

Réalisation d'une étude de la biodiversité floristique de murs de pierre sèche dans le cadre d'un programme transfrontalier Européen

**Rapport de stage
Master 2 BEE Gestion et
conservation de la
biodiversité
Année universitaire 2018 - 2019**

Adèle HALLEGUEN

Sous la direction de :
Juan LLORET, Chargé de mission programme INTERREG pierre sèche
Patrick JEANNOT, Responsable de la mission
Aménagement durable du territoire

*Stage réalisé de 1er Avril 2019 au 20 septembre 2019
Parc naturel régional de Lorraine*



Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier M. Christian GUIRLINGER, Président du Parc naturel régional de Lorraine et Mme. Nathalie D'ACUNTO, Directrice du Parc de m'avoir permis de réaliser ces six mois de stage.

Je remercie vivement mon Maître de stage M. Juan LLORET, chargé de mission programme INTERREG pierre sèche, ainsi que M. Patrick JEANNOT, responsable de la mission « aménagement durable du territoire », de m'avoir accueillie, encadrée et pour m'avoir confiée cette mission en me faisant pleinement confiance.

Je remercie tout particulièrement M. Olivier NOURRIGEON, chargé de mission forêt et sensibilisation au patrimoine naturel au sein de la mission « préservation et valorisation des espaces naturels », pour ses précieux conseils, sa disponibilité, et pour avoir anticipé mes besoins matériels avant même que je ne le sollicite. Merci également à Mme. Claire MALARY, chargée de mission préservation et gestion des réseaux écologiques de m'avoir débroussaillé les chemins à travers le serveur du Parc pour me permettre d'accéder aux précieuses informations cartographiques.

Pour les connaissances qu'ils m'ont apportées, pour le temps qu'ils m'ont accordé, et pour l'accueil aux Jardins Botaniques, je tiens fortement à remercier M. Thierry MAHEVAS, botaniste aux Jardins botaniques du Grand Nancy ainsi que M. Denis CARTIER, bryologue, botaniste-phytosociologue au Conservatoire botanique de Lorraine-Nancy.

Je remercie grandement l'ensemble de l'équipe du Parc pour son chaleureux accueil et sa bonne humeur communicative au quotidien !

Merci à Camille ROUYER, stagiaire au sein de la mission Natura 2000, pour nos trop rares sessions communes de terrain et pour m'avoir fait partager sa gaieté Lorraine !

Enfin, merci à Cathie O'NEIL, Directrice de l'association des Artisans Bâisseurs en Pierres Sèches, d'être venue me chercher à la gare de Besançon pour rejoindre Bucey-Lès-Gy !

Sommaire

Chapitre 1 : Présentation du territoire et éléments de contexte du stage	1
1.1 - Introduction à la pierre sèche en Lorraine	1
1.2 - Présentation de la structure et contexte du stage	2
1.3 - Cadre d'étude.....	5
1.3.1 Enjeux de la pierre sèche vis-à-vis de la trame thermophile.....	5
1.3.2 Enjeux des murs de pierre sèche pour des espèces patrimoniales.....	6
1.4 - Éléments historiques.....	7
Chapitre 2 : Effets de la dynamique de fermeture des milieux sur la biodiversité des murs de pierre sèche	9
2.1 - Protocole d'étude	9
2.1.1 Etat des connaissances au sein du Parc	9
2.1.2 Choix des murs.....	9
2.1.3 Méthodologie d'inventaire.....	13
2.1.4 Analyse des données	15
2.2 - Résultats et interprétations	16
2.2.1 Caractérisation phytosociologique des milieux environnants aux murs	16
2.2.2 Végétations présentes sur les murs.....	18
2.3 - Discussion et conclusions	24
2.3.1 Restauration des murs de pierre sèche	25
2.3.2 Trame thermophile	26
Chapitre 3 : Vers une gestion des murs favorable à la biodiversité	27
3.1 - Cas de l'orpin rougeâtre	27
3.2 - La gestion du lierre <i>Hedera helix</i>	28
3.3 - Conclusion	30
Bibliographie.....	i
Bibliographie scientifique.....	i
Autres documents bibliographiques	iii
Ouvrages de détermination	iv
Annexes.....	I

Liste des acronymes

ACP : Analyse en composantes principales

ABPS : Artisans Bâisseurs en Pierre Sèche

AFC : Analyse factorielle des correspondances

BOMBINA : Base de données de l'Observatoire Mutualisé de la Biodiversité et de la Nature

