La hache de pierre. Carrières vosgiennes et échanges de lames polies pendant le Néolithique (5400-2100 av. J.-C). Bull. Soc. préhistorique française, 93 (1) : 15-16.

POLLARD E., HOOPER M.D., MOORE N.W., 1974. Hedges. Collins, London, 58, 256 p.

Preuss. Geod. Institut Potsdam, 2006 1004178. Mülhousen (Ost.)- Königl. Preuss. Landes-Aufnahme 1885. Herausgegeben, 1886. Kreis Mülhausen, Bezirk Ober-Elsass,- 1/25 000 Berlin. -Reichsmat für Landsaufnahme, 1 Kt.

PREUSSER F., DEGERING D., FUCHS M., HILGERS A., KADEREIT A., KLASSEN N., KRBETSCHER M., RICHTER D., SPENCER J.Q.G., 2008. Luminescence dating: basics, methods and applications. Quaternary Science Journal, 57 (1-2) : 95-149.

PYE K., 1995. The nature, origin and accumulation of loess. Quaternary Science Reviews, 14 : 653-667.

RAMADE F., 2002. Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement. Dunod, 2^{ème} édition, Paris, 1075 p.

RAMEAU J.-C., MANSION D., DUME G., 1989. Flore forestière française, guide écologique illustré, Tome 1, plaines et collines. IDF, Paris, 1785 p.

RENAULT-MISKOVSKY J., 1992. Dominique Marguerie : Evolution de la végétation sous l'impact humain en armorique, du néolithique aux périodes historiques. Quaternaire, 3 (3) : 154-155.

REVEL J.-C., GUIRESSE M., ROUAUD M., 2002. Effet de l'érosion aratoire sur le stockage du carbone au bassin versant du Vermeil (Sud-Ouest de la France). 336-346 In : Gestion de la Biomasse, Erosion et Séquestration du Carbone. Colloque international au Centre Agropolis, Montpellier, 23-28/9/2002, Bulletin du réseau Erosion, 22, 493 p.

RICHTHOFFEN F. von, 1878. Bemerkungen zur Lössbildung.- Verh Geol Reichsanst, Berlin, pp. 1-13.

RITSEMA C., STOLTE J., OOSTINDIE K., VAN DEN ELSEN E., VAN DIJK P., 1996. Measuring and modelling of soil water dynamics and runoff generation in an agricultural loessial Hillslope. Hydrological Processes, 10 : 1081-1089.

ROBERT P., 2005. Dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française, les mots et les associations d'idées. S.N.L, Tome troisième, Paris.

ROBERT S., 2003. Comment les formes du passé se transmettent-elles ? Etudes rurales, éditions de l'E.H.E.S.S., 167-168 : 115-131

ROOSE E., GODEFROY J., 1977. Pédogenèse actuelle d'un sol ferrallitique remanié sur schiste sous forêt et sous bananeraie fertilisée de Basse Côte d'Ivoire (Azaguié, 1967-75), Doc. ORSTOM-IRFA, Abidjan, 116 p.

ROOSE E., 1980. Dynamique actuelle d'un sol ferrallitique gravillonnaire issu de granite sous culture et sous savane arbustive soudanienne du Nord de la Côte d'Ivoire. Doc. ORSTOM, Paris, 172 p.

ROOSE E., 1994. Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES), FAO, Rome, 420 p.

ROOSE E., 2004. Erosion du carbone et indice sélectivité à l'échelle de la parcelle dans les régions tropicales et méditerranéennes. Proceedings of the International Colloquium Land Use, erosion and Carbon Sequestration, Montpellier, France, 23-28 September 2002, Bulletin du Réseau Erosion, 22 : 74-94.

ROSIQUE T., 1994. Les gisements de bois fossiles conservés dans les formations détritiques tardi- et postglaciaires du bassin du Buëch (Hautes-Alpes) : interprétation géodynamique et paléoécologique. C.R. Acad. Sci. Paris, 319 (3) : 373-380.

ROUSSEAU D.-D., DERBYSHIRE E., ANTOINE P., HATTE C., 2013. Loess records, Europe. Elsevier, pp. 606-619.

SCHARPENSEEL H.W., 1972. Zeitsch. Pflanzenern. Bodenkde, 133 (3) : 241-263.

SCHWAAB R., 1984. Le Kochersberg. I. Géographie et Economie. In : Encyclopédie de l'Alsace, Ed. Publitotal, Strasbourg, T.8, pp. 4523-4540.

SCHWARTZ D., 1991. Intérêt de la mesure du $\delta^{13}\text{C}$ des sols en milieu naturel équatorial pour la connaissance des aspects pédologiques et écologiques des relations savane-forêt. Exemples du Congo. Cahier ORSTOM, série pédologie, 26 (4) : 327-341.

SCHWARTZ D., 1992. Assèchement climatique vers 3000 BP et expansion bantou en Afrique centrale atlantique : quelques réflexions. Bull. Soc. Géol. France, 163 : 353-361.

SCHWARTZ D., 2004. Les sols à l'épreuve du temps. Dossier pour la Science, Hors-série "Le temps des datations", pp. 45-49.

SCHWARTZ D., 2012. Les temps du sol : Interprétations temporelles de l'archivage pédologique dans les approches paléoenvironmentalistes et géoarchéologiques. Etude et Gestion des Sols, 19 (1) : 51-65.

SCHWARTZ D., BERNARDY L., JOUVE-LITAUDON C., VONNA A., 2003. Le Bickenberg à Osenbach (Haut-Rhin) : Etude d'un paysage d'enclos médiéval sur les collines calcaires sèches sous-vosgiennes. Revue Géographique de l'Est, 43 (3) : 1-19.

SCHWARTZ D., GEBHARDT A., ERTLEN D., TRAUTMANN M., ZUMBRUNN O., BOES E., 2009. Découverte de traces de paléolabours (protohistoriques) sous un luvisol à Gottesheim (67). Etude pédologique, conséquences sur la formation des luvisols. In : Actes des 10^e Journées d'Etude des Sols, 11-15 mai 2009, Strasbourg, AFES/LIVE, 37-38.

SCHWARTZ D., ERTLEN D., BATTMANN J., CASPARD M., GEBHARDT A., GOEPP S., BASOGE F., KOUPLIANTZ L., METZ B., 2012. Études actuelles sur un type de parcellaire encore très peu connu en Alsace : les paysages d'enclos. Extension, typologie, éléments de datation. In : C. Marcigny et V. Carpentier (éds.), Des hommes aux champs. Pour une

archéologie des espaces ruraux dans le Nord de la France du Néolithique au Moyen-Age. Presses Univ. Rennes, p. 305-326 + planches XXXII à XXXVII.

SCHWARTZ D., ERTLEN D., DAVTIAN G., DUBOULOZ J., GAUVRY Y., VYSLOUZILOVA B., BERGER J.-F., à paraître. LBK soils and their fertility levels. Implications on the agriculture development and the population distribution. Springer Verlag, 15 p.

SERRES O. de, 1600. Le théâtre d'agriculture et mesnage des champs. Jamet Metayer, Paris, 1004 p. Réédition 1997, Actes Sud, collect. Thesaurus, 1461 p.

SERVANT J., DUPONT J., 1982. Cartes des sols de la Région centre au 1/50 000, Lère, Notice explicative. Chambre d'Agriculture du Cher, F.D.G.E.D.A, 109 p.

SHENK J.S., WORKMANN J.J.J., WESTERHAUS M.O., 2001. Application of NIR Spectroscopy to agricultural Products. In : Burns D.A. et Ciurczack E.W., Handbook of Near-Infrared Analysis, Marcel Dekker, New-York, pp. 419-474.

SITTLER B., 2004. Revealing historical landscapes by using laser scanner. A 3-D model of ridge and furrow in forests near Rastatt (Germany), International Archives of Photogrammetry, 36, (8/W2) : pp. 258-261.

SITTLER B., HAUGER K., RIEDINGER R., 2007. Les champs bombés de Rastatt en pays de Bade, in : R. Bourrigaud et F. Sigaut (éds.), Nous Labourons, Nantes, Centre d'Histoire du Travail, pp. 97-105.

SITTLER C., MENILLET F., VOGT H., LETTERMANN M., RINCK G., 1979. Carte géologique de la France à 1/50 000. 233, feuille Saverne, Orléans : Bureau de recherches géologiques et minières, BRGM, orléans, Notice XX p. + 1 carte h. t.

SITTLER L., 1956. La viticulture et le vin de Colmar à travers les siècles. Editions ALSATIA, 167 p.

SMALLEY I., MARKOVIC S. B., SVIRCEV Z., 2011. Loess is almost totally formed by the accumulation of dust. Quaternary International, 240 : 4-11.

SOLTNER D., 1980. Phytotechnie générale : les bases de la production végétale. 9ème édition, Collection Sciences et Techniques agricoles, 456 p.

SOLTNER D., 2013. Planter des haies, haies composées, haies d'aujourd'hui, au village, en ville comme aux champs. Collection Sciences et Techniques agricoles, 9ème édition mise à jour, 129 p.

SOMMÉ J., LAUTRIDOU J.-P., HEIM J., MAUCORPS J., PUISSEGUR J.J., ROUSSEAU D.-D., THEVENIN A., VAN VLIET-LANOË B., 1986. Le cycle climatique du Pléistocène supérieur dans les loëss d'Alsace à Achenheim. Bulletin de l'Association française pour l'Etude du Quaternaire, 23 (1-2) : 97-104.

SOUSSANA J.-F., 2012. Biogéochimie et écologie des sols. In : La chimie et la nature, coordonné par Minh-Thu Dinh-Audouin, Danièle Olivier et Paul Rigny, EDP Sciences, pp. 63- 78.

- SOUTTER M., MERMOUD A., MUSY A., 2007. Ingénierie des eaux et du sol. Processus et aménagements. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 294 p.
- STEIMER F., GENOT J-C, GICQUEL Y., sans date. Harmonie et richesse de nos paysages, protégeons et plantons des haies. Conseil Général du Bas-Rhin. 43 p.
- STOFFEL G., 1868. Dictionnaire topographique du département du Haut-Rhin. Paris, Imprimerie impériale, 261 p.
- STUIVER M., POLACH H. A., 1977. Discussion reporting of ¹⁴C Data. Radiocarbon, 19 (3) : 355-363.
- STUIVER M., REIMER P.J., 1993. Extended 14C data base and revised calib 3.0 14C age calibration program. Radiocarbon, 35 (1) : 215-230.
- SUESS H.E., 1976. Radiocarbon dating. Berger et Suess, Eds., University of California Press., pp. 777-784.
- SWIDERSKI C., SABY N.P.A., PARTY J.P., SAUTER J., KOLLER R., VAN DIJK P., LEMERCIER B., ARROUAYS D., 2012. Evolution des teneurs en carbone organique dans l'horizon de surface des sols cultivés en Alsace, Analyse à partir de la base de Données des Analyses de Terre. Etude et Gestion des sols, 19 : 179-192.
- TALBOT J., 1955. Les haies dans la région de Bellême. In : Annales de Normandie, 5ème année, n° 1 : 93-95.
- THÉOBALD N., 1958. Notice explicative. Carte géologique 1/50000, feuille Altkirch. BRGM, Orléans, 6 p. + 1 carte h .t.
- THÉOBALD N., 1976. Notice explicative. Carte géologique 1/50000, feuille Mulhouse. BRGM, Orléans, 27 p. + 1 carte h .t.
- THOMPSON, L.G., E. MOSLEY-THOMPSON, 1981. Microparticle Concentration Variations Linked with Climatic Change: Evidence from Polar Ice Cores. Science, 212 (4496) : 812-815.
- URBAN M.P., 2003. Lieux dits : dictionnaire étymologique et historique des noms de lieux en Alsace. Editions du Rhin, Strasbourg, 363 p.
- URBAN M.P., 2010. La grande encyclopédie des lieux d'Alsace : Toponymie, Etymologie, Histoire avec 1200 cartes postales anciennes réunies par Vincent Kauffmann. La Nuée Bleue, 556 p.
- VAN DER ZANDEN E., 2013. Modelling the spatial distribution of linear landscape elements in Europe. Ecological Indicators, 27 : 125-136.
- VAN DIJK P., KWAAD F., 1996. Runoff generation and soil erosion in small agricultural catchments with loess-derived soils. Hydrological processes, 10 : 1049-1059.
- VAN DIJK P., SAUTER J., KOLLER R., AUZET A.-V., 2009. Cartographie de la sensibilité à l'érosion des sols et du risque potentiel de coulées d'eaux boueuses en Alsace. Communication orale. Journées d'Etudes des Sols à Strasbourg, 11 à 15 mai 2009 + résumé

VAN DIJK P., SAUTER J., HOFSTETTER E., 2010. Soil maps as data input for soil erosion models, errors related to maps scales. European Geosciences Union, General Assembly, Vienna.

VAN DIJK P., KOLLER R., 2015. Ruissellement et érosion des sols en Alsace. Ampleur, évolution et leviers d'action agronomiques. Rapport interne, Association pour la Relance Agronomique en Alsace (ARAA), 13 p.

VELASQUEZ E., LAVELLE P., BARRIOS E., JOFFRE R. et REVERSAT F., 2005. Evaluating soil quality in tropical agroecosystems of Colombia using NIRS. *Soil Biology and Biochemistry*, 37 (5) : 889-898.

VIGOT M., 2012. Le carbone organique des sols cultivés de Poitou-Charentes, Quantification et évolution des stocks. Sols & Territoires Réseau Mixte Technologiques, Agricultures & Territoires Chambre d'Agriculture Poitou Charantes, 20 p.

VISCARRA ROSSEL R.A., BEHRENS T., BEN-DOR E., BROWN D.J., DEMATTE J.A.M., SHEPHERD K.D., SHI Z., STENBERG B., STEVENS A., ADAMSCHUK V., AĪCHI H., BARTHES B.G., BARTHOLOMEUS H.M., BAYER A.D., BERNOUX M., BÖTTCHER K., BRODSKÝ L., DU C.W., CHAPPELL A., FOUADS Y., GENOT V., GOMEZ C., GRUNWALD S., GUBLER A., GUERREROX C., HEDLEY C.B., KNADEL M., MORRAS H.J.M., NOCITA, L. M., RAMIREZ-LOPEZ, ROUDIER P., RUFASO CAMPOS E.M., SANBORNAE P., SELLITTO V.M., SUDDUTH K.A., RAWLINS B.G., WALTER C., WINOWIECKI L.A., HONGAI S.Y., JI W., 2016. A global spectral library to characterize the world's soil. *Earth-Science Reviews*, 155 : 198-230.

VOGLER B., BISCHOFF G., IGERSEIM F., PETRY F., ZUMSTEEG C., 1990. L'Alsace, une histoire. Edition Oberlin, 216 p.

VOGT H., 1992. Le relief en Alsace. Etude géomorphologique du rebord sud-occidental du fossé Rhénan. Librairie Oberlin, Strasbourg, 239 p.

VUILMAIN A., 2009. Les fortifications villageoises entre la Zorn et la Bruche (XIIème – XVIème siècles) : Un phénomène historique au regard des statistiques et du parcellaire. Mémoire de Master d'Histoire Médiévale, Université de Strasbourg, 110 p.

VYSLOUŽILOVÁ B., 2014. Steppes ou forêts ? Les conditions environnementales de la formation et de l'évolution des chernozems en Europe Centrale. Thèse, Université de Strasbourg & Charles de Prague, 398 p.

VYSLOUŽILOVÁ B., ERTLEN D., ŠEFRNA L., NOVÁK T., VIRÁGH K., RUÉ M., CAMPANER A., DRESLEROVÁ D., SCHWARTZ D., 2015. Investigation of vegetation history of buried chernozem soils using near-infrared spectroscopy (NIRS). *Quaternary International*, 365 : 203- 211.

WACKERMANN G, 2005. Dictionnaire de Géographie. Editions Ellipses, Paris, 432 p.

WALKLEY A., 1947. A critical examination of a rapid method for determination of organic carbon in soils - effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science*, 63 : 251-257.

- WALKLEY A., BLACK I. A., 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-37.
- WANG X., CAMMERAAT L.H., WHANG Z., ZHOU J., GOVERS G., KALBITZ K., 2013. Stability of organic matter in soils of the Belgian Loess Belt Upon erosion and deposition. *European Journal of Soil Science*, 64 : 219-228.
- WANG Y., ZHANG J.H., ZHANG Z.H., 2015. Influences of intensive tillage on water-stable aggregate distribution on a steep hillslope. *Soil & Tillage Research*, 151 : 82-92.
- WERNERT P., 1957. Stratigraphie paléontologique et préhistorique des sédiments quaternaires d'Alsace, Achenheim, Thèse, Mém. Serv. Carte géol. Als. Lorr., 14, 259 p.
- WOLF J.-J., 1973a. L'établissement gallo-romain de Habsheim-Sud. *Bulletin du Musée historique des sciences humaines de Mulhouse*, LXXXI : 65-80.
- WOLF J.-J., 1973b. Nouveaux éléments du néolithique Rubané Danubien à Habsheim-Sud. *Bulletin du Musée historique des sciences humaines de Mulhouse*, LXXXI : 15-21.
- WOLF J.-J., 1979a. Nouvelles sépultures rubanées à Brunstatt et Habsheim (Haut-Rhin). *Bulletin du Musée historique des sciences humaines de Mulhouse*, LXXXVI : 7-27.
- WOLF J.-J., 1979b. Nouveaux éléments du Michelsberg à Eschentzwiller et Magstatt-le-Bas. *Bulletin du Musée historique des sciences humaines de Mulhouse*, LXXXVI : 29-38.
- WOLF J.-J., 1985. Sierentz, 5000 ans d'histoire : état des recherches archéologiques 1977-1985. - Sierentz : Société d'Histoire de la Hochkirch, 102 p.
- WOLF J.-J., 1996a. Le tumulus du Hallstatt C de Sausheim, Rixheimer Feld-Luessbuehl. In : Habitats, mobiliers et groupes régionaux à l'âge du Fer : actes du XXe colloque de l'AFEAF, Colmar-Mittelwihr, 16-19 mai 1996. – Dijon. *Revue archéologique de l'Est*, 2003 : 71-74.
- WOLF J.-J., 1996b. L'établissement de La Tène finale de Sausheim, Rixheimer Feld-Luessbuehl. In : Habitats, mobiliers et groupes régionaux à l'âge du Fer : actes du XXe colloque de l'AFEAF, Colmar-Mittelwihr, 16-19 mai 1996. - Dijon : *Revue archéologique de l'Est*, 2003 : 157-161.
- ZEHNER M., 1998. Carte Archéologique de la Gaule, Pré-inventaire archéologique publié sous la responsabilité de Michel Provost : Le Haut-Rhin, 68. Académie des Inscriptions et Belles-Lettres, Fondation Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 375 p.

Annexe 1 : Présentation des évolutions de la définition des haies

Annexe 2 : Composition floristique des haies épineuses

Annexe 3 : Composition des haies productives

Annexe 4 : Descriptions des fosses de la toposéquence HABS

Annexe 5 : Descriptions des fosses de la toposéquence UFF

Annexe 6 : Descriptions des fosses de la toposéquence CIG

Annexe 7 : Exemple de valeurs de carbones organiques mesurés dans des luvisols

Annexe 8 : Métadonnées des photos aériennes et du LIDAR utilisés pour l'étude spatio-temporelle sur l'évolution des systèmes de haies des sites d'études

Annexe 9 : Métadonnées des archives cartographiques utilisées pour l'étude spatio-temporelle sur l'évolution des systèmes de haies/rideaux de culture des sites d'études

Annexe 10 : Protocole de préparation des échantillons pour la granulométrie laser

Annexe 11 : Missions de terrains réalisées en Alsace pour la sélection des sites d'études

Annexe 12 : Liste des toponymes en lien avec les haies relevés en Alsace.

Annexe 13 : Fiches des fosses de références : HABSREF et ZOO

Annexe 1 : Présentation des évolutions de la définition des haies

Annexe A : Tableau des définitions des haies

Définition « haie »	Mots clefs	Source
« Forêts, espace boisé, haie défensive du village »	Forêt/Espace boisé/ Haie défensive	Higounet, 1979 Période concernée : Moyen Age
« Clôture fermée d'arbustes, de plantes buissonnantes, d'épines entrelacées, parfois de quelques arbres (haie arborée) et destinée à limiter et à protéger un champ, un jardin. /Les forestiers parlent de haie quand l'élément a au moins 25 m de longueur, 10 m de largeur minimum, et qu'il contient au moins trois arbres recensables d'un diamètre minimum de 7.5 cm à 1.3 m du sol, et au moins un arbre tous les 10 m. / On distingue la haie vive [...] de la haie sèche ou haie morte. / Haie sur talus / Haie en douve / Quel que soit son mode d'édification, la haie est un symbole d'appropriation, un moyen de s'isoler des terres soumises aux usages communautaires, un signe d'habitat dispersé. Elle est surtout une protection contre les animaux [...] / protège culture et bétail / Substitut du bois / [...]» Au Moyen Age, la haie n'est pas seulement une clôture végétale ; c'est une zone boisée formant des frontières aux limites d'un domaine, d'un terroir, une véritable barrière forestière. Cet aspect ancien de la haie se retrouve sans nombres de toponymes, même après défrichement [...] » Corvée qui consistait à réparer les haies du seigneur	Clôture / Limite / Protection / Zone boisée / Barrière forestière	Lachiver, 1997 Période concernée : Du 13 ^{ème} siècle à 1950
« Clôture d'un champ, d'un pré, d'un jardin, faite d'arbustes qui s'enchevêtrent. On distingue les haies sèches ou mortes, ou halliers et les haies vives. Les premières, composées de branchages entrelacés sur des pieux, sont les moins employées, pour la raison qu'elles sont longues à établir, coûteuses et de faible durée. Au contraire, les haies vives (fig. 2599) sont très employées, faites d'arbrisseaux ou d'arbustes, épineux ou non (aubépine, charme, prunellier). On y plante parfois de distance en distance des sujets qu'on laisse grandir (chêne, érable, orme), et la haie, en ce cas, est dite haie forestière. Mais, le plus souvent, la haie, qui peut être le complément d'un fossé, est taillée uniformément à une hauteur de 1m30 à 1m50 du sol et constitue une clôture très efficace. V. CLOTURE »	Clôture / Haie forestière	Larousse agricole, 1921 Larousse agricole, 1926
« Les haies, destinées à enclore les jardins, les prés, les vergers sont de deux sortes : haies vives, constituées par des arbustes en végétation (épine, aubépine, prunellier, poirier et pommier sauvage, nerprun, mûrier blanc, érable, chêne, kermès, houx, troène, etc.) ; haies sèches, formées de pieux verticaux et de branchages secs, que l'on dispose de bout en haut, ou bien encore de ronce artificielle (fil de fer barbelé). Les haies vives sont aussi dites des haies de défense.	Enclore / Défense / Bande boisée	Larousse agricole, 1931

<p>La plantation des haies vives est opérée en novembre ou au printemps, avec des sujets de 2 ans. Dès la troisième année, puis à intervalles de cinq à six ans, on recèpe la haie à quelques centimètres au-dessus du sol pour parvenir à lui faire prendre 60 cm d'épaisseur environ.</p> <p>Les haies d'abri sont destinées à former un rideau qui protège des vents dominants une plantation de jeunes arbres ou de plantes d'un jardin ; on emploie à leurs constructions des essences résineuses. Les haies d'agrément [...] »</p>		
<p>« Alignement d'arbres et d'arbustes ou d'arbustes seuls.</p> <p>Au VIIème siècle, les Francs parlaient déjà de « haga », d'où est issu le mot haie en français et le mot Hag et Hecke en allemand.</p> <p>Si l'on met à part les haies mortes ou sèches, les haies viventes sont très nombreuses par leur origine, leurs formes, leur compositions, leur mode de conduite, etc. »</p> <p>Classification d'après l'origine</p> <p>Les haies naturelles sont installées depuis un temps suffisamment long (généralement plusieurs dizaines ou centaines d'années) pour que le jeu des équilibres écologique en ait modelé la flore (reflet du sol, du climat, de la topographie, etc.) et la faune, qui est d'autant plus variée que la flore est diverse.</p> <p>Les haies naturelles ont pu s'installer de trois manières :</p> <ul style="list-style-type: none"> - « relique de la forêt primitive, dont les clairières défrichées ont donné naissance aux champs cultivés ; - Installation spontanée sur des lignes délaissées, le plus souvent des zones non labourées ou non pâturées (ruptures de pentes, talus, affleurements rocheux ou humides, limites de propriété, bords de chemins, de fossés ou de ruisseaux, etc.) ; - Plantation ancienne par l'homme, le plus souvent d'un nombre limité d'espèce d'arbres + une espèce arbustes), mais auxquelles c'est associée progressivement une flore spontanée d'arbres, d'arbustes, d'arbrisseaux et de plantes herbacées. <p>Les haies artificielles [...]</p> <p>Les haies naturelles [...]</p> <p>Les haies-clôtures, ou haies basses [...]</p> <p>Les haies brise-vent,</p> <p>[...] »</p>	<p>Limite</p>	<p>Larousse agricole, 1981</p> <p>Larousse agricole, 1991</p>
<p>« Du francique <i>hagia</i> « haie » correspondant à l'ancien haut allemand « <i>hegga</i> » signifiant « plieu, palissade » et au moyen néerlandais <i>hegge</i> « haie,clôture ».</p> <p>Clôture faites d'arbres, d'arbustes, d'épines ou de branchages et servant à limiter ou à protéger un champs, un jardin »</p>	<p>Clôture/Limite/ Protection</p>	<p>Le Robert de 1973</p>

« Clôture arbustive »	Clôture	HIGOUNET, 1979
« Alignement boisé dont les deux extrémités correspondent à un changement d'orientation et/ou de parcelle [...] L'évolution des haies et ses caractéristiques sont fonction de l'utilisation des parcelles attenantes et de la situation foncière »	Alignement boisé	MARTIN, ROVERA, 1998
<p>« Alignement d'arbres et d'arbustes ou d'arbustes seuls. Les haies vives sont très diverses par leur origine, leurs formes et leurs compositions. Les haies naturelles sont installées depuis un temps suffisamment long (plusieurs dizaines, voire centaines, d'années) pour que leurs végétations et leurs faunes aient atteint un état d'équilibre. Ce sont soit des reliques de la forêt primitive, reste de défrichement pour la mise en culture des terres, soit des installations spontanées sur des zones délaissées (ruptures de pente, talus, etc.), ou encore des plantations anciennes, comprenant le plus souvent un nombre limité d'espèces végétales, auxquelles s'est associée une flore spontanée d'arbres, d'arbustes, d'arbrisseaux...Les haies artificielles sont constituées d'un nombre d'espèces très variable. Certaines n'en comptent qu'une. Elles sont alors très vulnérables (attaque d'insectes ou de maladies comme la graphiose de l'orme, le feu bactérien de l'aubépine, etc.) et sont biologiquement pauvres. D'autres sont constituées dès la plantation d'une association d'espèces et acquièrent en peu d'années les caractéristiques de haies naturelles. C'est ce type de haie que l'on cherche aujourd'hui à implanter. Le classement d'après la composition et la dimension des haies fait ressortir trois grandes familles : les haies-clôtures, les haies brise-vent et les bandes boisées.</p> <p>Les haies-clôtures, ou haies basses (moins de 3 m), sont constituées d'arbustes se prêtant bien à la taille régulière. La seconde famille se divise en deux groupes : les petits brise-vent (de 3 à 10 m de haut) sont des haies-clôtures que l'on a laissé monter en ne les taillant que latéralement ; les grands brise-vent, encore appelés « futaies linéaires » ou « rideaux-abris » (jusqu'à 25 m de hauteur), comportent des arbres de haut jet, au tronc élagué. Certains sont constitués des trois étages de la végétation forestière : les arbres de haut jet, espacés de 2 à 8 m selon l'espèce, les arbres intermédiaires, au tronc élagué, et des arbustes et arbrisseaux. D'autres sont formés uniquement d'arbres de haut jet très serrés (rideaux de cyprès dans la vallée du Rhône) ou comportent deux étages : arbres et arbustes. Les bandes boisées sont des haies brise-vent larges d'au moins 2 m au sol, dans lesquelles sont associés arbres et arbustes. C'est l'écran végétal parfait, idéal pour la faune et dont l'effet de brise-vent est très efficace. Dans les régions bocagères, l'arrachage massif des haies qui a accompagné le remembrement des années 1960 et 1970 a accru les problèmes d'érosion hydrique, même dans les zones à pentes faibles (pays de Caux). La haie (et le talus ou fossé qui lui est généralement associé) joue en effet un rôle primordial dans la régulation du régime de l'eau et la conservation des sols. Elle est très importante pour la faune, les oiseaux en particulier. Son rôle de régulateur des échanges thermiques est de plus en plus souvent pris en compte dans les centres urbains. L'entretien des haies comprend essentiellement la taille, aujourd'hui mécanisée (matériels à barre de coupe, à scie circulaire ou à fléaux). La plantation, que l'on cherche le plus possible à effectuer en associant plusieurs espèces bien acclimatées et complémentaires, se fait après une préparation du sol (sous-solage et fertilisation), les jeunes plants étant placés sous paillage naturel ou plastique. »</p>	Clôture	LAROUSSE AGRICOLE, 2002

« Clôture faite d'arbres, d'arbustes, d'épines ou de branchages, et servant à limiter ou à protéger un champ, un jardin... »	Clôture/ Limite/ Protection	ROBERT, 2005
« La haie n'est qu'un élément du paysage et que les mouvements de l'eau en surface ou en profondeur dépendent en premier lieu du site, de la pente de la parcelle, de la nature et de la profondeur du sol. La haie n'agit que comme un modulateur de flux »	Élément du paysage	LIAGRE, 2006
« Élément paysagé semi-naturel de forme linéaire composé de végétations ligneuse et délimitant souvent deux parcelles agricoles. La haie bocagère est souvent qualifié de forêt linéaire »	Élément paysagé / limite / forêt linéaire / Limite	BOISSINOT et RUVEN, 2014

Annexe 2 : Composition floristique des haies épineuses

Annexe B : Tableau de la composition floristique des haies épineuses

Nom commun	Nom latin	Photo (Source : Lucie Froehlicher)	Forme	Habitat	Préférences sols	Source
Aubépine commune	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.		Arbustre ne dépassant pas 5 m	Plaines et montagne	Sols frais, éventuellement humides, ombragés, N'aime pas les sols sableux et/ou acides	LIAGRE, 2006
Eglantier	<i>Rosa canina</i> L.		Arbrisseau de moins de 3 m	Très commun	Rustique	LIAGRE, 2006
Ronce	<i>Rubus fruticosus</i>		Sous arbrisseau	Très commun	Sols avant tout limoneux ou limoneux argileux, sableux ou graveleux.	RAMEAU <i>et al</i> , 1989
Prunellier	<i>Prunus spinosa</i> L.		Arbrisseau épineux de moins de 5 m	Commun	Sols neutre ou calcaires	LIAGRE, 2006

Annexe 3 : Composition des haies productives

Annexe C : Annexe de la composition des haies productives

Nom commun	Nom latin	Photo (Source : L. Froehlicher et D. Schwartz)	Forme	Habitat	Préférences sols	Produits	Sources
Chêne pédonculé	<i>Quercus robur</i> L.	 D.Schwartz	Arbre de 25 à 45 m de haut. Jusqu'à 1300 m d'altitude. Commune sauf en région méditerranéenne. Espèce héliophile. Sols acides à calcaire. Usages : Bois de chauffe ; bois d'œuvre ; menuiserie ; alimentation cochon ; usage pour le tannage ; construction navale.				
Chêne sessile	<i>Quercus petraea</i> Liebl.	 wikipedia	Arbre de 25 à 45 m de haut. Jusqu'à 1300 m d'altitude. Commune sauf en région méditerranéenne. Espèce de demi-ombre. Sols acides à calcaire. Usages : Bois de chauffe ; bois d'œuvre ; menuiserie ; alimentation cochon ; usage pour le tannage ; construction navale.				
Chêne pubescent	<i>Quercus pubescens</i> Willd.	 D.Schwartz	Arbre jusqu'à 25 m de haut. Jusqu'à 1400 m d'altitude. Espèce héliophile. Disséminée sur sols calcaires et secs. Usages : Chênes truffiers ; charpente ; merrain ; construction navale ; combustible ; écorce riche en tanin.				
Frêne commun	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	 D.Schwartz	Arbre mesurant jusqu'à 35 m de haut. Jusqu'à 1800 m d'altitude. Espèce commune sauf en région méditerranéenne. Héliophile et de demi-ombre. Sols frais à humides, calcaires. Usages : bon fourrage ; branches ; bois de construction ; menuiserie ; bois de chauffes ; médicinaux.				
Orme champêtre	<i>Ulmus minor</i> Mill.	 L. Froehlicher	Arbre jusqu'à 35 m de haut. Jusqu'à 1300 m d'altitude. Commun en France, et surtout dans les haies. Héliophile et de demi-ombre. Sols secs. Usages : Charpente ; moyeux de roues ; moulins à eau ; poulies.				
Erable sycomore	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	 D.Schwartz	Arbre pouvant faire 30 m de haut. Jusqu'à 1850 m d'altitude. Espèce commune. De demi-ombre à humidité atmosphérique assez élevée. Sols acides à calcaire. Usages : Bois de chauffe et menuiserie.				

Bouleau verrouqueux	<i>Betula pendula</i> <i>Roth.</i>	 D.Schwartz	Arbre atteignant jusqu' à 25 m de haut. Jusqu'à 2000 m d'altitude. Fréquent, pionner dans friches et clairières Héliophile. Tous types de sols. Usages : menuiserie ; combustible ; médicinaux ; artisanat.
Noyer	<i>Juglans regia</i> L.	 L. Froehlicher	Arbre pouvant atteindre 18 m de haut. Espèce héliophile et de demi-ombre ? Sols calcaires à neutres. Usages : Huiles ; colorants ; ébénisterie ; menuiserie ; médicinaux.
Erable champêtre	<i>Acer campestre</i> L.	 D.Schwartz	Arbre de 12 à 15 m de haut. Jusqu'à 1000 m d'altitude. Très commun. Héliophile et de demi-ombre. Surtout sur terrains calcaires. Usages : Menuiserie ; bois de chauffe ; bois d'œuvre.
Cerisier sauvage Ou Merisier	<i>Prunus avium</i> L.	 D.Schwartz	Arbre de 15-25 m. Jusqu'à 1700 d'altitude. Espèce commune et disséminée en plaine et basse montagne. Rare à très rare en région méditerranéenne. Espèce de demi-ombre. Sols neutres à calcaire. Usages alimentaires ; médicinaux ; bois utilisé en ébénisterie.
Poirier commun / Poirier sauvage	<i>Pyrus pyraeaster</i> <i>Burgsd.</i>	 D.Schwartz	Arbre petit à moyen de 10 à 20 m. Commun sauf dans les régions méditerranéennes. Héliophile et de demi-ombre ; thermophile. Sols calcaires, tolère les sols acides. Cultivé pour ses fruits ; bois de sculpture ; ébénisterie ; chauffage.
Pommier cultivé	<i>Malus Domestica</i> <i>a Borkh.</i>	 D.Schwartz	Arbre petit à moyen de 10 à 20 m. Jusqu'à 1300 m d'altitude. Assez commun, disséminée, rare en région méditerranéenne. Héliophile ; sciatolérante. Sols calcaires, tolère les sols acides. Cultivé pour ses fruits.
Pommier sauvage	<i>Malus sylvestris</i> <i>Mill.</i>	 L. Froehlicher	Arbre petit à moyen de 10 à 20 m. Jusqu'à 1300 m d'altitude. Assez commun, disséminée, rare en région méditerranéenne. Héliophile ; sciatolérante. Sols calcaires, tolère les sols acides. Bon combustible ; porte-greffe.
Châtaignier	<i>Castanea sativa</i> <i>Mill.</i>	 D.Schwartz	Arbre pouvant atteindre 30 m de haut. Jusqu'à 1000 m d'altitude. Se trouve partout, mais majoritaire en région méditerranéenne et en Corse. Sols acides et secs. Usages : Alimentaires ; fabrication de cannes, de clôtures, de tonneaux, de pâte à papier ; menuiserie ; ébénisterie.

Noisetier Coudrier	<i>Corylus avellana</i> L.	 L. Froehlicher	Arbuste de 3 à 8 m. Jusqu'à 1700 m d'altitude. Très commun en France. De demi-ombre ou d'ombre. Sols neutres à calcaires. Usages : alimentaires ; outillages ; clayonnage ; vannerie ; combustible ; poudre à fusille ; truffes.
Le hêtre	<i>Fagus sylvatica</i> L.	 D.Schwartz	Arbre pouvant atteindre jusqu'à 36 m de haut. Jusqu'à 1600 m d'altitude. Espèce commune. Sciaphile. Tous types de sols. Usages : Huile ; menuiserie ; bois de chauffe.
Prunier sauvage	<i>Prunus insititia</i> L.	 D.Schwartz	Arbre de 2 à 5 m. Jusqu'à 1300 m d'altitude. Espèce commune Sols : neutres à calcaires. Usages : Fruits consommés ; bois recherché par les tourneurs et les ébénistes.
Eglantier	<i>Rosa canina</i> L.	 L. Froehlicher	Arbrisseau de moins de 3 m. Jusqu'à 1500/1600 m d'altitude. Très commun. Héliophile. Sols calcaires. Usages alimentaires : confitures, infusion. Médicinaux : Racines : remède contre la rage, vermifuge ; fleurs laxatives, fruits astringents, diurétiques et antiscorbutiques.
Prunellier	<i>Prunus spinosa</i> L.	 L. Froehlicher	Arbrisseau épineux de moins de 5 m. Jusqu'à 700 m d'altitude. Très commun à basse altitude. Héliophile et de demi-ombre. Sols neutre ou calcaires. Usages : Médicinaux ; liqueur ; canne ; branche morte utilisé pour protéger les jeunes arbres ; construction de haies vives : haies impénétrables.
Fusain d'Europe	<i>Euonymus europaeus</i> L.	 L. Froehlicher	Arbuste élancé de moins de 6 m. Jusqu'à 700 m d'altitude. Commun presque partout, rare en région méditerranéenne. Héliophile ou de demi-ombre. Sols calcaires. Usages : Fusain (charbon de bois ferme apprécié des dessinateurs) ; fruits à propriétés tinctoriales.
Aubépine commune	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	 L. Froehlicher	Arbuste ne dépassant pas 10 m Très commun ; Jusqu'à 1600 m ; Héliophile et de demi-ombre. Sols frais, éventuellement humides, ombragés, N'aime pas les sols sableux et/ou acides Employé pour faire des haies épineuses défensives. Bois de chauffe, pièces mécaniques en petite menuiserie

Cornouille r sanguin	<i>Cornus sanguinea</i> L.	 D.Schwartz	Arbrisseau jusqu'à 5 m de haut. Très commun, partout en basse altitude. Héliophile et de demi-ombre. Sols calcaires. Usages : Bois d'œuvre ; vannerie ; tournage ; huile pour éclairage des lampes ; fabrication savon.
Ronce ou mûrier	<i>Rubus fruticosus</i>	 L. Froehlicher	Sous arbrisseau de 1 à 2 m. Jusqu'à 2300 m d'altitude. Très commun sauf en région méditerranéenne. Héliophile, mésophile. Sols neutres à acides. Usages alimentaires ; usages médicaux ; vannerie
Groseillier rouge	<i>Ribes rubrum</i> L.	 wikipedia	Arbuste de 1 m à 1.5 m de haut. Jusqu'à 2100 m d'altitude. Disséminées dans le Nord-Est et le Nord-Ouest. Sols calcaires humides. Usages : Mellifère ; comestibles (confiserie + distillerie) ; médicinaux.
Framboisier sauvage	<i>Rubus idaeus</i> L.	 wikipedia	Sous arbrisseau de 1 à 2 m. De 1000 à 2200 m d'altitude. Commune en montagne, plus rare ou absente ailleurs (en plaine, surtout présente dans le Nord-Est). Héliophile. Sols : tout type de sols relativement sec. Usages : Fruits comestibles, utilisés en confitures et distillerie ; feuilles et jeunes pousses astringentes, toniques, diurétiques et dépuratives.
Bourdaïne	<i>Frangula alnus</i> Mill. / <i>Rhamnus frangula</i> L.	 wikipedia	Arbuste atteignant 2 à 5 m. Jusqu'à 1000 m d'altitude. Commune presque partout sauf en région méditerranéenne. Héliophile ou de demi-ombre. Sols : acide et humide. Usages : Vannerie ; fabrication de balais et de tuteurs ; poudre à fusils ; colorants ; médicinaux : vomitive, cathartique, laxative, vermifuge, mellifère.
Chèvrefeuille des haies	<i>Lonicera periclymenum</i> L.	 D.Schwartz	Arbuste de 2 m maximum. Commune partout sauf en région méditerranéenne. Héliophile ou de demi-ombre. Sols acides. Usages : Racines fournissent une teinture bleu ; médicinaux.
Sureau Noir	<i>Sambucus nigra</i> L.	 D.Schwartz	Arbuste jusqu'à 10 m. Jusqu'à 1600 m d'altitude. Commune un peu partout sauf en montagne, rare en région méditerranéenne. Espèce héliophile ou de demi-ombre. Sols calcaires Usages : Nombreux usages alimentaires (cuits) ; médicinaux
Troène des bois	<i>Ligustrum vulgare</i> L.	 L. Froehlicher	Arbuste de moins de 5 m de haut. Jusqu'à 1000 m d'altitude. Commune presque partout en basse altitude. Héliophile et de demi-ombre. Sols calcaires essentiellement. Usages : Tinctoriales ; mellifères ; fabrication de haies ; vannerie ; claie ; tournage ; médicinaux.

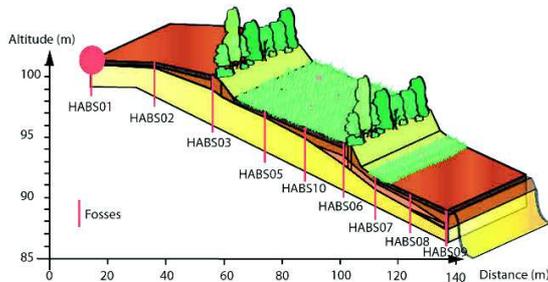
Viorne Obier	<i>Viburnum opulus L.</i>	 wikipedia	Buisson atteignant 2 à 4 m. Jusqu'à 1400 m d'altitude. Assez commune partout sauf en région méditerranéenne. Héliophile et de demi-ombre. Sols calcaires. Usages : médicinaux.
Viorne lantane	<i>Virburnum lantana L.</i>	 D.Schwartz	Arbrisseau de 1 à 3 m. Jusqu'à 1500 m d'altitude. Commune presque partout, sauf en région méditerranéenne, en Bretagne et dans les Landes. Héliophile et de demi-ombre. Sols calcaires. Usages : médicinaux (dysenterie) ; vanneries ; corderie ; encolages.
Anémone des Sylvie	<i>Anemone Nemorosa L.</i>	 wikipedia	Fleurs de 15-25 cm. Jusqu'à 1800 m d'altitude. Commune sauf en région méditerranéenne. Espèce de demi-ombre et d'ombre. Tous types de sols. Usages : Toxique
Benoite commune	<i>Geum urbanum L.</i>	 wikipedia	Fleurs de 30-80 cm que l'on trouve dans les bois et dans les haies jusqu'à 1800 m d'altitude. Espèce très commune. Héliophile et de demi-ombre. Sols : calcaires. Usages : Fourrage naturel ; médicinaux
Violette odorante	<i>Viola odorata L.</i>	 wikipedia	Plante vivace de 5 à 25 cm. Commune à assez commune ; plus rare en région méditerranéenne. Espèce de demi-ombre. Sols calcaires. Usages : Parfum (sirop, cosmétique) ; médicinaux (émoliente, expectorantes, sudorifique et léchitique).
Véronique petit chêne	<i>Veronica Chamædrys L.</i>	 wikipedia	Jusqu'à 50 cm de haut. Jusqu'à 950 m d'altitude. Commune sauf en région méditerranéenne. Héliophile et de demi-ombre. Sols calcaires. Usages : médicinaux.
Sceau de Salomon	<i>Polygonatum multiflorum L.</i>	 D.Schwartz	Fleurs de 50 cm à 1 m. Jusqu'à 2000 m d'altitude. Commune. De demi-ombre et d'ombre. Sols neutre et frais. Usages : Fruits toxiques ; cosmétique
Ronces Bleuâtre	<i>Rubus caesius L.</i>	 L. Froehlicher	Sous arbrisseau jusqu'à 1 m. Jusqu'à 1500 m d'altitude. Commune sauf en région méditerranéenne. Héliophile ou de demi-ombre. Sols basiques à légèrement acides. Usages médicaux (astringents, toniques, diurétiques et dépuratives).