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

CATMINAT : Catalogue des milieux naturels

EUNIS : European Nature Information System

IGN : Institut national de l'information géographique et forestière

MPS : Mur de Pierre Sèche

PLU : Plan Local d'Urbanisme

Pnr : Parc naturel régional

PnrL : Parc naturel régional de Lorraine

SRCE : Schéma Régional de Cohérence Ecologique

TVB : Trame Verte et Bleue

ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique

Glossaire

Chaméphytes : plantes qui possèdent des bourgeons susceptibles de résister au gel durant l'hiver dont la hauteur au-dessus du sol ne dépasse pas 50 cm (Classification de RAUNKIAER)

Espèce poïkilotherme : espèce présentant une température centrale variable en fonction de la température du milieu où elle se trouve. (*Définition Universalis*)

Hémicryptophytes : plantes bisannuelles ou vivaces dont les bourgeons hivernaux se situent au ras du sol (Classification de RAUNKIAER)

Phanérophytes : « plantes visibles » en toutes saisons, dont les bourgeons sont situés à plus de 50 cm au dessus du sol (Classification de RAUNKIAER)

Thérophytes : « plantes annuelles » passant la mauvaise saison sous la forme de graines (Classification de RAUNKIAER)

Chapitre 1 : Présentation du territoire et éléments de contexte du stage

1.1 - Introduction à la pierre sèche en Lorraine

Inscrits depuis le 28 novembre 2018 au patrimoine mondial de l'UNESCO, le savoir-faire et la technique de la pierre sèche constituent une tradition et un art façonnant les paysages agropastoraux à travers le Monde et à travers les âges.

La technique dite de « pierre sèche » consiste à édifier des bâtis sans aucun liant de mortier entre des pierres de différents calibres assemblées entre elles (documents techniques ABPS). Apparue successivement dans plusieurs régions du Monde, en Chine notamment pour l'édification de terrasses il y a 10 000 ans ; depuis des milliers d'années en Afrique et en Europe (Senthivel et Lourenço 2009 ; Tarolli, Preti, et Romano 2014 ; Manenti, 2014), cette technique – bien qu'aillant ses spécificités propres à chaque région - s'est perpétuée de part les nombreux avantages qu'elle présente (peu d'outils nécessaires, matériau facilement disponible, lutte contre l'érosion, esthétique, etc...). Ainsi, comme en témoignent de nombreux ouvrages tels que la colossale cité inca du Machu Picchu au Pérou (XV^{ème} siècle), les édifications de pierre sèche constituent – lorsqu'elles sont correctement conçues – des structures remarquablement solides et durables.

Sur le territoire français, l'étendue des constructions de pierre sèche est immense, qu'il s'agisse de murs de soutènement pour les cultures en terrasses dans les zones montagneuses ou de coteaux, de cabanes, ou d'édifices de séparation. Il est estimé à titre d'exemple qu'environ 14 % des murs bordant l'ancien réseau routier national sont en pierre sèche (documents techniques ABPS).

Des Hautes Vosges au Plateau Lorrain, la lorraine est traversée par une diversité de paysages résultant de facteurs géologiques, climatiques et humains, ainsi les cultures de vigne en terrasses ont, pendant plusieurs décennies, fait partie intégrante des ces paysages. Ces cultures ayant été délaissées à partir de la fin du XIX^{ème} siècle, le territoire lorrain s'est enfriché et une grande partie des constructions de pierre sèche sont aujourd'hui sous le couvert forestier (Rin et Husson, 2010). Patrimoine délaissé, et souvent considéré comme obsolète voire peu sur (Villemus 2003), la technique de la pierre sèche révèle cependant - face à des enjeux du développement durable - ses intérêts vis-à-vis de la lutte contre l'érosion, de contrôle hydraulique et d'habitat pour la faune et la flore. Véhiculant de fortes valeurs paysagères et culturelles, les constructions de pierre sèche bénéficient ces dernières années d'un regain d'intérêt car elles constituent un enjeu économique précieux sur le plan de l'artisanat local, de l'agriculture et du tourisme. C'est dans ce contexte que le Parc naturel régional de Lorraine a la vocation, depuis 2016, de valoriser ce patrimoine.

1.2 - Présentation de la structure et contexte du stage

Créés dans le but de protéger et mettre en valeur de grands espaces ruraux habités, les parcs naturels régionaux sont aujourd'hui au nombre de 54 sur le territoire français, représentant ainsi 15 % du territoire. L'action des parcs ne constitue pas une restriction réglementaire mais s'attache à créer une dynamique de développement, de protection, d'éducation et de valorisation d'un territoire, favorisant ainsi directement les comportements écologiques des résidents (Cazalis et Prévot, 2019).