Clématite des haies	<i>Clematis vitalba</i> L.	 <p>L. Froehlicher</p>	<p>Liane pouvant atteindre 20 m de long. Jusqu'à 1500 m d'altitude. Commune sauf en région méditerranéenne. Espèce héliophile. Sols calcaires de préférence ou faiblement acide. Usages : Jeunes pousses comestibles ; vannerie grossière.</p>
Lierre commun	<i>Hedera helix</i> L.	 <p>L. Froehlicher</p>	<p>Liane arborescente pouvant atteindre 50 m. Jusqu' à 1200 m d'altitude. Très commun. Espèce de demi-ombre et d'ombre. Sols neutre à calcaire. Sols neutres à calcaires. Usages : médicinaux.</p>
Houblon	<i>Humulus lupulus</i> L.	 <p>D.Schwartz</p>	<p>Plante vivace de 3 à 6 m. Jusqu'à 1500 m d'altitude. Assez commune sauf en région méditerranéenne. Espèce de demi-ombre. Sols calcaires à neutres, humides et riches. Usages : Bières et fourrage.</p>
Solidage du Canada	<i>Solidago glabra</i> Desf.	 <p>L. Froehlicher</p>	<p>Jusqu'à 1,5 m. Jusqu'à 800 m d'altitude. Espèce héliophile. Sols humides. Usages : mellifère.</p>
Mercurial	<i>Mercurialis perennis</i> L.	 <p>D.Schwartz</p>	<p>Jusqu'à 40 cm de haut. Jusqu'à 1400 m d'altitude. Commune. Plante d'ombre et de de demi-ombre. Sols calcaires. Usages : Nuisibles /toxique</p>

Annexe 4 : Descriptions des fosses de la toposéquence HABS

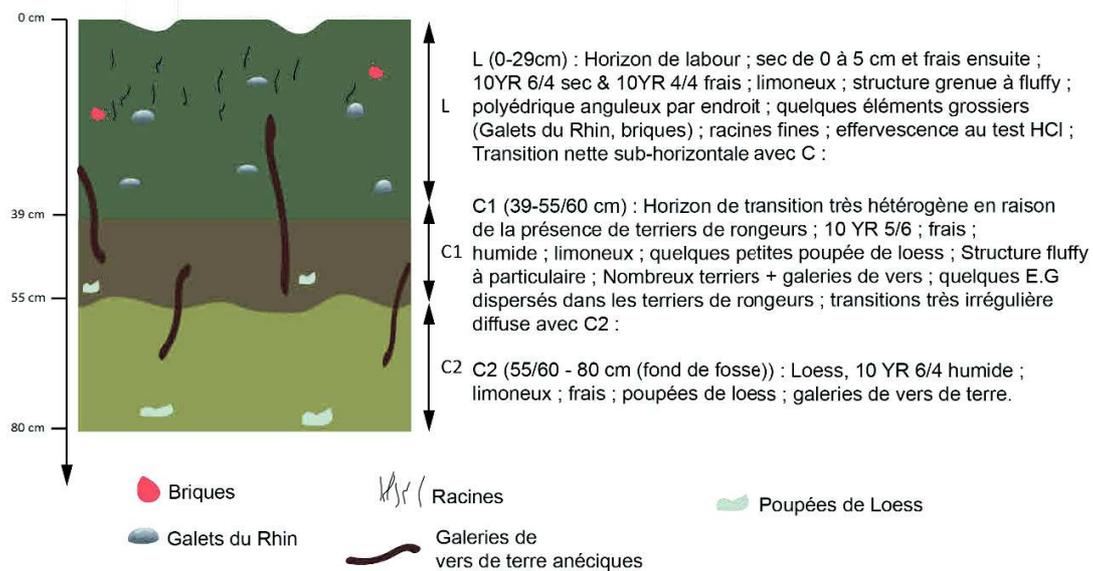
Annexe D : Fiche HABS 01

HABS 01 : Toposéquence de Habsheim



Localisation : Habsheim (68440)
Lat./Long. : 47°43'36.60"N 7°24'34.80"E
Altitude : 284 m
Date d'ouverture de la fosse : 4 avril 2014
Participants : L.Froehlicher ; D.Schwartz ; D. Eschbach
Occupation du sol : Parcelle agricole (Maïs)

Schéma & Description de la fosse



Prélèvements réalisés (prof. en cm)

1° Analyses courantes :
 0-10 ; 20-30 ; 40-50 ; 70-80

2° Colonnes NIRS (2 colonnes) :
 0-5 (101, 201) ; 10-15 ; 20-25 ; 30-35 ;
 40-45 ; 50-55 ; 60-65 ; 70-75 (108, 208)

3° Mesure TMR 14C sur MOS
 40-45

4° Densité apparente (de 2 à 3 cylindres par palier)

0-5 (1, 2, 3)	40-45 (1, 2)
10-15 (1, 2, 3)	50-55 (1, 2)
20-25 (1, 2, 3)	60-65 (1, 2)
30-35 (1, 2, 3)	70-75 (1, 2)

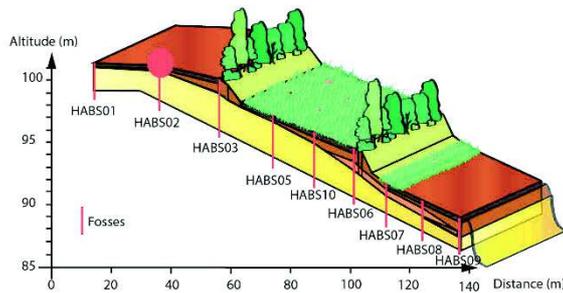
4° OSL

/

5° Lames Minces

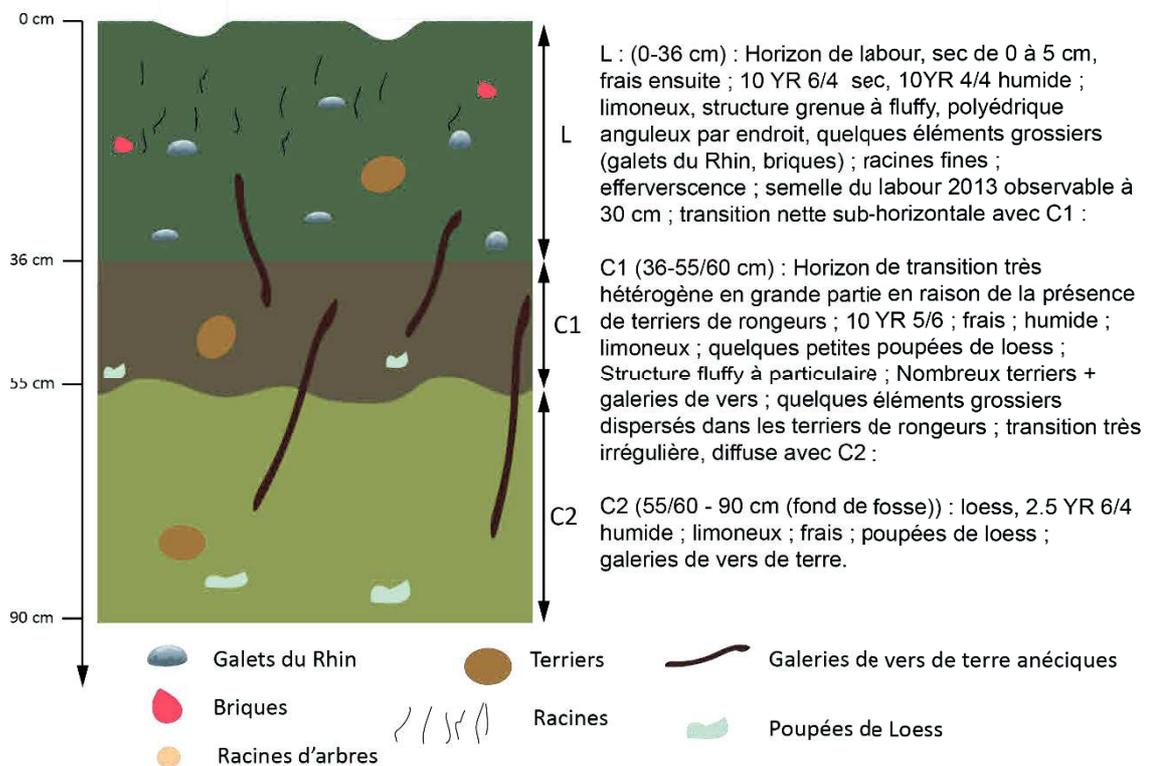
/

HABS 02 : Toposéquence de Habsheim



Localisation : Habsheim (68440)
Lat./Long. : 47° 43' 37.32"N 7°24' 34.87"E
Altitude : 283.5 m
Date d'ouverture de la fosse : 4 avril 2014
Participants : L.Froehlicher ; D.Schwartz ; D. Eschbach
Occupation du sol : Parcelle agricole (Maïs)

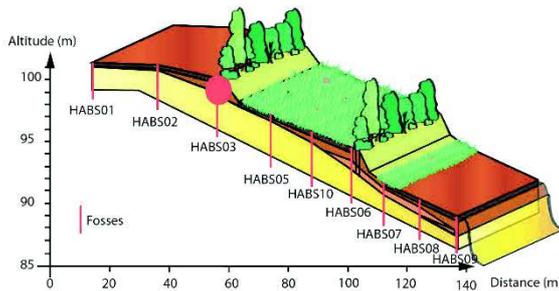
Schéma & Description de la fosse



Prélèvements réalisés (prof. en cm)

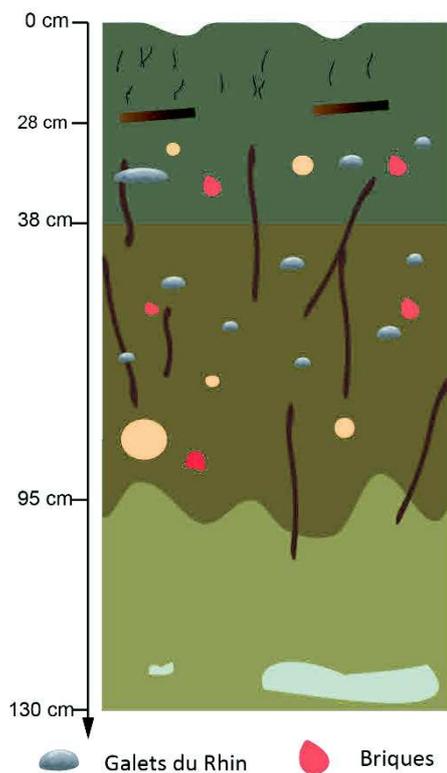
1° Pour analyses courantes : 0-10 ; 20-30 ; 40-50 ; 70-80	4° Densité apparente 0-5 (1, 2, 3) 10-15 (1, 2, 3) 20-25 (1, 2, 3) 30-35 (1, 2, 3) 40-45 (1, 2) 50-55 (1, 2) 60-65 (1, 2) 70-75 (1, 2)	5° OSL / 6° Lames Minces / / / / /
2° Colonnes NIRS : 0-5 (101, 201) ; 10-15 ; 20-25 30-35 ; 40-45 ; 50-55 ; 60-65 70-75 (108, 208)		
3° Mesure TMR 14C sur MOS 40-45		

HABS 03 : Toposéquence de Habsheim



Localisation : Habsheim (68440)
Lat./Long. : 47° 43' 38.10"N 7°24' 34.94"E
Altitude : 282.8 m
Date d'ouverture de la fosse : 4 avril 2014
Participants : L.Froehlicher ; D.Schwartz ; D. Eschbach
Occupation du sol : Parcelle agricole (Maïs)

Schéma & Description de la fosse



L1 (0-28/30 cm) : sec entre 0-10 cm, frais entre 10-30 cm ;
 Limoneux, 10YR6/4 sec, 10YR4/3 humide ; structure en partie
 grenue et particulaire de 0-10 cm, et polyédrique anguleuse de
 10 cm jusqu'à 30 ; la structure conserve l'orientation du labour
 (mottes) racines fines avec diamètre < 2 mm, E.G. anthropiques :
 résidus de maïs à l'horizontale vers 15 cm de profondeur ;
 compact, peu de porosité, transition ondulée, abrupte avec L2 :

L2 (28/30- 38 cm) : frais, limoneux, 10YR4/4, compact ;
 racines entre 1 et 2 mm + quelques racines centimétriques
 (toutes proviennent des arbres de la haie située à 4,60 m en aval
 de la fosse ; E.G. : quelques briques, galets du Rhin ; structure
 polyédrique anguleuse, transition nette sub-horizontale
 (semelle de labour) avec SC :

SC (38-95 cm) : Colluvions pédogénétisées ; limoneux, frais,
 10 YR 4/5 ; Nombreux E.G : galets du Rhin (jusqu'à 60 cm),
 briques, grès , tuiles (85/90 cm), racines d'arbres abondantes de
 tailles très variées (de quelques mm à 10 cm), structure grenue
 à fluffy, galeries de vers de terre anéciques denses ; transition
 nette mais irrégulière avec C :

C (95-130 cm, fond de fosse) : loess ; frais ; limoneux ; 2.5 YR 6/4
 humide ; présence d'une très grande poupée de loess de plus de
 50 cm de long et 15 cm de diamètre, moulant une ancienne racine

- Galets du Rhin
- Briques
- Racines d'arbres
- Tuile
- Poupées de Loess
- Galeries de vers de terre anéciques
- Tiges de maïs
- Racines

Prélèvements réalisés (prof. en cm)

1° Pour analyses courantes :
 0-10; 15-25 ; 30-38 ; 45-55 ; 65-75 ; 80-90 ; 100-110

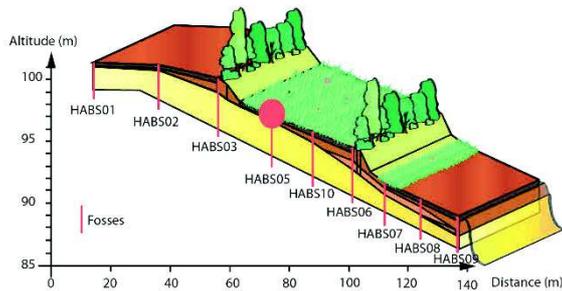
2° Colonnes NIRS :
 0-5 (101,201) ; 10-15 ; 20-25 ; 30-35 ; 40-45 ; 50-55
 60-65 ; 70-75 ; 80-85 ; 90-95 ; 100-105 (111,211)

3° Mesure TMR 14C sur MOS
 40-45
 55-60
 60-65
 85-90

4° Densité apparente
 0-5 (1,2,3)
 10-15 (1,2,3)
 20-25 (1,2,3)
 30-35 (1,2,3)
 40-45 (1,2)
 50-55 (1,2)
 60-65 (1,2)
 70-75 (1,2)
 80-85 (1,2)
 90-95 (1,2)
 100-105 (1,2)

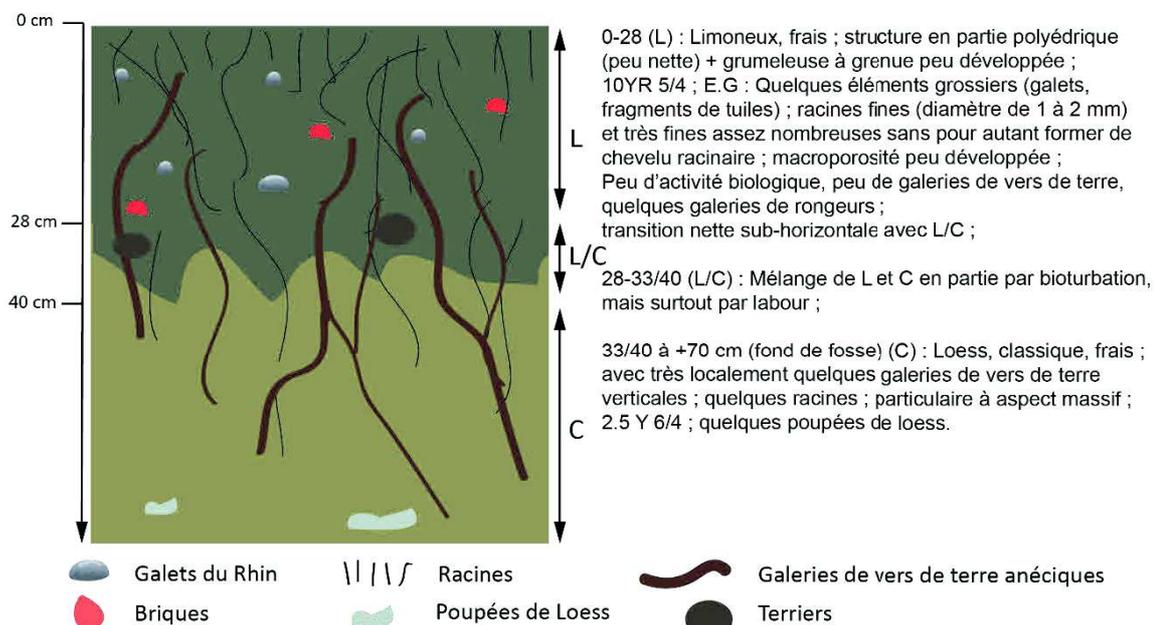
5° OSL
 85-88
 65-68
 42-45
 6° Lames Minces
 45-53
 65-73
 85-93

HABS 05 : Toposéquence de Habsheim



Localisation : Habsheim (68440)
Lat./Long. : 47° 43' 38.6"N 7°24' 34.6"E
Altitude : 280 m
Date d'ouverture de la fosse : 4 juin 2014
Date de prélèvement : 5 juin 2014
Participants : Dominique Schwartz, Thiébaud Simon, Martine Trautmann et Lucie Froehlicher
Occupation du sol : Parcelle en MAET depuis 2011

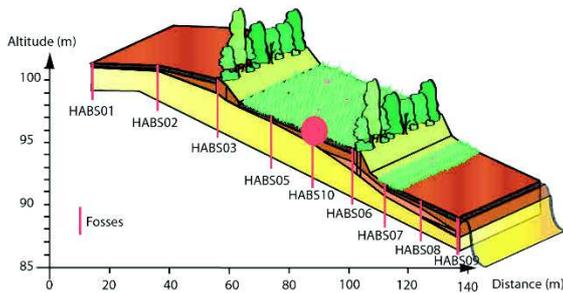
Schéma & Description de la fosse



Prélèvements réalisés (prof. en cm)

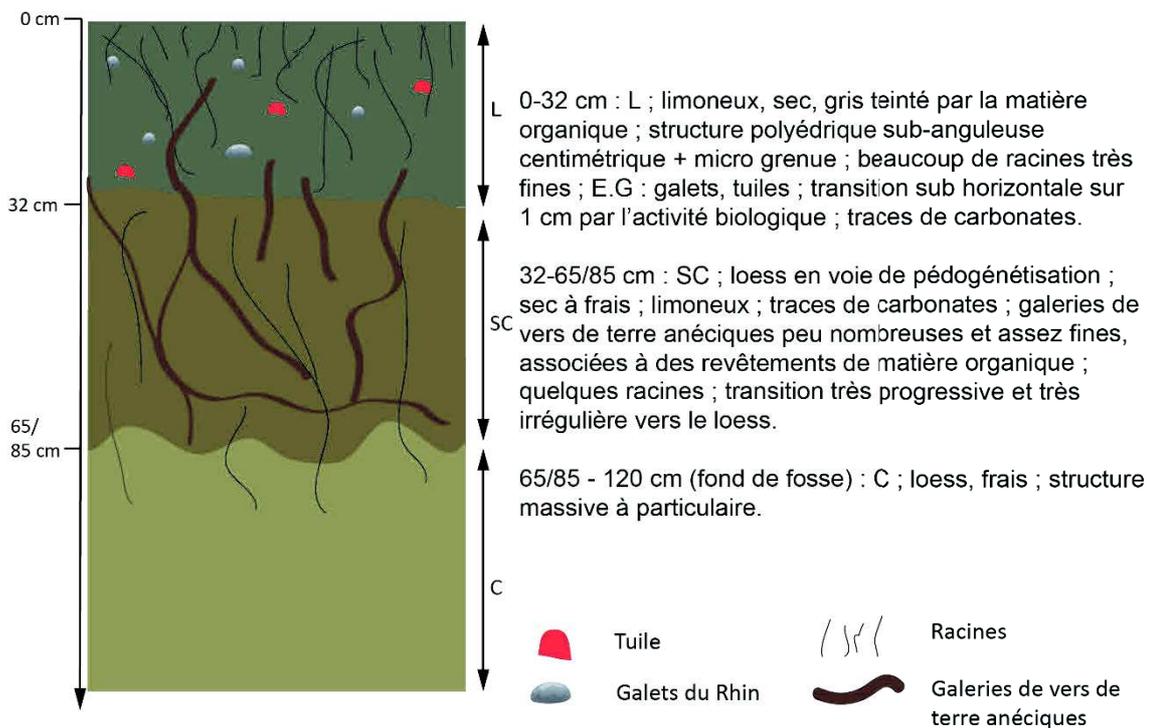
1° Pour analyses courantes :	4° Densité apparente	5° OSL
0-10	0-5 (1,2,3)	/
18-28	10-15 (1,2,3)	
40-50 cm	20-25 (1,2,3)	6° Lames Minces
	30-35 (1,2,3)	/
2° Colonnes NIRS (2 colonnes) :	40-45 (1,2)	
0-5	50-55 (1,2)	
10-15		
20-25		
30-35		
40-45		
50-55 c		
3° Mesure TMR 14C sur MOS		
/		

HABS 10 : Toposéquence de Habsheim



Localisation : Habsheim (68440)
Lat./Long. : 47° 43' 39.18"N 7°24' 34.59"E
Altitude : 278 m
Date d'ouverture de la fosse : 4 juin 2014
Date de prélèvement : 4 juin 2014
Participants : Dominique Schwartz, Thiébaud Simon, Martine Trautmann et Lucie Froehlicher
Occupation du sol : Parcelle en MAET depuis 2011

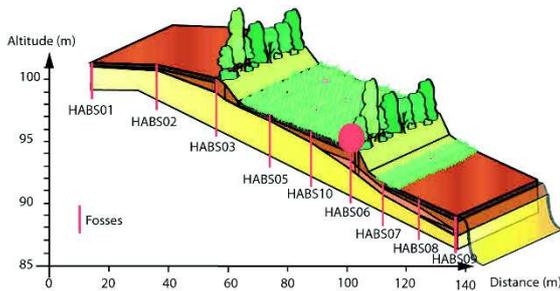
Schéma & Description de la fosse



Prélèvements réalisés (prof. en cm)

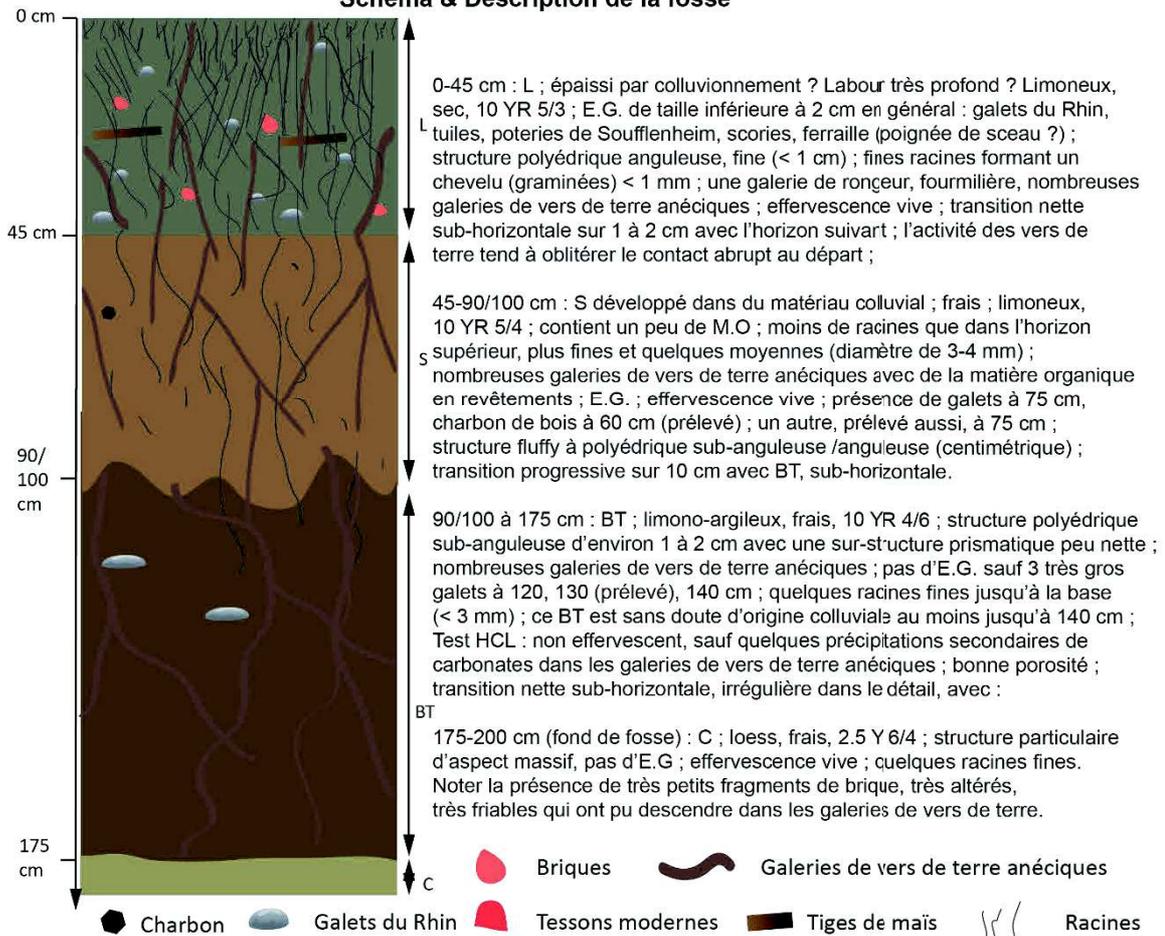
1° Pour analyses courantes : 0-10 ; 20-30 ; 40-50 ; 80-90	4° Densité apparente 0-5 (1,2,3) 10-15 (1,2,3) 20-25 (1,2,3) 30-35 (1,2,3) 40-45 (1,2) 50-55 (1,2) 60-65 (1,2) 70-75 (1,2)	5° OSL /
2° Colonnes NIRS (2 colonnes) : 0-5 10-15 20-25 30-35 40-45 50-55 60-65 70-75		6° Lames Mincees /
3° Mesure TMR 14C sur MOS /		

HABS 06: Toposéquence de Habsheim



Localisation : Habsheim (68440)
Lat./Long. : 47° 43' 39.58"N 7°24' 34.51"E
Altitude : 278 m
Date d'ouverture de la fosse : 3 juin 2014
Date de prélèvement : 4 juin 2014
Participants : Dominique Schwartz, Damien Ertlen et Lucie Froehlicher
Occupation du sol : Parcelle en MAET depuis 2011

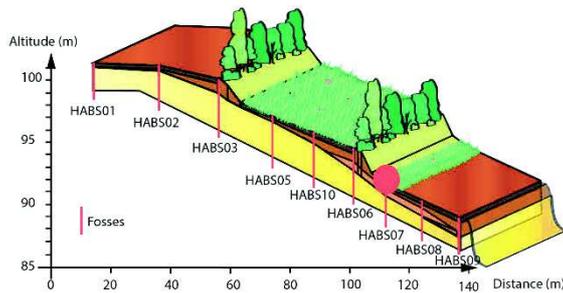
Schéma & Description de la fosse



Prélèvements réalisés (prof. en cm)

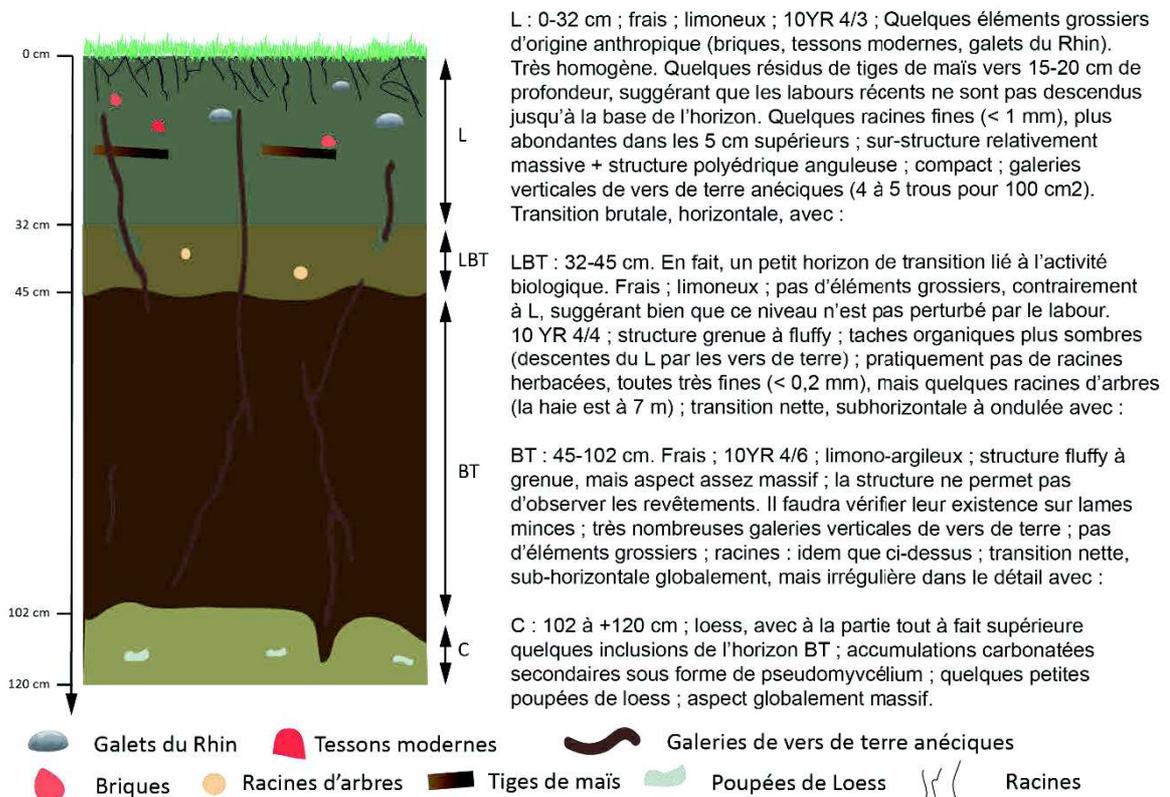
1° Pour analyses courantes : 0-10 ; 25-35 ; 45-55 ; 60-70 ; 80-90 105-115 ; 130-140 ; 155-165 ; 165-175 185-195	3° Mesure TMR 14C sur MOS 50-55 80-85 110-115 130-135 160-165 170-175	4° Densité apparente (tous les 10 cm) 0-5 (1,2,3) [...] 180-185 (1,2)	5° OSL 50-53 ; 80-83 110-113 ; 130-133 160-163 ; 170-173
2° Colonnes NIRS (2 colonnes) : 0-5 [...] 180-185			6° Lames Minces 45-54 ; 60-69 80-89 ; 105-114 130-139 ; 155-164 170-179

HABS 07: Toposéquence de Habsheim



Localisation : Habsheim (68440)
Lat./Long. : 47° 43' 40" N 7° 24'35"E
Altitude : 275 m
Date d'ouverture de la fosse : 14 mars 2014
Date de prélèvement : 14 mars 2014
Participants : Quentin Boesch, Lucie Froehlicher et Dominique Schwartz
Occupation du sol : Bande enherbée d'un champ

Schéma & Description de la fosse



Prélèvements réalisés (prof. en cm)

1° Pour analyses courantes :
0-10 ; 15-25 ; 32-45 ; 55-60 ;
70 – 75 ; 90-95 ; 110-115

2° deux colonnes NIRS
0-5
[...]
110-115

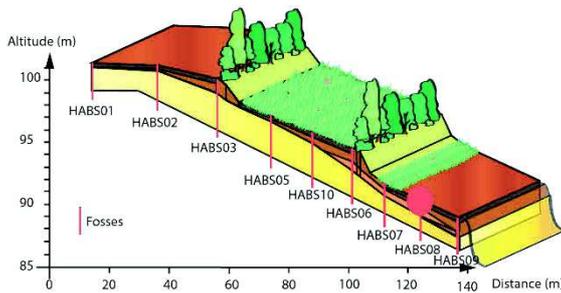
3° Mesure TMR 14C sur MOS
35-40 cm, 60-65 cm et 90-95 cm

4° Densité apparente
(tous les 10 cm)
0-5 (1,2,3)
[...]
110-115 (1,2)

5° OSL
60-63,
95-98,
105-108

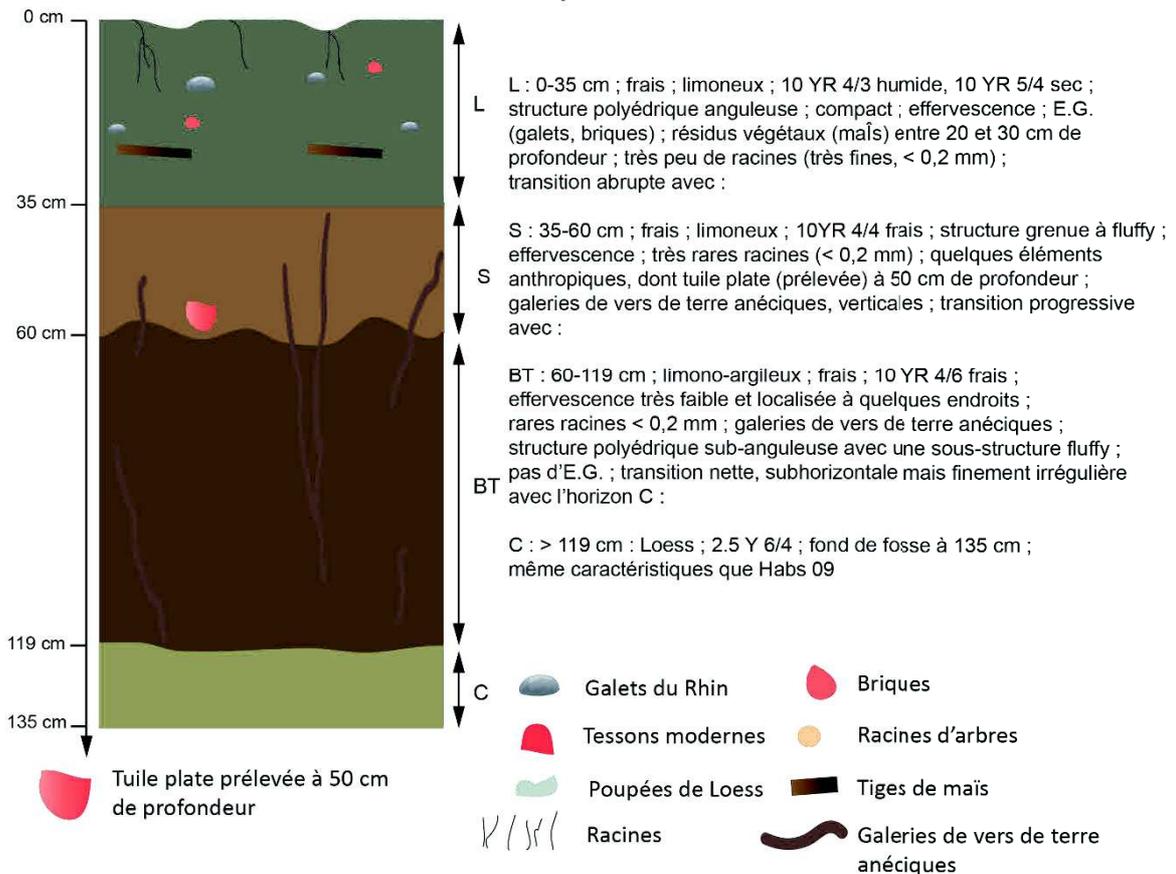
6° Lames Minces
40-50,
60-70,
90-100

HABS 08: Toposéquence de Habsheim



Localisation : Habsheim (68440)
Lat./Long. : 47° 43' 40.49"N 7°24' 34.50"E
Altitude : 273 m
Date d'ouverture de la fosse : 21 mars 2014
Date de prélèvement : 21 mars 2014
Participants : Thiébaud Simon, Dominique Schwartz, Lucie Froehlicher
Occupation du sol : Parcelle agricole (maïs)

Schéma & Description de la fosse



Prélèvements réalisés (prof. en cm)

1° Pour analyses courantes :
0-10, . 15-25, . 30-35,
40-50, . 70- 80 . 90-100
120 – 130

2° deux colonnes NIRS
0-5
[...]
130-135

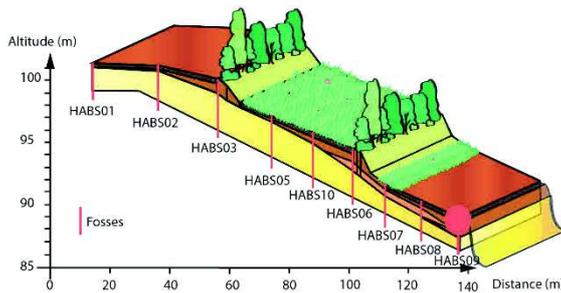
3° Mesure TMR 14C sur MOS
40-45,
60-65,
80-85,
110-115,

4° Densité apparente
(tous les 10 cm)
0-5 (1,2,3)
[...]
130-135 (1,2)

5° OSL
40-43,
60-63,
110-113

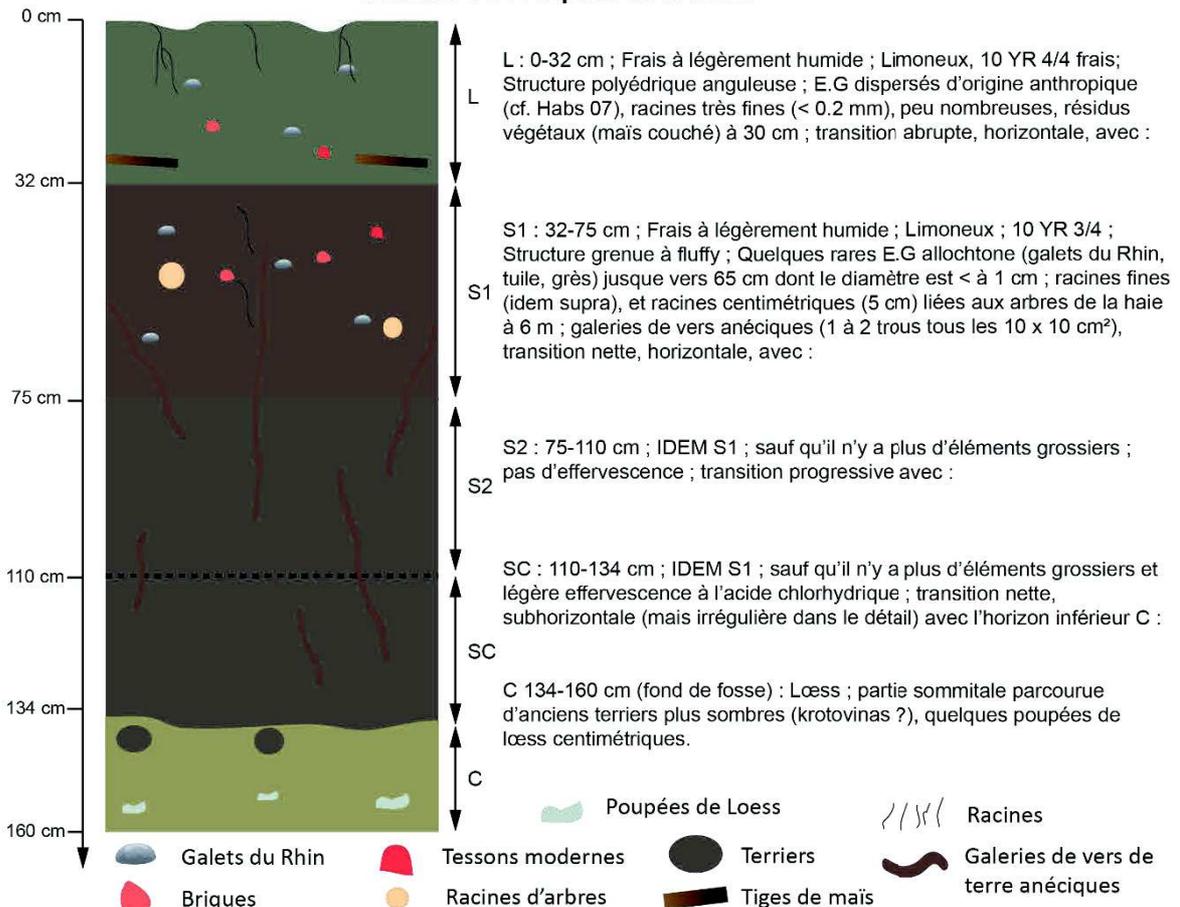
6° Lames Minces
45-55,
70-80,
85-95,
110-120

HABS 09: Toposéquence de Habsheim



Localisation : Habsheim (68440)
Lat./Long. : 47° 43' 40.79"N 7°24' 34.78"E
Altitude : 272 m
Date d'ouverture de la fosse : 20 mars 2014
Date de prélèvement : 20 mars 2014
Participants : Thiébaud Simon, Dominique Schwartz, Lucie Froehlicher
Occupation du sol : Parcelle agricole (maïs)

Schéma & Description de la fosse



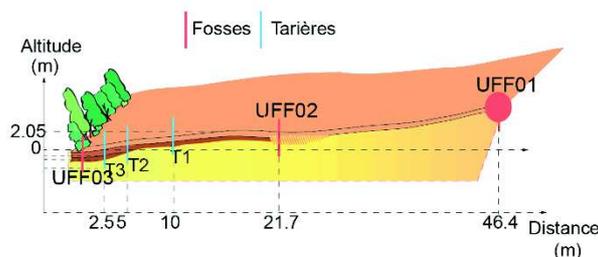
Prélèvements réalisés (prof. en cm)