Au sein de la région Grand-Est, six parcs naturels régionaux sont présents : le Pnr des Vosges du Nord, le Pnr des Ballons des Vosges, le Pnr de la Forêt d'Orient, le Pnr de la Montagne de Reims, le Pnr des Ardennes et le Pnr de Lorraine. Situé au cœur de l'ancienne région Lorraine, à cheval entre les départements de la Meuse, la Meurthe-et-Moselle et la Moselle, le Parc naturel régional de Lorraine est l'un des premiers Pnr de France, créé le 17 mai 1974 par arrêté ministériel.

Initialement, la Charte constitutive soulignait des objectifs de préservation du patrimoine naturel de la région qui subissait d'importantes pressions (industrialisation, urbanisation, croissance démographique...). Jusqu'en 1981 l'orientation des actions est alors très protectrice et permet d'améliorer la connaissance et la cohérence du territoire. Les actions se diversifient par la suite et, à partir de 2003, l'association qui menait jusqu'alors l'animation du parc devient Syndicat Mixte, passant d'un statut privé à public, les enjeux se multiplient alors au sein du périmètre du Parc.

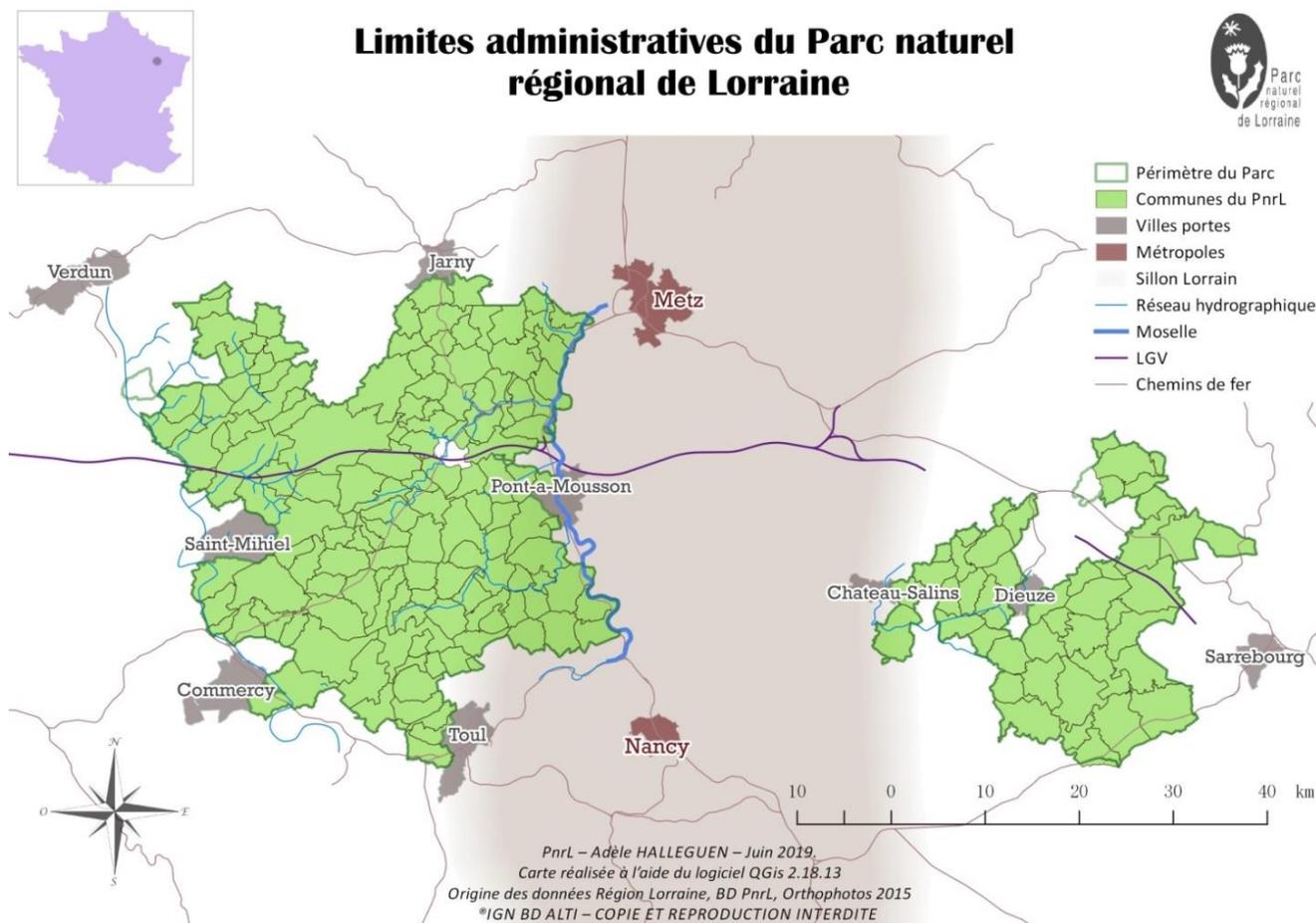


Figure 1 : Situation et limites administratives du Parc naturel régional de Lorraine

L'emprise du parc recouvre une superficie d'environ 210 000 hectares comprenant 182 communes en 2019 et environ 78 000 habitants. Le périmètre concerné possède la particularité d'être scindé en deux zones distinctes séparées de 25 km par le Sillon Lorrain, axe de métropolisation entre Metz et Nancy.

Le territoire du Parc reste peu artificialisé avec 96 % de la surface en espaces naturels et agricoles. Le PnrL comprend 152 Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique (ZNIEFF), 16 sites Natura 2000, deux zones humides bénéficiant d'une convention Ramsar (l'« étang de la petite Woèvre » et l'« étang de Lindre, forêt du Romersberg et zones voisines ») ainsi qu'une Réserve Naturelle Régionale sur le site des étangs de Lachaussée.

VOCATION 1 : UN TERRITOIRE QUI PRESERVE ET VALORISE SES ESPACES, SES RESSOURCES NATURELLES ET SES DIVERSITES