<p>1° Pour analyses courantes : 0-10, 15-25, 32-45, 65-70, 75-80, 100-105, 115-120, 125-130, 140-145</p> <p>2° deux colonnes NIRS 0-5 [...] 140-145</p>	<p>3° Mesure TMR 14C sur MOS 35-40, 55-60, 75-80, 95-100, 115-120, 130-135</p> <p>4° Densité apparente (tous les 10 cm) 0-5 (1,2,3) [...] 140-145 (1,2)</p>	<p>5° OSL 60-63, 90-93, 127-130 140-143,</p> <p>6° Lames Minces 35-45, 55-65, 75-85, 95-105, 115-125</p>
---	--	---

Annexe 5 : Descriptions des fosses de la toposéquence UFF

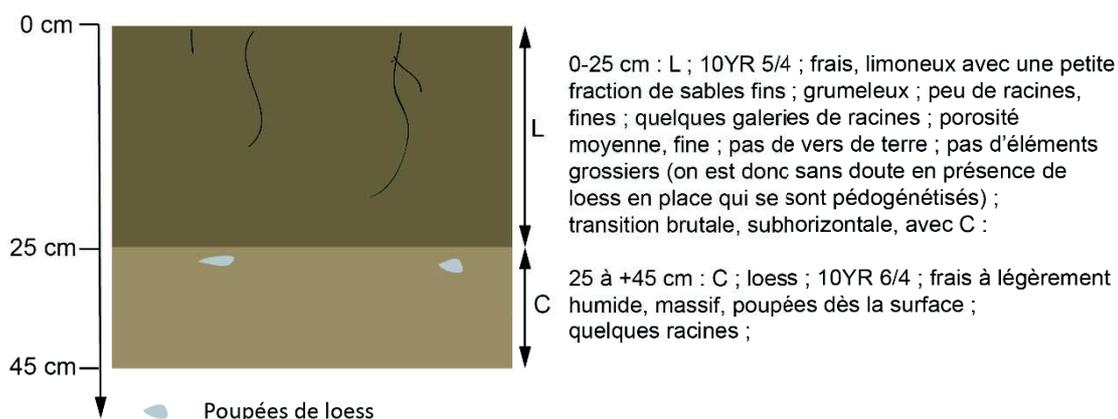
Annexe M : Fiche UFF 01

UFF 01 : Toposéquence de Uffheim



Localisation : Uffheim (68510)
Lat./Long. : 47°39'20.13"N 7°26'35.86"E
Altitude : 290 m
Date d'ouverture de la fosse : 31 octobre 2014
Date de prélèvement : 31 octobre 2014
Participants : Thiébaud Simon, Dominique Schwartz, Lucie Froehlicher
Occupation du sol : Parcelle agricole (maïs)

Schéma & Description de la fosse



Prélèvements réalisés (prof. en cm)

1° Analyses courantes :
 5-15
 30-35

2° Colonnes NIRS (2) :
 0-5
 10-15
 20-25
 30-35

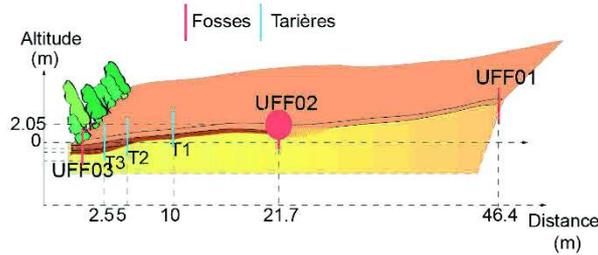
3° Mesure TMR 14C sur MOS
 /

4° Densité apparente
 (tous les 10 cm)
 0-5
 10-15
 20-25
 30-35

5° OSL
 /

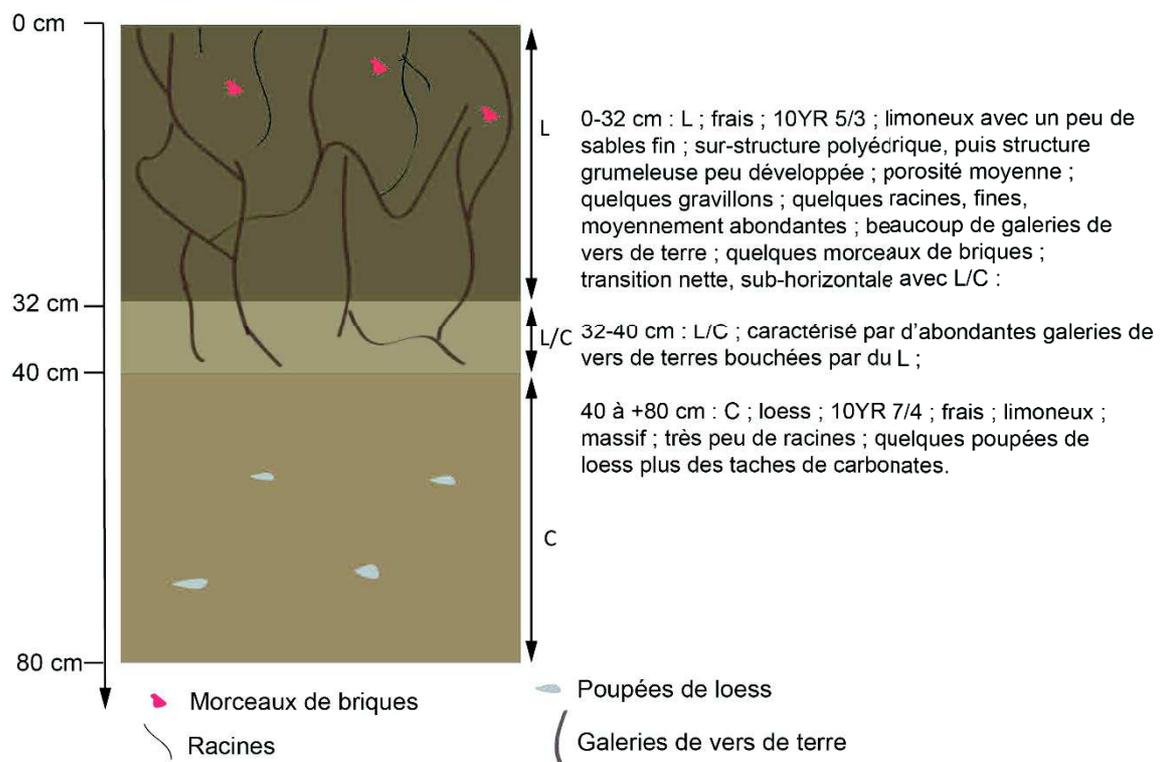
6° Lames Minces
 /

UFF 02 : Toposéquence de Uffheim



Localisation : Uffheim (68510)
Lat./Long. : 47°39'20.56"N 7°26'35.38"E
Altitude : 289 m
Date d'ouverture de la fosse : 31 octobre 2014
Date de prélèvement : 31 octobre 2014
Participants : Thiébaud Simon, Dominique Schwartz, Lucie Froehlicher
Occupation du sol : Parcelle agricole (maïs)

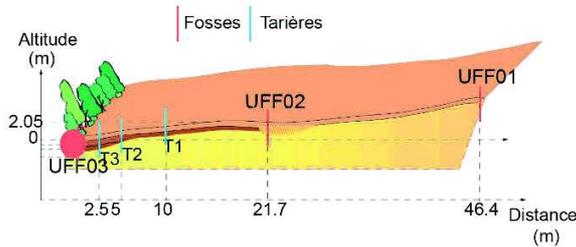
Schéma & Description de la fosse



Prélèvements réalisés (prof. en cm)

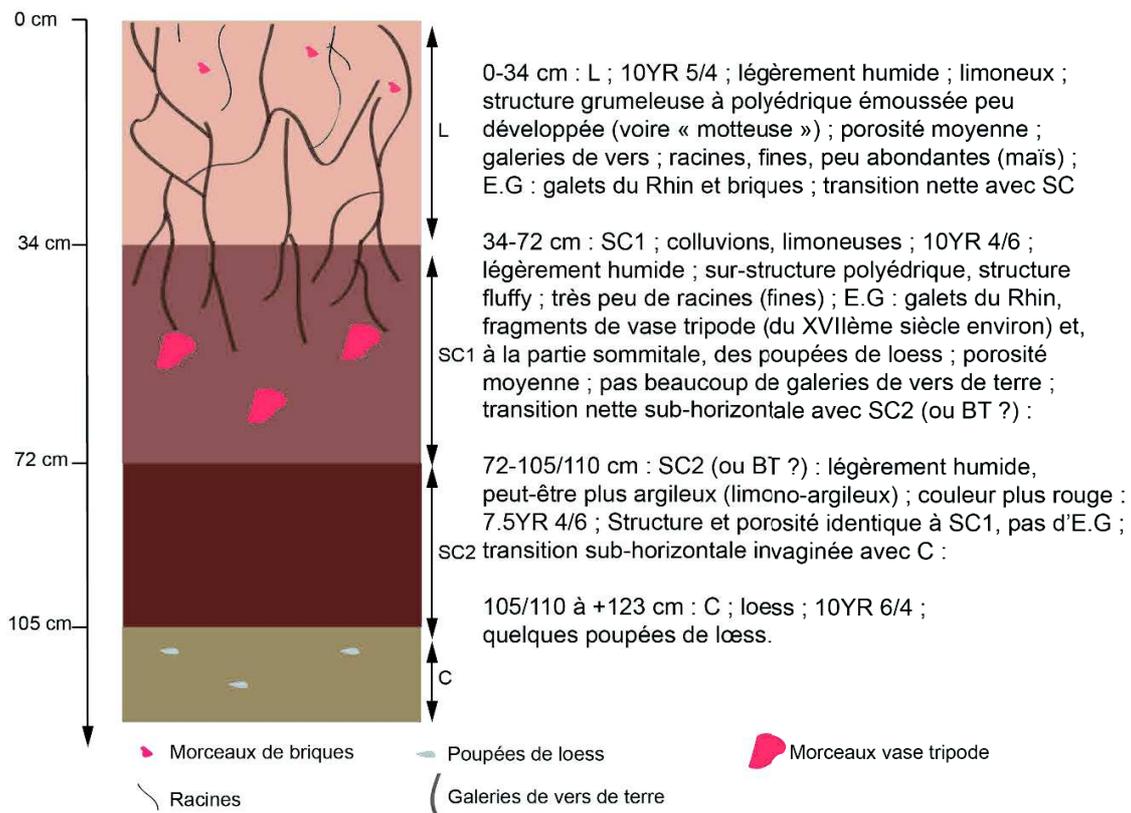
1° Analyses courantes :	3° Mesure TMR 14C sur MOS	5° OSL
10-20	/	/
32-40		
50-60		
2° Colonnes NIRS (2) :	4° Densité apparente	6° Lames Minces
0-5	(tous les 10 cm)	/
10-15	0-5	
20-25	10-15	
30-35	20-25	
40-45	30-35	
50-55	40-45	
	50-55	

UFF 03 : Toposéquence de Uffheim



Localisation : Uffheim (68510)
Lat./Long. : 47°39'21.06"N 7°26'35.04"E
Altitude : 288 m
Date d'ouverture de la fosse : 30 octobre 2014
Date de prélèvement : 30 octobre 2014
Participants : Thiébaud Simon, Dominique Schwartz, Lucie Froehlicher
Occupation du sol : Parcelle agricole (maïs)

Schéma & Description de la fosse



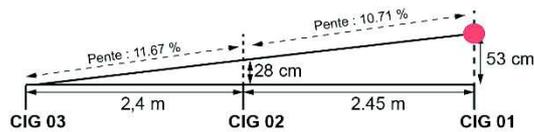
Prélèvements réalisés (prof. en cm)

<p>1° Analyses courantes :</p> <p>10-20 (L) 50-60 (Sc) 85-95 (Sc2) 110-120 (C)</p> <p>2° Colonnes NIRS (2) :</p> <p>0-5 (101/201) 10-15 (102/202) ... 110-115 (112/212)</p>	<p>3° Mesure TMR 14C sur MOS /</p> <p>4° Densité apparente (tous les 10 cm ; 2 à 3 cylindres par palier) 0-5 10-15 ... 110-115</p>	<p>5° OSL 65-70 95-100</p> <p>6° Lames Minces 40-48 62-70 75-83 95-103</p>
---	--	--

Annexe 6 : Descriptions des fosses de la toposéquence CIG

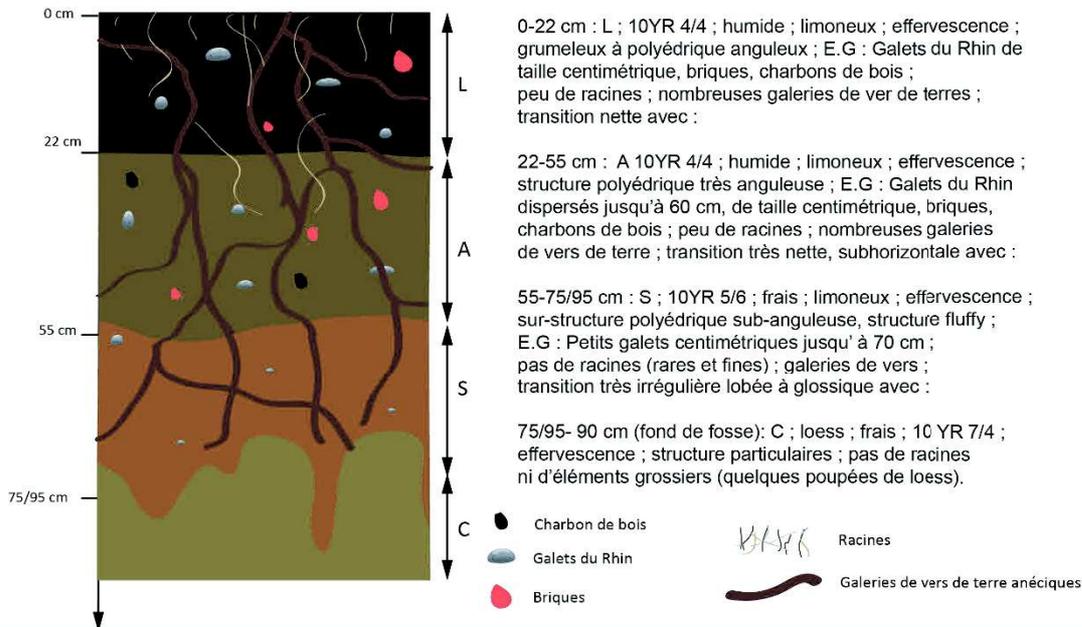
Annexe P : Fiche CIG 01

CIG 01 : Toposéquence de Habsheim



Localisation : Habsheim (68440)
Lat./Long. : 47°43'39.32"N 7°24'31.73"E
Altitude : 279 m
Date d'ouverture de la fosse : 3 novembre 2015
Participants : L. Froehlicher ; D. Schwartz ; F. Hess ; S. Rougier
Occupation du sol : Parcelle agricole (Maïs)

Schéma & Description de la fosse



Prélèvements réalisés (prof. en cm)

1° Analyses courantes :
 0-10 ; 30-40 ; 60-70 ; 80-90

2° Colonnes NIRS (2 colonnes) :
 0-5 (101 ; 201)
 ...
 80-85 (109 ; 209)

3° Mesure TMR 14C sur MOS
 /

4° Densité apparente (de 1 à 2 cylindres par palier)
 0-5 (A ; B)

...
 80-85 (A)

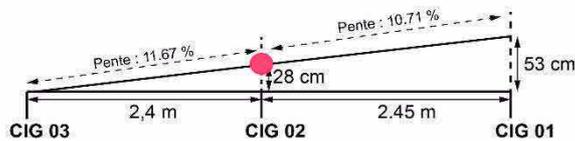
4° OSL

/

5° Lames Minces

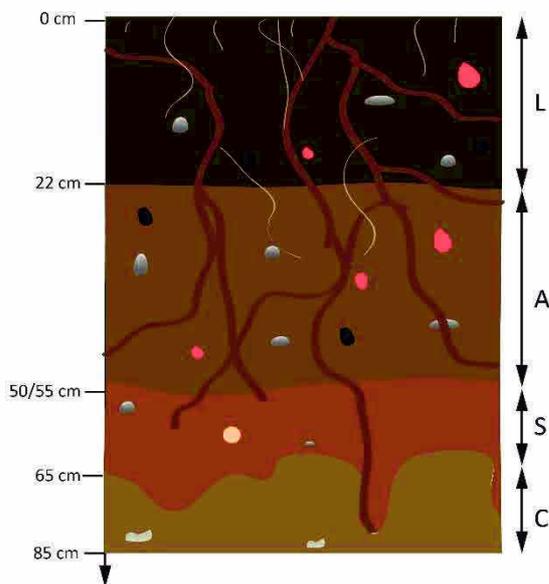
/

CIG 02 : Toposéquence de Habsheim



Localisation : Habsheim (68440)
Lat./Long. : 47°43'39.49"N 7°24'31.72"E
Altitude : 278 m
Date d'ouverture de la fosse : 3 novembre 2015
Participants : L.Froehlicher ; D.Schwartz ; F.Hess ; S.Rougier
Occupation du sol : Parcelle agricole (Maïs)

Schéma & Description de la fosse



L (0-22) : 10YR 4/4 ; Humide ; Limoneux ; Effervescence ; Grumeleux à polyédrique anguleux ; E.G : Galets du Rhin de taille centimétrique, briques, charbons de bois ; peu de racines ; nombreuses galeries de vers de terre ; transition nette avec :

A (22-50/55) : 10YR 4/4 ; Humide ; Limoneux ; Effervescence ; structure polyédrique très anguleuse ; E.G : Galets du Rhin dispersés jusqu'à 60 cm, de taille centimétrique, briques, charbons de bois ; peu de racines ; nombreuses galeries de vers de terres ; vers 40 cm un petit niveau anthropique (galets/briques/charbons) ; transition irrégulière avec :

S (50/55-65) : 10YR 5/6 ; Frais ; Limoneux ; Effervescence ; Sur-structure polyédrique sub-anguleuse, structure fluffly ; E.G : Petits galets centimétriques jusqu' à 65 cm ; pas de racines (rare et fines) sauf une très grosse racine subhorizontale vers 60 cm (vigne ?) ; galeries de ver ; transition irrégulière avec :

C (65-85 (fond de fosse)) : Loess ; Frais ; 10 YR 7/4 ; Effervescence ; Structure particulières ; Pas de racines ni d'éléments grossiers (quelques poupées de loess).

- Racines d'arbres
- Charbon de bois
- Galets du Rhin
- Poupées de Loess
- Racines
- Galeries de vers de terre anéциques
- Briques

Prélèvements réalisés (prof. en cm)

1° Analyses courantes :
 0-10 ; 30-40 ; 50-60 ; 70-80
 2° Colonnes NIRS (2 colonnes) :
 0-5 (101 ; 201)
 ...
 70-75 (108 ; 208)

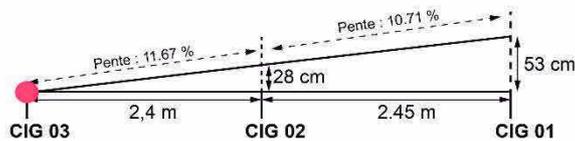
3° Mesure TMR 14C sur MOS
 /

4° Densité apparente (de 1 à 2 cylindres par palier)
 0-5 (A ; B)
 ...
 70-75 (A)

4° OSL
 /

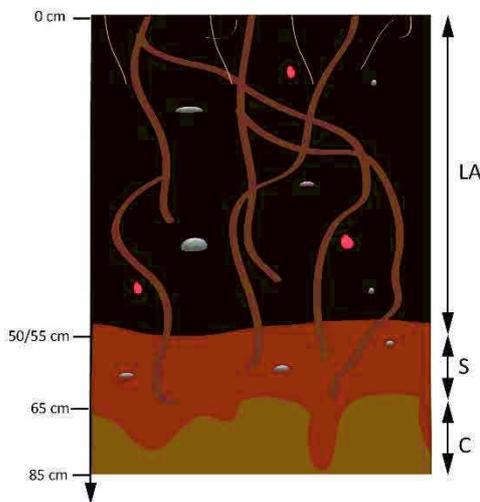
5° Lames Minces
 /

CIG 03 : Toposéquence de Habsheim



Localisation : Habsheim (68440)
Lat./Long. : 47°43'39.58"N 7°24'31.71"E
Altitude : 278 m
Date d'ouverture de la fosse : 3 novembre 2015
Participants : L.Froehlicher ; D.Schwartz ;
 F.Hess ; S.Rougier
Occupation du sol : Parcelle agricole (Maïs)

Schéma & Description de la fosse



LA (0-50/55) : 10YR 4/4 ; Humide ; Limoneux ; Effervescence ;
 Grumeleux à polyédrique anguleux en surface puis structure
 polyédrique très anguleuse après 15 cm ; E.G : Galets du Rhin
 dispersés jusqu'à 60 cm, de taille centimétrique, briques,
 charbons de bois ; peu de racines ; nombreuses galeries
 de vers de terre ; transition irrégulière avec :

S (50/55-65) : 10YR 5/6 ; Frais ; Limoneux ; Effervescence ;
 Sur-structure polyédrique sub-anguleuse, structure fluffy ; E.G :
 quelques petits galets centimétriques jusqu'à 65 cm ; rares racines
 (fines) ; galeries de vers ; transitions irrégulière avec :

C (65-85 (fond de fosse)) : Loess ; limoneux ; Frais ; 10 YR 7/4 ;
 Effervescence ; Structure particulières ; Pas de racines
 ni d'éléments grossiers (quelques poupées de loess).

N.B. : par comparaison avec les autres fosses, limites de L
 vers 22-23 cm, mais non observable sur le profil



Prélèvements réalisés (prof. en cm)

1° Analyses courantes :

0-10 ; 30-40 ; 50-60 ; 70-80

2° Colonnes NIRS (2 colonnes) :

0-5 (101 ; 201)

...

70-75 (108 ; 208)

3° Mesure TMR 14C sur MOS

/

4° Densité apparente (de 1 à 2 cylindres par palier)

0-5 (A ; B)

...

70-75 (A)

4° OSL

/

5° Lames Minces

/

Annexe 7 : Exemple de valeurs de carbones organiques mesurés dans des luvisols

Annexe 5 : Tableau des valeurs de carbones organiques mesurées dans les luvisols

Type de sols	Couverture du sol	Profondeur et Horizon	C. org. par horizon (Walkley & Black) En %	Source
Sol limoneux décarbonaté profond sur lehm-löss p. 92	Parcelle de maïs	0-30 (LA) 30-50 (Ah) 50-80 (BT) 80-170 (C)	0.93 0.46 0.29 0.17	Party, 1999
Sols brun lessivé p. 45	Sol sous cultures	0-10 cm (A _p)	1.97	Benoit Janin, 1985
Sols brun lessivé p. 45	Sol sous forêts	0-10 cm (A ₁)	2.9	Benoit Janin, 1985
Sol lessivé p.47 (Limon)	Sol sous cultures	0-25 (A _p) 25-45 (B ₁) 45-70 (B ₂₁)	1.06 0.65 0.54	Crahet, 1981
Sols brun lessivé ou sol lessivé tronqué p. 49 (Limon)	Sol sous cultures	0-30 (A _p) 30-45 (B ₁) 45-60 (B ₂)	1.17 0.56 0.41	Crahet, 1981
Brun lessivé ou sol brun faiblement lessivé p. 53 (Formation de pente)	Sol sous cultures	0-30 (A _p) 30-55 (A ₃)	1.15 0.59	Crahet, 1981
Sol lessivé p. 64 (Limon)	Chaumes de blé	0-27 (A _p) 27-40 (A ₃) 40-60 (B ₁)	0.95 0.42 0.33	Crahet, 1981
Sol lessivé à dégradation diffuse p. 66 (Limons)	Chaumes de blé	0-30 (A _p) 37-50 (A ₂) 55-70 (B ₁)	1.05 0.57 0.45	Crahet, 1981
Sol lessivé p. 70 (Limons)	Chaumes	0-23 (A _p) 23-44 (B ₁) 44-80 (B ₂)	0.73 0.37 0.28	Crahet, 1981

Sol brun lessivé p. 71 (Limons)	Chaumes	0-25 (A _p) 25-40 (A ₃) 40-55 (B ₁)	0.92 0.82 0.46	Crahet, 1981
Sol lessivé (Limons éoliens) p. 80	Champ labouré	0-25 (A _p) 25-35 (A ₃) 35-53 (B ₂₁)	0.93 0.38 0.26	Crahet, 1981
Sol lessivé (Limon éolien) p. 82	Champ labouré	0-25 (A _p) 25-35 (A ₃) 35-75 (B ₂ [†]) 75-110 (B ₃ [†])	1.31 0.51 0.52 0.31	Crahet, 1981
Sol brun lessivé sur limons p. 86	Chaume	0-13 (A ₁) 13-28 (A ₂) 28-70 (B ₁) 70-90 (B ₂₁ [†]) 90-160 (B ₂₂ [†]) 160-170 (B ₃)	2.28 0.93 0.46 0.27 0.34 0.49	Ducloux, 1989
Sol brun lessivé sur limons p. 102	Prairie	0-30 (A _p A ₁) 30-55 (A ₂) 55-80 (B _i)	2.51 0.7 0.7	Ducloux, 1989
Sol brun lessivé sur limons épais p. 104	Prairie artificielle	0-24 (A _p) 24-37 (A ₂) 37-63 (B ₁) 63-83 (B ₂₂ [†]) 83-105 (B ₂₃ [†]) >105 (B ₃)	1.28 0.57 0.41 0.32 0.27 0.16	Ducloux, 1989
Sol brun lessivé sur limons p. 119	Prairie	0-25 (A ₁) 25-40 (B)	1.26 0.84	Ducloux, 1989
Sol lessivés sur alluvions pliocènes p. 121	Prairie	0-10 (A ₁) 10-40 (A ₂) 40-65 (AB) 65-100 (Bt) 100-110 (II Bt) >110 (IIC)	2.58 1.35 0.59 / / /	Ducloux, 1989

Sol lessivés sur alluvions pliocènes p. 127	Taillis de châtaignier-fougère aigle	0-3 (A ₁₁) 3-7 (A ₁₂) 7-40 (A ₂) 40-53 (II A) 53-85 (II B _{1tg}) 85-125 (IIB _{21tgx}) 125-140 (IIB _{22 tgx}) 140-190 (IIIB _{3tgx}) Dès 190 (IIIB _{tg})	7.69 3.4 0.77 / / / / / /	Ducloux, 1989
Sol lessivé p. 149	Chaume	0-10 (A _p) 10-37 (A ₂) 37-45 (B _{1g}) >45 (II B _{2tg})	1.59 0.87 / /	Ducloux, 1989
Sol lessivé acide et hydromorphes (dégradé) p. 150-151	Taillis de chênes et châtaigniers-ronces-aubépines	0-14 (A ₁) 14-30 (A ₂) 40/50-100 (B _{tg})	1.09 0.84 /	Ducloux, 1989
Sol brun lessivés (p. 33) (sur alluvions anciennes)	Culture	0-12 (A _{p1}) 12-27 (A _{p2}) 27-44 (A ₁₂) 44-57 (A ₁₃)	0.83 0.86 0.65 0.58	Favrot, 1969
Sol brun lessivés (p. 34) (sur alluvions anciennes)	Culture	0-15 (A _{p1}) 15-35 (A _{p2})	1.11 0.58	Favrot, 1969
Sol brun lessivés (p. 35) (sur alluvions anciennes)	Culture	0-20 (A _{p1}) 20-22 (A _{p2})(G) 22-35 (A ₃) 35-50 (B ₁)	0.74 0.83 0.49 0.34	Favrot, 1969
Sol brun lessivés (p. 36) (sur alluvions anciennes)	Culture	0-15 (A _{p1}) 15-35 (A _{p2})	0.80 0.46	Favrot, 1969
Sol brun lessivé p. 41 (limon éolien)		0-15 (A _{pg}) 15-40 (A _{2g}) 40-50 (A et B _{gfe})	1 0.4 0.3	Fedoroff et Rossignol, 1969

		50-60 (B21tg)	0.2	
		60-85 (B22tg)	0.2	
Sols lessivés sur substratum calcaire P.17		0-15 (A _p)	1.57	Ducloux, 1970
		15-35 (A ₂)	0.82	
		35-65 (B ₂ ^t)	0.66	
		65-70 (Bé _{ta})	1.43	
Sols lessivés sur substratum calcaire P.17		0-30 A _p	1.6	Ducloux, 1970
		30-65 B _{2t}	0.46	
		65-70 Bé _{ta}	0.88	
Sol brun faiblement lessivé sur matériaux sableux (p.39)	Sol maraîcher	0-25 (A ₁₁)	1.36	Chrétien et Vermé, 1971
		30-50 (A ₁₂)	0.4	
		55-75 (B ₁)	0.35	
		75-95 B _{2Fe}	0.17	
		100-120 C	0.07	
Sol brun lessivé sur calcaire p. 233	Forêt	10-60 (A ₁)	2.26	Braque, 1961
		60-90 (B)	0	
		>90 (C ₀)	0.4	
Sol brun lessivé sur éluvium p. 234	Fourré	0-20 (A ₁)	2.96	Braque, 1961
		20-40 (A ₂)	0.87	
		40-60 (A ₃)	0.41	
		60-160 (B)	0	
		>160 (C ₀)	0.41	
Sols de limons épais.		0-30 (A _p)	1.16	Isambert, 1984
		30-40 (A ₂)	0.7	
		40-45 (B _{1t})	0.58	
		45-75 (B _{2t})	0.41	
		75-120 (B _{3t})	0.29	
		120-150 (C)	0.23	
Sol brun lessivé p.70	Blé	0-20 (A _p)	1.86	Servant et Dupond, 1982
		20-42 (A ₁₂)	0.73	
		42-65 (A ₂)	0.49	
		65-100 (B _t)	0.3	
Sol lessivé	Blé	0-30 (A _p)	1.36	Servant et Dupond, 1982

p.83-84		30-39 (A _{12g})	0.5	
		39-57 (A _{2g})	0.3	
		57-65 (A _{2g})	0.19	
		65-100 (Bt)	0.16	

Annexe 8 : Métadonnées des photos aériennes et du LIDAR utilisés pour l'étude spatio-temporelle sur l'évolution des systèmes de haies des sites d'études

Annexe T : Tableau des métadonnées en lien avec les photos aériennes

Type de document	Nom du fichier dans ArcGis	Année	Source	Commune
Photo aérienne	IGNF_PVA_1-0__1934-05-12__C3720-0541_1934_NP7R9_0023	12/05/1934	IGN	Habsheim (68)
	IGNF_PVA_1-0__1951-06-14__C3717-0011_1951_F3717-3720_0143_Habsheim	14/06/1951	IGN	Habsheim
	IGNF_PVA_1-0__1960-02-09__C3720-0341_1960_CDP1533_0430_Habsheim	09/02/1960	IGN	Habsheim
	IGNF_PVA_1-0__1963-10-16__C3720-0451_1963_CDP3972_6039_Habsheim	16/10/1963	IGN	Habsheim
	IGNF_PVA_1-0__1973-05-26__C3720-0201_1973_FR2403P_0010_Habsheim	26/05/1973	IGN	Habsheim
	IGNF_PVA_1-0__1984-04-15__C3720-0031_1984_F3520-3720_0031_Habsheim	15/04/1984	IGN	Habsheim
	IGNF_PVA_1-0__1991-07-11__C91SAA1221_1991_FP3712-3720_0147_Habsheim	11/07/1991	IGN	Habsheim
	Sierentz1934A	1934	IGN	Sierentz (68)
	Sierentz1934B	1934	IGN	Sierentz
	Sierentz1934C	1934	IGN	Sierentz
	Sierentz1951	1951	IGN	Sierentz
	Sierentz1956	1956	IGN	Sierentz
	Sierentz1966A	1966A	IGN	Sierentz
	Sierentz1966B	1966B	IGN	Sierentz
	Sierentz1966C	1966C	IGN	Sierentz
	Sierentz1966D	1966D	IGN	Sierentz
	Dimbsthal1950	1950	IGN	Dimbsthal/ Marmoutier (67)
	Dimbsthal1958	1958	IGN	Dimbsthal/ Marmoutier
	Dimbsthal1963	1963	IGN	Dimbsthal/ Marmoutier
	Dimbsthal1971	1971	IGN	Dimbsthal/ Marmoutier
	Dimbsthal1974	1974	IGN	Dimbsthal/ Marmoutier
	Dimbsthal1978	1978	IGN	Dimbsthal/ Marmoutier
	Dimbsthal1981	1981	IGN	Dimbsthal/ Marmoutier
	Dimbsthal1985	1985	IGN	Dimbsthal/ Marmoutier

	Dimbsthal1991	1991	IGN	Dimbsthal/Marmoutie
	Dimbsthal1995	1995	IGN	Dimbsthal/Marmoutier
LIDAR	OMB_SUNDGAU_CC48	2012	CG68	Sundgau
Shapefiles	Shapefiles produits pour Habsheim à partir des photos aériennes de 1934 à 2007 et du LIDAR			
	Haies habs 1934.shp	2016	L.Froehlicher	Habsheim
	Haies habs 1951.shp	2016	L.Froehlicher	Habsheim
	Haies habs 1960.shp	2016	L.Froehlicher	Habsheim
	Haies habs 1963.shp	2016	L.Froehlicher	Habsheim
	Haies habs 1973.shp	2016	L.Froehlicher	Habsheim
	Haies habs 1984.shp	2016	L.Froehlicher	Habsheim
	Haie_Habsheim_2007.shp	2016	L.Froehlicher	Habsheim
	Terres labourées_Habsheim_1951.shp	2016	L.Froehlicher	Habsheim
	Prairies_vergers_prés_Habsheim_1951.shp	2016	L.Froehlicher	Habsheim
	Vignes_Habsheim_1951.shp	2016	L.Froehlicher	Habsheim
	Terres labourées_Habsheim_1984.shp	2016	L.Froehlicher	Habsheim
	Prairies_vergers_prés_Habsheim_1984.shp	2016	L.Froehlicher	Habsheim
	Vignes_Habsheim_1984.shp	2016	L.Froehlicher	Habsheim
	Terres labourées Habsheim_1991.shp	2016	L.Froehlicher	Habsheim
	Prairies_vergers-prés_Habsheim_1991.shp	2016	L.Froehlicher	Habsheim
	Vignes_Habsheim_1991.shp	2016	L.Froehlicher	Habsheim
	Terres labourées Habseim_2007.shp	2016	L.Froehlicher	Habsheim
	Prairies_vergers_prés_Habsheim_2007.shp	2016	L.Froehlicher	Habsheim
	Vignes_Habsheim_2007.shp	2016	L.Froehlicher	Habsheim
	Axes_routiers_Habsheim.shp	2015	L.Froehlicher	Habsheim
	Rideaux_Habsheim_LIDAR.shp	2016	L.Froehlicher	Habsheim
	Shapefiles produits pour Uffheim/Sierentz à partir des photos aériennes de 1934 à 2007 et du LIDAR			
	Terres labourées Sierentz_Uffheim_1956	2016	L.Froehlicher	Uffheim/Sierentz
	Terres labourées Sierentz_Uffheim_1985	2016	L.Froehlicher	Uffheim/Sierentz
	Terres labourées Sierentz_Uffheim_2007	2016	L.Froehlicher	Uffheim/Sierentz
	Haies_sierentz_uffheim_1985	2016	L.Froehlicher	Uffheim/Sierentz
	Haies_Sierentz_Uffheim_1991	2016	L.Froehlicher	Uffheim/Sierentz
Découpe commune uffheim_sierentz	2015	L.Froehlicher	Uffheim/Sierentz	
Rideau de culture Uffheim & Sierentz.shp	2016	L.Froehlicher	Uffheim/Sierentz	

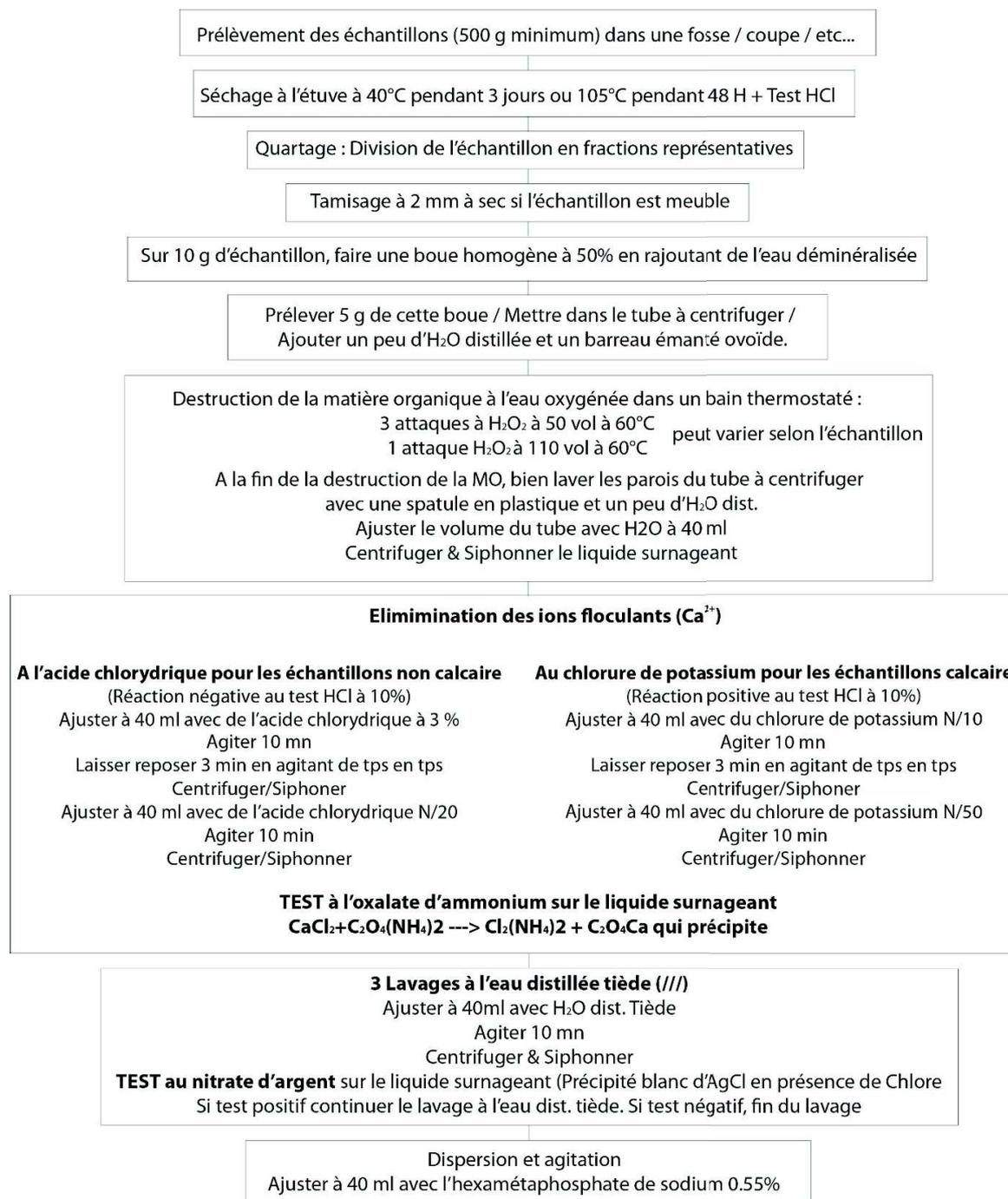
Annexe 9 : Métadonnées des archives cartographiques utilisées pour l'étude spatio-temporelle sur l'évolution des systèmes de haies/rideaux de culture des sites d'études

Annexe U : Tableau des métadonnées en lien avec les archives cartographiques

Type de document	Nom du fichier dans ArcGis	Année	Source	Communes d'intérêts
Plan d'arpentage	Plan 1760.tif	1760	Archives Départementale Du Haut-Rhin C1164/7	Habsheim (68)
Carte allemande	Carte 1883.tif	1883	Mulhausen Ost 3685 / BNU, M Carte 1196-130	Habsheim (68)
Carte allemande	Pas importé	1886	Mülhausen (Ost), 1/25 00, Berlin, Reichsmat für Landsaufnahme	Habsheim (68)
Plan d'assemblage de la commune d'Habsheim	Pas importé	1918	Bibliothèque National Universitaire de Strasbourg MCARTE554	Habsheim (68)
Plan d'arpentage	Pas importé	1760	ADHR, C1175/12	Uffheim (68)
Plan d'arpentage	Pas importé	1760	ADHR, C1173/18	Sierentz (68)
Carte de Bâle et ses environs	Sierentz_1880_Sud.tif Et Sierentz_1880_Nord.tif	1880	Gravure représentant une cartographie ancienne de la ville de Bâle et de ses environs. Echelle : 1/100 000 ; Bibliothèque nationale de France, GE C-1174	Uffheim/Sierentz (68)
Karte des Deutschen Reiches 656 Mülhausen i Elsass herausgegeben	Pas importé	1908	Bibliothèque nationale et universitaire de Strasbourg, MCARTE10467	Uffheim/Sierentz (68)
Plan d'arpentage	Pas importé	1760	Archives départementale du Bas-Rhin	Marmoutier
Cadastre de la commune de Marmoutier	Pas importé	1822	Section D1 feuille 1ère Archives Départementale du Bas-Rhin 3P496/40	Marmoutier
Shapefiles	Shapefiles produits pour Habsheim et Uffheim/Sierentz à partir des cartes anciennes			
	Haies_habs_1883.shp	2016	L.Froehlicher	Habsheim
	Haie_Sierentz_Uffheim_1880.shp	2016	L.Froehlicher	Uffheim/Sierentz

Annexe 10 : Protocole de préparation des échantillons pour la granulométrie laser

Annexe V : Protocole pour l'analyse granulométrique



Annexe 11 : Missions de terrains réalisées en Alsace pour la sélection des sites d'études

Annexe W : Tableau des missions de terrains

N° Site	Localisation missions	Dates de missions	Observations de terrains	Confirmation/Sélection
1	Louny, Chromutov, Dècin (République Tchèque)	24, 25, 26 et 27 octobre 2013	Système de haies denses encore actifs, comparables à ce que l'on avait en Alsace dans le passé.	Zones de références « visuelles/conceptuelles » pour bien intégrer la forme des systèmes de haies
2	Froeningen (68)	30 novembre 2013	Rideaux de culture	Non car pas de loess
3	Tagolsheim (68)	30 novembre 2013	Rideaux de culture	Non car pas de loess
4	Zillisheim (68)	30 novembre 2013	Rideaux de culture	Non car pas de loess
5	Soultzeren (68)	30 novembre 2013	Rideaux de culture	Non
6	Linthal (68)	30 novembre 2013	Rideaux de culture	Non
7	Stosswihr (68)	30 novembre 2013	Rideaux de culture	Non
8	Bornacker (68)	30 novembre 2013	Rideaux de culture	Non
9	Sierentz (68)	6 décembre 2013	Rideaux de culture	Toutes les conditions nécessaires remplis, mais défaut d'autorisations...
10	Uffheim (68)	6 décembre 2013 21 octobre 2014 30 & 31 octobre 2014	Système de haie encore actif.	Toutes les conditions nécessaires remplis + autorisations = site sélectionné.
11	Gommersdorf (68)	6 décembre 2013	Rideaux de culture	Non car pas de loess
12	Buethwiller (68)	6 décembre 2013	Rideaux de culture	Non
13	Wolschwiller (68)	6 décembre 2013	Rideaux de culture	Non
14	Kochersberg (67)	13 décembre 2013	Rideaux de culture reliques	Identification très difficile sur le terrain, et absence de LIDAR.
15	Habsheim (HABS)	15 janvier 2014 14 mars 2014 20 & 21 mars 2014 3 & 4 avril 2014 3, 4 & 5 juin 2014 21 octobre 2014	Systèmes de haies encore actifs	Toutes les conditions nécessaires remplis + autorisations = site sélectionné.
16	Duntzenheim (67)	17 janvier 2014	Rideaux de culture reliques	Non
17	Avenheim (67)	17 janvier 2014	Rideaux de culture reliques	Non
18	Vendenheim (67)	17 janvier 2014	Rideaux de culture et systèmes de haies.	Non
19	Oberhausbergen (67)	29 janvier 2014	Rideaux de culture reliques.	Non
20	Haegen (67)	11 juin 2015	Haies	Non
21	Dimsthal (67)	11 juin 2015	Rideaux de culture.	Non
22	Singrist (67)	11 juin 2015	Rideaux de culture.	Non
23	Salenthal (67)	11 juin 2015	Rideaux de culture.	Non

24	Marmoutier (67)	11 & 12 juin 2015	Rideaux de culture associés à d'autres structures agraires : pierriers et champs bombés.	Oui : coupe réalisée dans un pierrier appuyé sur un rideau de culture. Prélèvement d'un paléosol pour datation ¹⁴ C.
25	Marckolsheim	24 mars 2015	Crêtes de labours	Prélevés pour compléter référentiel SPIR.
26	Habsheim (HABSREF)	2 avril 2015	Site de référence sous prairie.	Prélevé comme référence de sol sur lœss sous prairie.
27	Carspach (68)	7 avril 2015	Site de référence sous forêt.	Non : trop de battance de la nappe.
28	Dinsheim (67)	16 juin 2015	Prospection pour enregistrement du signal de rideaux de culture en voie de disparitions.	Non
29	Sainte Marie Aux Mines (67)	Juin 2015	Rideaux de culture	Non, simple observation de terrain.
30	Mulhouse (ZOO) (68)	15 juillet 2015	Site de référence sous forêt.	Prélevé comme référence de sol sur lœss sous forêt.
31	Habseim (CIG) (68)	15 octobre 2015 3 novembre 2015	Prospection pour enregistrement du signal de rideaux de culture en voie de disparitions.	Toutes les conditions nécessaires remplis + autorisations = site sélectionné.
TOTAL	Plus de 31 communes prospectées.	32 jours de terrains.		5 sites retenus.