VOCATION 2 : UN TERRITOIRE QUI PARTICIPE A L'ATTRACTIVITE DE LA LORRAINE

VOCATION 3 : UN TERRITOIRE QUI CONSTRUIT SON AVENIR AVEC SES BASSINS DE VIE ET SES POPULATIONS

Un territoire étant labellisé « Parc naturel régional » par l'Etat pour une durée de 15 ans, la Région doit – avant la fin de ce délai – engager une procédure de révision de la Charte dans un objectif de renouvellement du classement du Parc. En effet la Charte du Parc constitue le document officiel portant le projet sur ces 15 années. Ainsi la Charte 2015-2030 du PnrL est construite autour de trois vocations se déclinant en dix orientations stratégiques elles même détaillées en objectifs opérationnels.

Pour répondre aux objectifs de la charte 2015-2030, l'intervention du parc s'inscrit dans un programme annuel établi par comité syndical et proposé chaque année aux financeurs. Au sein de la maison du parc située au cœur de la commune de Pont-à-Mousson

dans le logis abbatial de l'Abbaye des Prémontrés, une équipe de 39 personnes - en plus de la présidence, la direction et le service des ressources humaine - travaille à la mise en œuvre de ce programme annuel. Cette équipe est répartie en 7 services que sont :

- La Mission préservation et valorisation des espaces naturels
- La Mission aménagement durable du territoire
- La Mission attractivité du territoire et coopération
- Le Service éducation au territoire
- Le Service ingénierie culturelle et transfrontalière
- Le Service communication et valorisation du territoire
- La Mission administrative et financière

Afin de s'ancrer dans une dynamique interrégionale, le Parc coopère avec des partenaires luxembourgeois, belges et allemands au sein de projets soutenus par le programme européen Interreg V A Grande Région 2014-2020. C'est dans ce cadre que le projet « Pierre sèche dans la Grande région » est mené par le PnrL en collaboration avec 6 partenaires européens (associations, parcs et organismes publics) pour la « protection, restauration et valorisation d'un patrimoine à haute valeur naturelle et paysagère ».