Annexe 12 : Liste des toponymes en lien avec les haies relevés en
Alsace.

Annexe X : Tableau des toponymes

Mention	Localité : Haut-Rhin /Bas-Rhin	Source
Haut-Rhin		
Affholtz Hag	bois Hagenbach	plan de finage 1762
Am Eckenbach	terres Rohrschwihr	plan de finage 1762
Am Haasen Haag	bois Hausgauen	plan de finage 1762
An der Eck	canton Franken	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
An der Eck	canton Oltingue	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Jura alsacien - 1414 An den Eckh		
An der Eck	canton Sondersdorff	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Jura alsacien - 1338 An der Egge		
Annelis Hag	bois Ranspach-le-Haut	plan de finage 1762
Auf der Eck	terres Flaxlanden	plan de finage 1762
Auf der Eck	terres Steinbrunn-le-Bas	plan de finage 1762
Auf der Eck	terres Schwoben	plan de finage 1762
Auf der Götzenbach Haag	bois Bisel	plan de finage 1762
Auf der Hecke	terres Steinbrunn-le-Haut	plan de finage 1762
Auf die Eck	terres Wahlbach	plan de finage 1762
Ausser Haag	bois Knoeringue Sundgau	plan de finage 1762
Baumgarten, Sonnen Matten und beim langen Haag	terres Fislis Jura Alsacien	plan de finage 1762
...bei Schreibener Haag		plan de finage 1762
Bergheg	pâturage Aspach-leHaut	plan de finage 1762
Beim Haag Stein	pré Guebwiller	plan de finage 1762
Bierlen Haag	bois Carspach	plan de finage 1762
Biquis Haag	prés Morschwiller-le-Bas	plan de finage 1762
Bisseck	canton d'Illfurth	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Bisseck	canton de Luemswiller	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Bittemer Häg	pâturages Raedersheim	plan de finage 1762
Bittener Hag Feldlein	terres Raedersheim	plan de finage 1762
Blaise Haag	bois Ballersdorf	plan de finage 1762
Bleyel Haag	terres Werentzhouse	plan de finage 1762
Bollhag	canton de Largitzen	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Breiten Haag	bois Muespach-le-Haut	plan de finage 1762
Breiten Hecken	vigne Aspach	plan de finage 1762
Breiten und Mittel Haag	bois Bettlach	plan de finage 1762
Breiteneck près Masevaux - 1568 Breitteneckh	canton Sickert	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Breitt Haag	bois Hesingue	plan de finage 1762
Briefhag	canton Bettlach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII

(der) Bristen Haag Wald	bois Largitzen	plan de finage 1762
Bruchen hag	bois Traubach-le-Haut	plan de finage 1762
Bruchhag Feld	terre Bernwiller	plan de finage 1762
(der) brucken Hag	bois Seppois-le-Haut	plan de finage 1762
Bucheneck près Guebwiller - au sens de "Bois de hêtre ?	château Soulz	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Champanien Hag	broussailles Soppe-le-Haut	plan de finage 1762
...champs du grand Hagis	terres Labaroche	plan de finage 1762
Christen Heeg	bois Balschwiller	plan de finage 1762
Danneck	colline Walheim	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Das Larg Häglein	bois Bisel	plan de finage 1762
Das Lehe Heglein	bois Largitzen Sundgau	plan de finage 1762
Das Clausen Häglein	bois Bisel	plan de finage 1762
Das Hübsch Häglein	bois Bisel	plan de finage 1762
Dein Hag	bois Colmar	plan de finage 1762
der Hacke Matt	bois Oberbruck	plan de finage 1762
Der Eck franckenhart Gassen	vignes Flaxlanden	plan de finage 1762
Der Eich Hag acker	terre Bisel	plan de finage 1762
Der Gelden Weyer Haag	bois Buethwiller	plan de finage 1762
Der Graviller Hag	bois Bisel	plan de finage 1762
der Hag neben der Obschere	bois Traubach-le-Haut	plan de finage 1762
der Lange hag wald	bois Riespach	plan de finage 1762
der Loss Haag	bois Hagenthal-le-Bas	plan de finage 1762
der Mindlis Haag	terres Friesen	plan de finage 1762
der Morastig Haag	bois Manspach	plan de finage 1762
der kleine und grosse Winckel Hag	bois Seppois-le-Haut	plan de finage 1762
der Ritt Haag alment	pâturage Largitzen Sundgau	plan de finage 1762
der Rollhaag Wald	bois Largitzen	plan de finage 1762
der Verbottene Häg	bois Hegenheim	plan de finage 1762
der Scheur Haag	bois Saint-Ulrich	plan de finage 1762
Die greyenberg Haag	broussailles Soppe-le-Haut	plan de finage 1762

Die Hacken Matt Acker	terres Oberbruck	plan de finage 1762
die Hacken Matt Hurst	broussailles Oberbruck	plan de finage 1762
Die Hecken neben dem rother acker	bois Bouxwiller	plan de finage 1762
Die Herrschaffts Håg	bois Buethwiller	plan de finage 1762
Die hohen hirst hoeg	bois Soppe-le-Haut	plan de finage 1762
die missen Hag	broussailles Soppe-le-Haut	plan de finage 1762
die noden Hag	broussailles Soppe-le-Haut	plan de finage 1762
Diebenhag Sundgau - 1342 Dupenhag	Altkirch	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Dursthag	canton Schlierbach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Ebeneck	anc. Ferme Rimbach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Eck (Im) « Ecken (Cassini)	Commune de Sultzeren	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Eck (La)	Commune de Leymen	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Eck acker	terres Hirsingue-Heimersdorf- Ruederbach	plan de finage 1762
Eck Ezelg	terres Muespach-le-Haut	plan de finage 1762
Eck Feld	terres Wolschwiller	plan de finage 1762
Eck Håglen	bois Michelbach-le-Haut	plan de finage 1762
Eck runtz	prés Uffholtz	plan de finage 1762
Eck Schechten...	terres Mortzwiller	plan de finage 1762
Eck und Keyen acker	terres Munster et alentours	plan de finage 1762

Eckartsmühle « Bey der Eghartz Mülen, 1543 »	Commune de Volgelsheim	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Ecke « <hauss, hoff gelegen an Ecken...Vff der Eckh ode ram Rein, 1568 »	Commune de Niederbruck	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Eckenbach « Super Ekkenbach, 877 »	Commune de Saint Hypolythe et de Rorschwihr	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Eckenbach Matten	prés Rohrschwih	plan de finage 1762
Eckenbruch « Im Egkebruch, 1537 »	Canton du territoire de Nidermorschwiller	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Eckenspiehl « Im Eckkerspiel, 1616 »	Canton du territoire de Feldbach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Eckenthal « Eckhenthal, 1609 »	Canton du territoire de Magstatt-le-Bas	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Eckersberg « Eckersberg, 1456 »	Commune de Luttenbach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Eckersloch	Canton du territoire de Colmar	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Eckert	terres Oberentzen	plan de finage 1762
Eckespiel	Canton du territoire de Garspach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Eckhen Matt	Rantzwiler	plan de finage 1762
Eckmatt	Commune de Stosswihr	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Effen Eck und im Seivel	prés Dolleren	plan de finage 1762
Effeneck	forêt Dolleren	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Ehnen der Eck	vignes Morschwiller-le-bas	plan de finage 1762
Eich Haag	bois Folgensbourg	plan de finage 1762
Eichen weg Hag	bois Traubach-le-Haut	plan de finage 1762
Eigene Häg	bois Traubach-le-Haut	plan de finage 1762
Eigenheglen	bois Traubach-le-Haut	plan de finage 1762
Erbenseelenheck	Sainte-Croix en-Plaine	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
(Im) Esel Hag...	vignes Heidwiller	plan de finage 1762
Espen Haag	pâturage Aspach-leHaut	plan de finage 1762
Falckeneck vallée Masevaux"haie du faucon"	Sewen	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Feld hinder dem Hag	terres Niederlarg	plan de finage 1762
Feld hinter dem Shadortzen Haag	terres Neuwiller	plan de finage 1762
Feld zwischen dem Haag	terres Niederlarg	plan de finage 1762
Felseneck	montagne à Belgholtz	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Fesseneck	Munster	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Fohreneck	Dessenheim	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Fosshag	canton Ensisheim	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Frechtenhaag	bois Hesingue	plan de finage 1762

Fuchs Hag	terres Traubach-le-Haut	plan de finage 1762
Fuchshag Sundgau "haie du renard"	canton Burnhaupt-le-Bas	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Fuchshag Sundgau "haie du renard"	canton Eglingen	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Fuchshaag	bois Altenach	plan de finage 1762
Fur Hag Wald	bois Traubach-le-Haut	plan de finage 1762
frey Haag	bois Sternenber	plan de finage 1762
Galgenhag plaine près Mulhouse "haie du gibet"	Lutterbach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Gallenhag	canton Buschwiller	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Gas acker und bill Hag Feld	terres Soppe-le-Bas	plan de finage 1762
Gehrhag	Buschwiller	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Geiselhag Sundgau - actuellement Muespach	Niedermuespach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Geiss leiger haag	bois Bréchaumont	plan de finage 1762
Gessel Hag	bois Muespach-le-Bas	plan de finage 1762
Giegereck	Liebsdorf	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Gros muetter hag	bois Bréchaumont	plan de finage 1762
Gross Muetter Haag	bois Galfingue	plan de finage 1762
Grun Hag...	vigne Hagenthal-le-Haut	plan de finage 1762
Guetter häg	bois Reiningue	plan de finage 1762
Haag (forêt)	Haut-Rhin : commune de Mörnach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Haag Acker	terres Bruebach	plan de finage 1762
Haag am Buch Wald	bois Manspach	plan de finage 1762
Haag Buch	prés Wintzenheim	plan de finage 1762
Haag Länder	terres Bruebach	plan de finage 1762
Im Haag	pâturages Munster et al.	plan de finage 1762
(Im) Haag Acker und im Senn	terre Bartenheim	plan de finage 1762
Haag auf dem nideren weyer	bois Altenach	plan de finage 1762
Haag beim nideren wege	bois Altenach	plan de finage 1762
Haag Matt	prés Munster et al.	plan de finage 1762
Haag Matten	prés Pfastatt	plan de finage 1762
Haag neben dem Schür Acker	bois Saint-Ulrich	plan de finage 1762
Häckenfeld	terre Balschwiller	plan de finage 1762
Häckenfeld Säbelen Boden	terres Spechbach-le-Haut	plan de finage 1762
Haegen		
Haffnershaag	bois Altenach	plan de finage 1762
Hag	bois Wolfersdorf	plan de finage 1762

Hag, « <i>Zu Hag, so vor ein segen da gestanden... behausung unnd garten gelegen im Hag, 1567</i> »	Haut-Rhin : commune de Sewen et de Dolleren	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hag, « ein felld nennt man den Hag, 1550 »	Haut-Rhin : commune de Sultz	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hag, 1421	Haut-Rhin : Dannemarie	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hag für Statt Muhlhausen	bois Pfastatt	plan de finage 1762
Hag Matten	prés Ranspach-le-Haut	plan de finage 1762
Hagel	Haut-Rhin : Commune de Stosswihr	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hagel (vigne)	Haut-Rhin : Commune de Kientzheim et de Bennwihr	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
(Im) hagel	vergers Ribeauvillé	plan de finage 1762
(Im) hagel	vignes Ribeauville	plan de finage 1762
(Im) Hagel	vignes Kientzheim	plan de finage 1762
Hagel	vignes Wihr-au-Val	plan de finage 1762
Hagel Streng	vignes Mittelwihr	plan de finage 1762
Hagelbächle (ruisseau)	Haut-Rhin : Commune de Pfastatt et de Kingersheim	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hagelberg	Haut-Rhin : Commune d'Eguisheim	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hagen Ecker Thal	prés Wettolsheim	plan de finage 1762
Hagen Matt Wald	bois Rimbach-les-Masevaux	plan de finage 1762
hagen unter auhasenberg	bois Ballersdorf	plan de finage 1762
Hägelé (ancien château d'après la tradition locale)	Haut-Rhin : Canton du territoire de Schweighausen	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hagelgebenn	Haut-Rhin : Commune de Saint Hypolyte	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hegelmatt, « <i>Hagellmatten</i> »1550	Haut-Rhin : Commune de Geishausen	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hegmatt Berg	pâturage Timbach près Masevaux	plan de finage 1762

Hagenach (vigne à Riquewihr), ancien lieu habité : " Zu Hagenach, 1292" " In dem Banne ze Hagenoch, 1308" " Teil des zehenden des trothuses ze Hagnach, 1341"	Haut-Rhin : Riquewihr	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Haguenau	Haut-Rhin : Commune de Bergheim	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hagenbach « Jacobus miles, Heinricus et Hugo armigeri de Agenbach, fratres, 1313 » (STOFFEL ,M DCCC LXVIII) « Messire de Hagambac, 1469 » (STOFFEL ,M DCCC LXVIII) « Petrus de Hagenbach, 1475 » (STOFFEL ,M DCCC LXVIII) ⇒ Sens : lieu « impénétrable » (URBAN M.P, 2003)	Haut-Rhin : Commune de Dannemarie	STOFFEL ,M DCCC LXVIII URBAN M.P, 2003 BASQUOL <i>et al</i> , 1865
Hagenbuch	terres Riespach	plan de finage 1762
Hagenbuch	terres Riespach	plan de finage 1762
Hagenbach « Jacobus miles, Heinricus et Hugo armigeri de Agenbach, fratres, 1313 » (STOFFEL ,M DCCC LXVIII) « Messire de Hagambac, 1469 » (STOFFEL ,M DCCC LXVIII) « Petrus de Hagenbach, 1475 » (STOFFEL ,M DCCC LXVIII) ⇒ Sens : lieu « impénétrable » (URBAN M.P, 2003)	Haut-Rhin : Commune de Dannemarie	STOFFEL ,M DCCC LXVIII URBAN M.P, 2003 BASQUOL <i>et al</i> , 1865
Hagenbuch	terres Riespach	plan de finage 1762

Hagendorn « der bos bi dem hagendorn, 1421 » (STOFFEL ,M DCCC LXVIII) "hagendörnlin, 1437" (STOFFEL ,M DCCC LXVIII)	Haut-Rhin : Commune de Burnhaupt-le-bas, Liebentzwiller et Rammersmatt Commune de Spechbach le haut et de Zellenberg.	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hageneck (ancien château) « Dominus Hagineche, 1277 » (STOFFEL ,M DCCC LXVIII) « Dominus de Haginechi, 1298 » (STOFFEL ,M DCCC LXVIII) « Dom. De Haginecke, castrum Haginecke, 1300 » (STOFFEL ,M DCCC LXVIII) "Hegeneck, 1576" (STOFFEL ,M DCCC LXVIII)	Haut-Rhin : Commune de Wettolsheim	STOFFEL ,M DCCC LXVIII BASQUOL <i>et al</i> , 1865
Hagenstürmlin ou Hagelstörmlen	Haut-Rhin : Commune de Berentzwiller et de Jettingen	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hagenthal-Le-Bas « Conone de Agona valle, 1105 » (STOFFEL ,M DCCC LXVIII) « Cum ecclesia Hagenthal, 1195 » (STOFFEL ,M DCCC LXVIII) « Burchardus de Hagindal, 1246 » (STOFFEL ,M DCCC LXVIII) ⇒ Sens : « vallée impénétrable » (URBAN M.P, 2003)	Haut-Rhin : Commune de Huningue	STOFFEL ,M DCCC LXVIII BASQUOL <i>et al</i> , 1865 URBAN M.P, 2003
Hagenthal-le-Haut « Plebanus superioris hagenthal, 1334 » (STOFFEL ,M DCCC LXVIII) ⇒ Sens : « vallée impénétrable » (URBAN M.P, 2003)	Haut-Rhin : Commune de Huningue	STOFFEL ,M DCCC LXVIII BASQUOL <i>et al</i> , 1865 URBAN M.P, 2003
Häger « Im Heger, 1701 » (STOFFEL ,M DCCC LXVIII)	Haut-Rhin : Commune de Habsheim	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hägerackerle	Haut-Rhin : Commune de Francken	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hagermatt, 1550	Haut-Rhin : Commune de Moosch	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hagerspach (ruisseau)	Haut-Rhin : Commune de Felleringen	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hagi	terres Orbey	plan de finage 1762

Hagis (Le)	Haut-Rhin : Canton du territoire de Labaroche	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hägling	Haut-Rhin : Canton du territoire de Soppe-le-Bas	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hagmühle	Haut-Rhin : Commune de Günspach p ou b ?	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hagmühle « Zwissien der Hagmülen und der stegmülen, 1453 » (STOFFEL ,M DCCC LXVIII)	Haut-Rhin : Commune de Soultzmatt	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hagsbach (ruisseau)	Haut-Rhin : Commune de Soultz	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Haguel	mélange Hunawehr	plan de finage 1762
Hagenau	vignes Mittelwehr	plan de finage 1762
Haguenon	Haut-Rhin : Canton des territoires de la Collonge et de Pfaffans	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hagy	Haut-Rhin : Canton du territoire d'Oberlarg	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hägwald	bois Reiningue	plan de finage 1762
Haie (La) (ruisseau)	Haut-Rhin : Commune de Belmagny	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Halb hurst und fuchs haag	bois Ensisheim	plan de finage 1762
Haneck	château Soultzbach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Heck, Holtenstein Heck	taillis Masevaux	plan de finage 1762

Hecken « Datum apud Haegon , 1235 » (STOFFEL ,M DCCC LXVIII) « Jn der Hecken, 1661 » (STOFFEL ,M DCCC LXVIII) “La Heque, 1702” (STOFFEL ,M DCCC LXVIII) ⇒ Sens: “haie” (URBAN M.P, 2003)	Haut-Rhin : Commune de Dannemarie	STOFFEL ,M DCCC LXVIII BASQUOL <i>et al</i> , 1865 URBAN M.P, 2003
Hecken	Haut-Rhin : Commune de Hirtzbach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Heckenfeld	Haut-Rhin : Commune de Spechbach-le-Haut	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Heckenmühle	Haut-Rhin : Commune de Hecken	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Heckruntz	Haut-Rhin : Commune de Uffholtz	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hederberg	Haut-Rhin : Canton du territoire de Mittelmuespach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hégenheim « hegenheim, 1230 » (URBAN M.P, 2003) ⇒ Sens : « le lieu impénétrable » (URBAN M.P, 2003)		URBAN M.P, 2003
Hehlen Hack	terres Waldighoffen	plan de finage 1762
Heig Matt	prés Merxheim	plan de finage 1762
Heit mit Hecken	broussailles Kingersheim	
Helgenhäg	canton Dirlinsdorf Siundgau ? Durlinsdorf ? Dirlinsdorf n'existe pas	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hellhaag	canton Waldighoffen	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Herren Haag	bois Bettlach	plan de finage 1762
Hesseneck	canton Wentzwiller	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hexenhaag	canton Illzach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Higele Hag	bois Seppois-le-Bas	plan de finage 1762
Hinder Haag feld	terres Sternenber	plan de finage 1762
Hinderen Haag	prés St-Ulrich	plan de finage 1762
Hinderen Haag	bois Saint-Ulrich	plan de finage 1762
Hinders Haag Mülh	prés Soultzmatt	plan de finage 1762