Les opérateurs du projet Pierre Sèche France

- Association « Artisans Bâisseurs en Pierres Sèches »

Belgique

- Parc naturel des deux Ourthes (Chef de fil du projet)
- Parc naturel Haute Sûre Forêt d'Anlier
- Institut du Patrimoine Wallon

Luxembourg

- Naturpark Mëllerdall
- Fondation Hëllef fir d'Natur

Les objectifs du projet sont en effet d'avoir à la fois une meilleure connaissance du patrimoine de pierre sèche sur le territoire de la grande région mais également d'en favoriser la perception et le développement afin de créer une dynamique durable autour d'un patrimoine culturel, historique, artisanal. Initialement le projet s'étendait sur la période 2016-2020 avec un budget de 3.47 millions d'euros (taux FEDER de 51.8 %) et est en cours de demande de prolongation jusqu'à la fin de l'année 2021. Depuis 2016, plusieurs actions sont menées sur l'ensemble du territoire du PnrL, notamment des actions d'inventaires, de restaurations de murs, de sensibilisation, de formation et de transferts de compétences. Les murs de pierre sèche (MPS) étant - au-delà de leur aspect paysager - considérés comme un habitat favorable pour la faune et la flore, l'une des vocations du projet est de développer les connaissances de la biodiversité s'installant dans les murs afin d'en tenir compte dans les prises de décision concernant la création, la restauration et la gestion de ce patrimoine bâti.

Dans ce contexte, un premier stagiaire¹ a réalisé de mars à aout 2018 et au sein de la *Mission aménagement durable du territoire* du parc, un travail de diagnostic écologique de murs de pierre sèche situés dans la zone Ouest du Parc naturel régional de Lorraine. Le travail réalisé durant cette période de 6 mois a permis d'avoir une vision globale des espèces animales et végétales pouvant utiliser les murs de soutènement en pierre sèche comme habitat. Ce stage a également permis d'aboutir à des propositions de mesures de gestion afin de pérenniser les ouvrages tout en préservant la biodiversité qui s'y est établie.

C'est dans la continuité de ce premier travail d'inventaire qu'est réalisé ce second stage de 6 mois avec la volonté d'approfondir les connaissances concernant l'évolution des communautés végétales vis-à-vis des murs de pierre sèche. La problématique proposée dans le cadre de ce stage a pour visée d'évaluer la composition des plantes vasculaires colonisant les murs de pierre sèche mais aussi, si possible, de définir des groupes fonctionnels au sein des communautés bryophytiques et de définir des stratégies de gestion de cette biodiversité face aux enjeux de valorisation des murs.

¹ Emir Kort, Master 2 Espace & Milieux, Spécialités « Ecologie Biogéosciences » et « Géographie et Sciences des Territoires » Université Paris Diderot – Paris 7

1.3 - Cadre d'étude

La volonté au démarrage de l'étude avait pour objet de caractériser les stades successifs de colonisation des murs par les bryophytes et par l'ensemble de la flore, dans des milieux homogènes. Cependant, cette problématique s'inscrit dans un contexte à multiples objectifs pour le Parc. En effet, l'étude ne peut être réalisée qu'en prenant en compte les conditions paysagères auxquelles les murs sont soumis et ne peut être considérée ici comme l'étude d'un processus autogène de succession présentant divers stades dans des milieux analogues. La biodiversité affiliée aux MPS constitue effectivement l'expression, à l'échelle d'un micro-habitat, de la dynamique de populations locales elles-mêmes déterminées par le pool régional d'espèces soumis aux facteurs abiotiques et anthropiques du territoire (Manenti, 2014). Ainsi, l'étude a pour intention d'apporter des éléments de connaissance pour la conservation de la biodiversité végétale évoluant et colonisant les murs au gré des conditions environnementales, tout en prenant en compte un certain nombre d'enjeux liés à la protection des murs de pierre sèche.

1.3.1 Enjeux de la pierre sèche vis-à-vis de la trame thermophile

La Trame Verte et Bleue (TVB)

La TVB a pour objectif d'enrayer le déclin de la biodiversité dont les principaux facteurs sont la fragmentation et la destruction des habitats, l'étalement urbain, le développement des infrastructures de transport et l'intensification des pratiques agricoles (Liénard et Clergeau, 2011). En identifiant, en préservant et en gérant un réseau écologique d'éléments éco-paysagers permettant d'assurer des connexions (corridors écologiques) nécessaires au déplacement des espèces au sein de leur écosystème (SRCE Lorraine, vol 2), la TVB constitue un outil de planification territoriale permettant d'avoir une vision globale des enjeux en matière de conservation des habitats naturels et des espèces.

Suite aux lois Grenelle I (loi n° 2009-967 du 3 août 2009) et II (loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010) portant les objectifs législatifs en matière de protection de l'environnement et notamment en matière d'élaboration de ces Trames vertes et bleues au niveau régional et local, les réflexions sont menées conjointement par l'Etat, la Région et le Comité régional TVB pour élaborer le Schéma Régional de Cohérence Ecologique (Charte du Parc). Le SRCE, est un document cadre comportant un diagnostic à la fois théorique et technique des enjeux relatifs à la préservation et à la remise en bon état des continuités écologiques sur le territoire régional et comprend ainsi un plan stratégique d'actions, un atlas cartographique ainsi qu'un dispositif de suivi des résultats.

Au sein du PnrL, la réflexion concernant l'établissement d'un réseau écologique cohérent a débuté dès 2003 avec la volonté de « conserver ou restaurer si nécessaire les fonctions écologiques entre les milieux (maillage de haies, de prés...) » (Fiche expérience PnrL). Aussi, la Charte actuelle du Parc a inclus les objectifs de « préservation, gestion et amélioration » de la Trame verte et bleue à toutes les échelles territoriales. Ainsi, la TVB du Parc se décline à plusieurs échelles, en sous-trames correspondant à de grandes catégories de milieux établies suivant leurs caractéristiques naturelles et leur gestion. La TVB se compose ainsi de cinq sous-trames que sont les sous-trames forestière, aquatique et humide (y compris halophile), prairiale, thermophile et agricole.

La Trame thermophile a été définie en région Lorraine du fait de l'importance des espaces de pelouses, prairies et boisements thermophiles, secs et particulièrement riches en espèces, liés à des caractéristiques particulières de pente, d'exposition et de nature géologique de certains milieux (Lagarde, 2010).

L'intérêt de la pierre sèche vis-à-vis de l'accueil pour les espèces thermophiles est rapporté au sein de nombreux documents et guides élaborés par des organismes, professionnels et associations environnementales. De par ses nombreuses anfractuosités et ses caractéristiques de captation et maintien de la chaleur (Cornu, 2011), la pierre sèche peut ainsi représenter une véritable zone refuge pour de nombreuses espèces.

Au même titre que les haies bocagères - véritables réservoirs pour la biodiversité - structurent les paysages agricoles depuis des centaines d'années en formant un maillage entourant cultures et prairies, les murs de pierre sèche définissent l'histoire socioculturelle de nombreux paysages agro-pastoraux en Europe (Collier, 2013). Il est alors possible d'envisager qu'ils jouent un rôle de connecteurs entre milieux notamment pour les espèces poïkilothermes et thermophiles (insectes, araignées, gastéropodes, reptiles ou oiseaux), se révélant ainsi être des éléments cruciaux de la trame thermophile.

1.3.2 Enjeux des murs de pierre sèche pour des espèces patrimoniales

Les enjeux liés aux MPS concernent également certaines espèces floristiques pour lesquelles la préservation est primordiale. Les murs peuvent être un habitat pour des espèces menacées telles que *Geranium sanguineum* et *Sedum rubens*, bénéficiant de statuts de protection au niveau régional et recensées sur des murs lors de l'étude réalisée en 2018 (Emir Kort). La présence du *Sedum rubens* n'est effectivement connue que sur une seule station en Lorraine - un linéaire en pierre sèche situé dans les Côtes de Moselle – sa dispersion étant probablement liée l'évolution des milieux agropastoraux en Lorraine (fermeture des milieux, anthropisation).

1.4 - Éléments historiques

L'étude des murs de pierre sèche témoigne de l'évolution historique de la région, qu'elle soit à la fois géologique, agricole, culturelle et politique. Bien qu'il n'existe que peu d'études retraçant l'âge et l'historique des MPS, à l'exception des murs datant de l'antiquité (Collier 2013), il semblerait que leurs fonctions originelles aient pu varier dans le temps.

Le territoire du Parc se caractérise par une succession de plaines argileuse bordées par des coteaux calcaires (ou *cuestas*). L'aménagement de ces coteaux en terrasses (avec des pierres traditionnellement issues de l'épierrement des champs ou de proche extraction) traduit la longue évolution d'une dynamique complexe de succession entre vignes et vergers (Rin et Husson, 2010).