Hoffhaag	bois Retzwiller	plan de finage 1762
Hohenack	château Labaroche vallée de Kaysersberg - actuel Hohnack	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hoheneck	Soultzeren actuel Hohneck - au sens de forêt ?	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Holtzeck	Heywiller	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Hübsch Häglein	terres Ropentzwiller	plan de finage 1762
Husabeneck	canton Wittersdorf	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Im Ehrlen Haag au sens de forêt ?	bois Altenach	plan de finage 1762
in Eckweg	vignes Rixheim	plan de finage 1762
Inder Eck	vignes Morschwiller-le-bas	plan de finage 1762
Itenhag	Tagolsheim	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Kagenmatt und Haag	bois Sentheim	plan de finage 1762
Kaibenhag	canton Feldbach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Kaibenhag	canton Köstlach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Kaibhag	canton Bettersdorf	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Kaibhag	canton Strueth	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Kaibhag	canton Willer (Altkirch)	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Kaibhag	canton Wolschwiller	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Kaibhägle	canton Mörnach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Kaibhägle	canton Uberstrass	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Kaibhägle	canton Wolfersdorf	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Käshag	ile du Rhin, Geiswasser	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Keiben Haag Rith bis ans Dorff	terres Feldbach	plan de finage 1762
Kehlehägle	Henflingen	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Kelleren Haag...	prés Lutterbach	plan de finage 1762
Key loch Haag	pâturages Wolschwiller	plan de finage 1762
(Im) Kilbertshag	canton Luemschwiller	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
(Im) Kilbertshag	canton Willer (Altkirch)	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Kirchenhag	bois Traubach-le-Haut	plan de finage 1762
klein Hag	bois Wolfersdorf	plan de finage 1762
Klein Häglein seravnt de pâturage	broussailles Reiningue	plan de finage 1762
Klingenhag	Hegenheim	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Kochshag Gegen Kochshaag 1616	Köstlach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Kohl haag	bois Elbach	plan de finage 1762
Kohl Haag	bois Friesen	plan de finage 1762
Kohlhag	bois Brüningshoffen	plan de finage 1762
Kraffts Haag	broussailles Magstatt-le-Haut	plan de finage 1762

Kreyeneck	Orschwihr	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Krüp Haag	terres Ropentzwiler	plan de finage 1762
La montagne de hayes	bois le Bonhomme	plan de finage 1762
la roche du grand Hagis	pâturage Labaroche	plan de finage 1762
Lang Haag	terre Bartenheim	plan de finage 1762
Lang haag	terres Brinckheim	plan de finage 1762
Lang Häglein	prés Willer près d'Altkirch	plan de finage 1762
Lange Egerten	Schlierbach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Im langenhag	bois Pfetterhouse	plan de finage 1762
langen Hag	terres Pfetterhouse	plan de finage 1762
Langen Haag Matten	pré Leymen	plan de finage 1762
Langhag ou Langenhag	Bernwiller	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Langhag ou Langenhag	Dornach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Langhag ou Langenhag	Habsheim	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Langhag ou Langenhag	Heidwiller	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Langhag ou Langenhag Vff den Langenhag 1553	Illzach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Lanhagel	montagne Hohroth	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Laubeck	forêt et château Wasserbourg	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Les champs devant le château et à la haye	terres Labaroche	plan de finage 1762
le hagis au Windersbach	bois Labaroche	plan de finage 1762
Le Hagis de la Coinatte	bois Orbey	plan de finage 1762
Les Hagis de Geiss Hoff	bois Orbey	plan de finage 1762
le hagis du miquelé	bois Labaroche	plan de finage 1762
Liebenseck	canton Burnhaupt-le-Bas	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Liesbah häglen	bois Blotzheim	plan de finage 1762
Lindenhag	Soppe-le-Bas	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Lindenhaag feld	terres Soppe-le-Haut	plan de finage 1762
Litzel Haag oben ander Morsch matt	bois Elbach	plan de finage 1762
Looshag	Hagenthal-le-Bas	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Luigenhag	bois Ranspach-le-Haut	plan de finage 1762
Lüssshag ou Lisshag	canton Steinbrunn-le-haut	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Maltzhag	Spechbach-le-Haut	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Meltzerhag	Durmenach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Metzgerhag	Manspach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Meyers Eck	bois Muespach-le-Haut	plan de finage 1762
Mitel Häg	terres Brünighoffen	plan de finage 1762
Mittleren Haag feld	terres Eschingen	plan de finage 1762
Mörderhaag "la haie du meurtrier"	canton Ruederbach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII

Morschter haag	bois Elbach	plan de finage 1762
Moss Heg	broussailles Magstatt-le-Haut	plan de finage 1762
Müllen Hag	bois Hagenbach	plan de finage 1762
Murhag	Hitzbach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Muscheck	Hitzbach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Musery häg	bois Bréchaumont	plan de finage 1762
"Neben den Hagen" 1488 Urbaire de Marbach	terres Osenbach	plan de finage 1762
Nider Eck	bois vall. St Amarin	plan de finage 1762
Nidere Hag	bois Ranspach-le-Haut	plan de finage 1762
Nidere Eck	terres Ranspach-le-Haut	plan de finage 1762
Niderdorff Haag	pâturages Buhl	plan de finage 1762
Niedereck	pâturage Willer (Thann)	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Niemandshägle "la petite haie qui n'appartient à personne"	canton Waldighoffen	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Notari Haag	bois Ballersdorf	plan de finage 1762
Oben Eck	bois Rimbach	plan de finage 1762
Oben Eck	pâturage Rimbach	plan de finage 1762
Obere Eck	terres Ranspach-le-Haut	plan de finage 1762
Obere Lange Haag	terres Kembs	plan de finage 1762
Obill Hag Feld	terres Soppe-le-Bas	plan de finage 1762
Oder Eck	prés Munster et al.	plan de finage 1762
Osperhag ou Osparhag	Werentzhausen	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Pfaffenhaag neben den Paffenhaag 1616	canton Feldbach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Pfaffenhaag	pâturages Riespach	plan de finage 1762
Pfaffenhaag	bois Feldbach	plan de finage 1762
Pfeder Effeneck	pâturage Dolleren	plan de finage 1762
Pfetter Huser Hag Weyer	étang Ueberstrass	plan de finage 1762
pré de la haye	pré Labaroche vallée Kayersberg	plan de finage 1762
Rainhag	Sternenberg	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Rappeneck	Kembs	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Rehe Haag	bois Hochstatt	plan de finage 1762
Rehe Haag	terres Hochstatt	plan de finage 1762
Rehhag zu Reehhag 1548	canton Hindlingen	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Rehhag	canton Burnhaupt-le-Haut	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Rehhag	canton Hochstatt	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Riffenhag	Traubach-le-Bas	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Riffenhäg	bois Traubach-le-Bas	plan de finage 1762

Risshaag	bois Balschwiller	plan de finage 1762
Ritthaag	Fröningen	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Ritti Ecken	terres Sierentz	plan de finage 1762
Rohrhag	Folgensbourg	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Rossgarten Haag	bois Balschwiller	plan de finage 1762
Rubenhagel	canton Kaisersberg	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Shämels Haag	bois Altenach	plan de finage 1762
Shäferhäglen	Traubach-le-Bas	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Schindershäglen	bois Traubach-le-Bas	plan de finage 1762
Schorhag	Buetwiller	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Schrehag	Pfetterhausen	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Schwartzenhag "haie noire"	Neuwiller	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Schwein Haag	terres Geiswasser	plan de finage 1762
Sehl Heglen	bois Traubach-le-Haut	plan de finage 1762
Spatzenhag "haie des moineaux"	Falckwiller	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Scheyenhaag	bois Koestlach	plan de finage 1762
Sosi häg	bois Bréchaumont	plan de finage 1762
Spengler Häg	bois Morschwiller-le-Bas	plan de finage 1762
Sperhag	Hagenthal-le-Haut	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Spiegel Haag	Bois Aspach-le-Bas	plan de finage 1762
Spiegel Haagmatt	prés Aspach-le-Bas	plan de finage 1762
Stahlhag	forêt à Dirlinsdorf	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Steifel Haag	bois Carspach	plan de finage 1762
Superseck	Bourbach le Haut	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Stein Hag	terres Ranspach-le-Haut	plan de finage 1762
Strueth Haag	bois Franken	plan de finage 1762
Tammerhag Vff der Tamerhage 1421	Buetwiller	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Thannhag	Roppentzwiller	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
... ud Willer Hag Acker	terres Hagenthal-le-Bas	plan de finage 1762
Uelihag	canton Carspach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Uffhagen ou Huffenhagen	Altenach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Under Schützen Eck	terre Aspach-le-Bas	plan de finage 1762
Urben Haag	bois Altenach	plan de finage 1762
Veteranseck	canton Heimsbrunn	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Wahlhag	Aspach-le-Bas	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Waldeck castrum Waldecke 1149	château Leymen	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Weid Häg Matten	prés Staffelfelden	plan de finage 1762
Wespenhägle	Hagenbach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Wiesten Heglen	bois Traubach-le-Haut	plan de finage 1762

Wilhag An der Wildthag 1568	Sentheim	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Willer Hag	bois Ranspach-le-Haut	plan de finage 1762
Willer Haag	bois Muespach-le-Haut	plan de finage 1762
Wineck château	Katzenthal	Carmona-Trendel
Witthumhag ou Widum-Haag	Bettlach	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Wolfenhag	Heidwiller	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
(im) Wolff Hag	terres Soultz	plan de finage 1762
Wolff Hag Riethhage	terres Michelbach-le-Haut	plan de finage 1762
Wolffhaag	pâturage Spechbach-le-Bas	plan de finage 1762
Wolffhaag Wald	bois Schweighouse	plan de finage 1762
Wolffshaag	vignes Soultzmatt	plan de finage 1762
Wolfhag	Blotzheim	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Wolfhag Wolfhag 1394	Guebwiller	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Wolfhag	Knöringen	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Wolfhag	Lutter	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Wolfhag jn Wolfhag 1535	Michelbach-le-Haut	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Wolfhag	Schweighouse	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Wolfhag	Soultz	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Wolfhag jn dem Wolffhage 1453	Soultzmatt	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Zenner häglen	bois Retzwiller	plan de finage 1762
Zennerhag	Retzwiller	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Zennhag	Ballersdorf	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Ziegel Acker Haag	bois Manspach	plan de finage 1762
Ziehlhag	Burnhaupt-le-Haut	STOFFEL ,M DCCC LXVIII
Bas-Rhin (67)		

Eckartswiller ⇒ Sens : « Lieu sauvage, hostile, impénétrable » URBAN M.P., 2010		
Eckartswiller ⇒ Sens : « Lieu sauvage, hostile, impénétrable » URBAN M.P., 2010	Bas-Rhin	URBAN M.P., 2003 URBAN M.P., 2010
Eckbolsheim ⇒ Sens : « Lieu sauvage, hostile, impénétrable » URBAN M.P., 2010	Bas-Rhin	URBAN M.P., 2003 URBAN M.P., 2010
Eckendorf/Voy. Alteckendorf ⇒ Sens : « zone infranchissable » (URBAN M.P., 2010)	Bas-Rhin	BASQUOL <i>et al</i> , 1865 URBAN M.P., 2010
Eckirch/ Voy. Echery.	Bas-Rhin	BASQUOL <i>et al</i> , 1865
Eckwersheim ⇒ Sens : « Lieu sauvage, hostile, impénétrable » URBAN M.P., 2010	Bas-Rhin	URBAN M.P., 2010
Freudeneck château	Wangenbourg (67)	Carmona-Trendel
Geroldseck château	Haegen (67)	Carmona-Trendel
Haegen « Heconheim, 742 » (URBAN M.P, 2003) « Hegenheim, IXème s." (URBAN M.P, 2003) « Hegenheim , 18ème siècle » (BASQUOL <i>et al</i> , 1865) ⇒ Sens : les « défents/défents » (URBAN M.P, 2003)	Bas-Rhin : Canton de Marmoutier	BASQUOL <i>et al</i> , 1865 URBAN M.P, 2003
Hagelschloss	Bas-Rhin : Mont Sainte Odile	BASQUOL <i>et al</i> , 1865
Hagelsthal	Bas-Rhin : Windstein	BASQUOL <i>et al</i> , 1865

Haguenau « Hagenowe, 1153 » (URBAN M.P, 2003) ⇒ Sens : « L'île impénétrable » (URBAN M.P, 2003)	Bas-Rhin	BASQUOL <i>et al</i> , 1865
Hegeney « Aginoni villa, 786 » (URBAN M.P, 2003) « Heckenheim, 1158 » (URBAN M.P, 2003) ⇒ Sens : « l'habitat près du défends » (URBAN M.P, 2003)	Bas-Rhin	URBAN M.P, 2003
Hengwiller	Bas-Rhin	URBAN M.P, 2003
Nideck château	Oberhaslach (67)	Carmona-Trendel
Schoeneck château	Dambach-Neunhoffen (67)	Carmona-Trendel
Waldeck château	Eguelshardt (67)	Carmona-Trendel
Wineck château	Dambach-Neunhoffen (67)	Carmona-Trendel

Annexe 13 : Fiches des fosses de références : HABSREF et ZOO

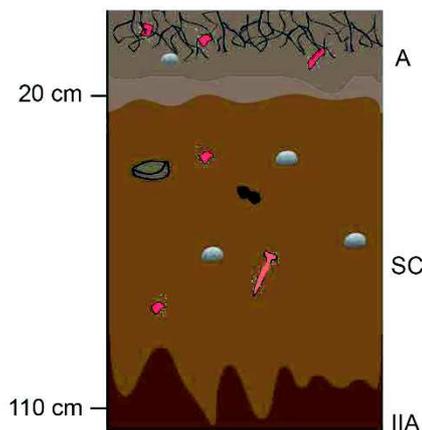
Annexe Y : Fiche HABSREF



HABSREF : Référence sous prairie

Localisation : Habsheim (68440)
Lat./Long. : 47°43'20" N 7°24'41"E
Altitude : 250 m
Date d'ouverture de la fosse : 2 avril 2015
Date de prélèvement : 2 avril 2015
Participants : , Dominique Schwartz, Ludivine Chomik
 Lucie Froehlicher
Occupation du sol : Prairie

Schéma & Description de la fosse



0 – 20 cm ; A ; 10YR 5/4 ; relativement organique ; racines fines, moyennement abondantes ; une grosse racine (3 cm de diamètre) ; limono-argileux ; humide ; nombreux E.G. : galets, en général de diamètre < 2 cm, briques, fragments de grès du substratum ; transition irrégulière, progressive, d'origine bioturbation avec :

20 – 110 cm ; SC ; 10 YR 4/6 ; limono-argileux ; quelques racines fines jusque vers 85 cm ; bonne macroporosité (nombreuses galeries verticales de vers anéciques) ; nombreux E.G. dispersés et répartis assez uniformément sur toute l'épaisseur : galets (jusqu'à 10 cm pour les plus gros), briques, charbon, roche, clou, tessons vernissés, os ; transition nette, lobée (bioturbation) avec :

IIA : horizon de surface d'un paléosol riche en E.G. anthropiques. Couleur plus sombre.

- ♦ Briques
- ✂ Racines
- 🔪 Clous
- Charbons
- 🪨 Galets
- 🧱 Blocs de substratum (grès)
- 🍷 Tessons
- 🦴 Os

Prélèvements réalisés (prof. en cm)

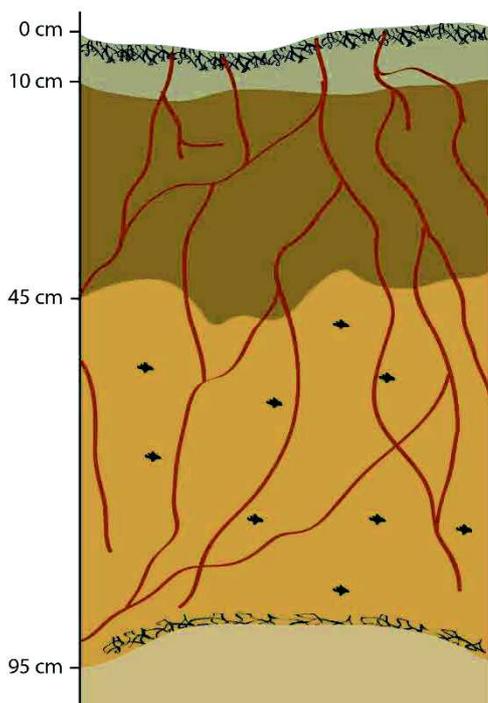
1° Analyses courantes :	3° Mesure TMR 14C sur MOS	5° OSL
0-20	115	/
30-40		
60-70,	4° Densité apparente	6° Lames Minces
90-100	(tous les 10 cm ; 2 à 3 cylindres par palier)	/
	0-5	
2° Colonnes NIRS (2) :	10-15	
0-5 (101/201)	...	
10-15 (102/202)	110-115	
...		
110-115 (112/212)		



ZOO : Référence sous forêt

Localisation : Mulhouse (68000)
Lat./Long. : 47°43'52.55"N 7°21'20.14"E
Altitude : 288 m
Date d'ouverture de la fosse : 15 juillet 2015
Date de prélèvement : 15 juillet 2015
Participants : Dominique Schwartz ; Cécile Vittori et Lucie Froehlicher
Occupation du sol : Forêt en place depuis 500 ans

Schéma & Description de la fosse



A (0 à 4/10 cm) : très sec ; 10YR6/3 ; transition nette mais très irrégulière ; structure grumeleuse ; nombreuses traces de vers de terre ; quelques racines fines ; transition avec E nette mais irrégulière :

E (4/10 à 35-45 cm) : Limoneux ; sec ; 10YR6/6 ; Sur-structure polyédrique anguleuse avec structure particulaire ; nombreuses taches de manganèse, circulaire, diamètre fin ; nombreuses galeries de vers anéciques ; nombreuses racines fines et moyennes (maximum 1 cm de diamètre) ; petites taches rouilles et blanchies significatives d'une hydromorphie temporaire ; pas d'éléments grossiers ; pas d'effervescence ; transition progressive sur 10 cm avec BT :

BT (35-45 à 95 cm) : Frais ; limono-argileux ; 10YR4/4 ; Pas d'éléments grossiers ; polyédrique anguleux, mais aspect massif ; racines peu abondantes (< 0,5 cm) ; nombreuses taches de manganèse ; nombreuses galeries de vers anéciques ; petit enrichissement en racines juste au dessus du contact du loess ; pas d'effervescence ; transition nette subhorizontales avec C :

C (>95 cm) : Loess ; frais ; 2.5Y7/4 ; pulvérulent ; effervescent ; limoneux ; rares racines.
 Fond de fosse : 1 m

Prélèvements réalisés (prof. en cm)

1° Analyses courantes :
 0-5 (A) / 15-25 (E) / 45-55 (BT)
 / 75-85 (BT) / 95-100 (C)

2° Colonnes NIRS (2) :
 0-5
 10-15
 ...
 80-85

3° Mesure TMR 14C sur MOS
 /

4° Densité apparente
 (tous les 10 cm; 2 à 3 cylindres par palier)
 0-5
 10-15
 ...
 80-85

5° OSL
 /

6° Lames Minces
 15-25 ; 45-55 ; 75-85

Résumé

A partir d'une approche pluridisciplinaire (géo-historique, cartographique et pédologique), cette étude nous a permis d'établir un bilan complet sur l'état (origines, formes et évolutions) des systèmes de haies en Alsace depuis le Moyen Age. L'étude pédologique de toposéquences de sols dans des zones de lœss très sensibles à l'érosion (Habsheim, Uffheim) a également permis de procéder à un bilan de l'érosion depuis le Néolithique et montré comment le stockage de colluvions à l'amont de haies modifiait le relief par la formation de rideaux de culture, dont les plus anciens remontent à la fin de l'Age du bronze. Nous avons quantifié le potentiel des systèmes de haies en tant que frein à l'érosion et en tant que puits de carbone, dans l'optique d'une lutte contre le réchauffement climatique (initiative 4‰). En termes de potentiel de stockage de colluvions, le site d'Habsheim révèle une capacité de stockage énorme avec par exemple des stockages de 17,8 t/m linéaire de haie. D'autre part, à partir de nos sites de référence, on a pu démontrer aussi la grande activité érosive de ces espaces et cela depuis la préhistoire : entre 5700 et 2700 BP le taux d'érosion moyen mesuré a été de 4,5 t/ha/an, équivalant à celui de l'agriculture intensive dans les mêmes zones, ce qui relativise en partie le rôle de l'agriculture moderne. Le potentiel réel des colluvions lœssiques est plus nuancé en termes de stockage de carbone. De nombreux processus comme la minéralisation du carbone et la faible efficacité du complexe argilo-humique rendent les interprétations délicates sans pour autant que le potentiel des sols agricoles limoneux comme puit de carbone doit être écarté.

Mots-clés : Haies, rideaux de cultures, colluvions, carbone organique, stockage, OSL, systèmes agraires, paysages, colluvionnement, coulées d'eau boueuses.

Abstract

This study is a pluridisciplinary approach combining geohistory, spatial study and soil science that proposes an exhaustive analysis of origins, shapes and evolution of hedges systems in Alsace since Middle Ages. An erosion budget since Neolithic was obtained from the study of soil topographical sequences in an erosion sensitive loess area (Habsheim, Uffheim, 68, France). The colluvium stored in the upperside of the hedge modifies the topography by creating lynchets (the oldest were from the Bronze Age). We quantified the potential of hedges systems to reduce erosion and to store carbon in order to struggle against climate change (4‰ project). In Habsheim the storage of carbon potential is huge with some stocks reaching 17,8 t per meter of linear hedge. Moreover, based on the reference sites, we demonstrated the great erosion processes that has occurred in these landscapes since Prehistory: between 5700 and 2700 BP the average erosion rate measured (4,5 t/ha/yr) is equivalent to the present day rates under intensive agriculture. The potential of loess colluvium, from the stock of carbon point of view, is more questionable. Interpretations are more difficult because of processes like mineralization of carbon and low efficiency of argilo-humic complex but so far the storage function of loamy soils cannot be neglected.

Key words : Hedges, Lynchets, Colluvium, Organic Carbon, Storage, OSL, agrosystems, landscapes, erosion.