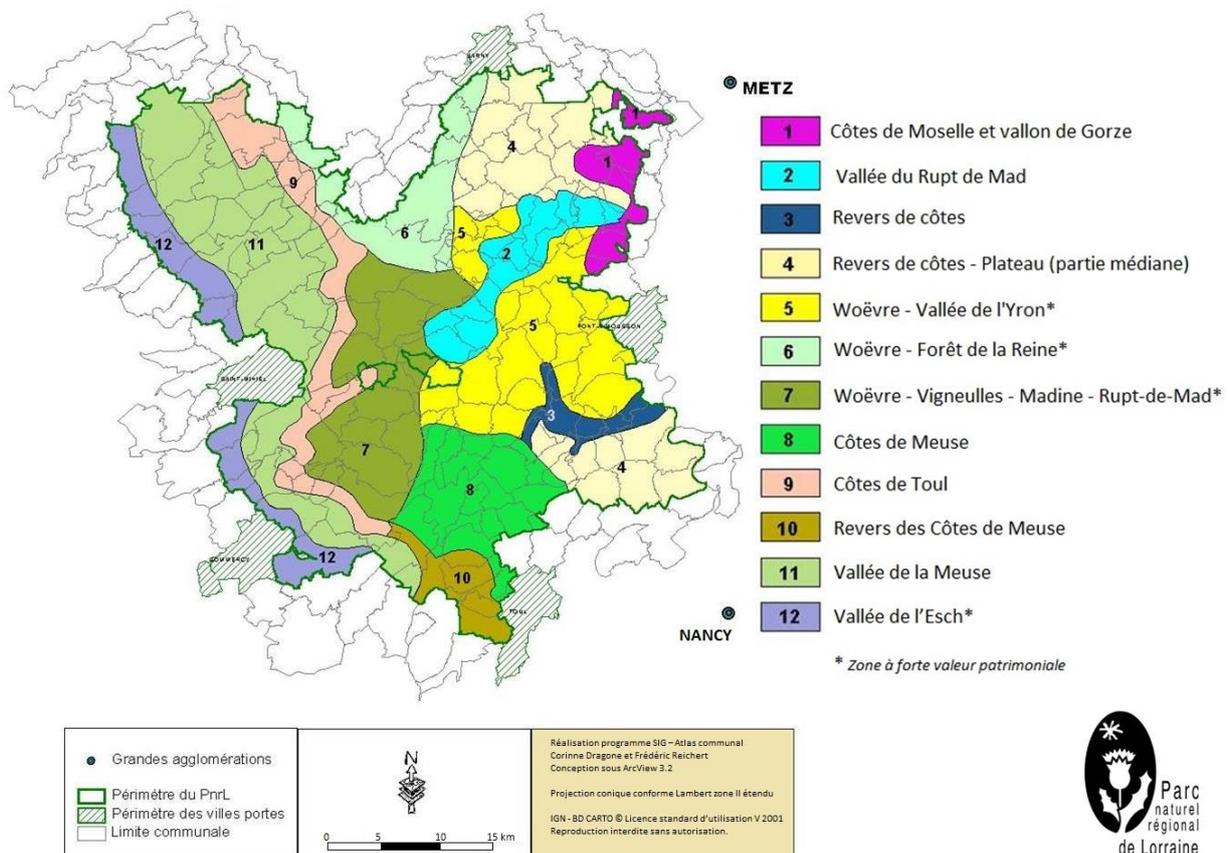
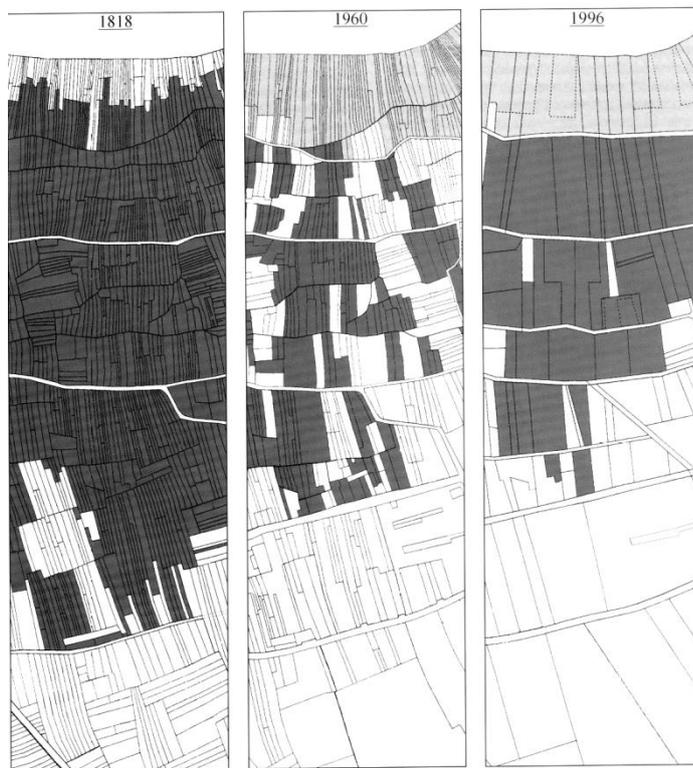


Figure 2 : Secteurs paysagers de la Zone Ouest du Parc naturel régional de Lorraine

En Lorraine, le climat est transitoire entre les climats océanique et continental. Sur le Plateau Lorrain, les précipitations possèdent une amplitude importante variant de 700 mm à 900 mm par an sur les côtes marquées. Les fluctuations annuelles sont également fortes avec des périodes de sécheresse et des orages importants et fréquents en été. Les températures pour la région de plaine correspondent quant à elle à un climat tempéré avec une moyenne annuelle de 10° C (Muller, 2006).

Le relief du « Val de Metz » a longtemps été propice à la culture de la vigne, notamment dans le versant oriental des côtes de Moselle (Daum, 1932). Le développement des vignobles aurait débuté à l'époque romaine, et, s'étendant progressivement au cours des siècles, évoluant au gré des guerres dévastant périodiquement les cultures, il aurait connu son apogée au 19ème siècle. A partir des années 1870, les effets de la Guerre franco-prussienne ont une nouvelle fois été dévastateurs sur les vignobles. Puis en 1887, l'apparition du phylloxéra (*Daktulosphaira vitifoliae*) a contraint à la destruction de la majorité des cultures avec une interdiction de toute replantation durant 10 ans. Ainsi les vignes ont été délaissées durant plusieurs années, et sans entretien apporté aux murettes de soutènement des terrasses, la végétation a recolonisé les cultures engendrant une fermeture du couvert végétal. Une partie du vignoble a cependant été réaménagée par la suite, mais les soins apportés restent médiocres et en 1925, la fermeture de la frontière avec l'Allemagne sonne comme une fin pour le vignoble messin (Daum, 1932). Afin de remplacer les vignes, la fraise a tout d'abord été cultivée puis globalement et encore aujourd'hui, les vergers – de mirabelliers notamment – ont largement été développés sur les coteaux.

De la même manière, le paysage des Côtes de Toul témoigne des évolutions du vignoble et les cartes d'état-major permettent d'avoir une idée de l'étendue de la surface occupée par les vignobles au 19ème siècle. D'après Mathy en 1998, les communes de Bruley et Lucey peuvent être classées comme de « grandes » communes viticoles, et les sols y étant très caillouteux, de nombreuses terres auraient été épierrées afin de faciliter leur culture. Cependant, les cultures des côtes de Toul ont également été victimes de la crise viticole avec, comme dans les côtes de Moselle, un délaissement des cultures.



Malgré une reconversion de certaines parcelles en vergers, le contexte de déprise agricole en région lorraine a entraîné un enrichissement et une avancée des accrues forestières sur une part importante du territoire comme l'illustre la *figure 3* ci-contre.

■ VIGNES
■ FUTAIE

Figure 3 : Parcelleire et occupation du sol sur le front de Côte de la commune de Bruley en 1818, 1960 et 1996 – Arnaud Mathy 1998

360 m

Chapitre 2 : Effets de la dynamique de fermeture des milieux sur la biodiversité des murs de pierre sèche

2.1 - Protocole d'étude

2.1.1 Etat des connaissances au sein du Parc

Suite au lancement du programme INTERREG en 2016, le PnrL a effectué des appels à projet auprès des communes du Parc pour identifier des sites potentiels de travaux de restauration de murs, permettant ainsi le recensement de plusieurs linéaires de pierre sèche. Les actions de plusieurs associations* œuvrant à la mise en valeur du patrimoine naturel, environnemental et historique du territoire ont également permis de recenser des bâtis de pierre sèche.

Une méthodologie a alors été élaborée par le Parc afin de réaliser des inventaires de MPS et autres ouvrages de pierre sèche (pierres vignottes, murgets, etc). L'objectif de la démarche étant de structurer une base de données de géo-référencement des murs sur le territoire du Parc. Plusieurs caractéristiques sont alors prises en compte lors des inventaires (Annexe II), notamment en termes d'occupation du sol, de structure et typologie générale de l'ouvrage, de recouvrement par la végétation, d'état de conservation du mur et des intérêts éventuels pour une restauration. Ces données acquises par le Parc permettant d'avoir une première vision globale des secteurs abritant un patrimoine de pierre sèche, il a été décidé – pour des raisons de praticité en termes de distance géographique – de restreindre le périmètre de l'étude floristique à la zone ouest du PnrL.

2.1.2 Choix des murs

Préalablement aux prospections sur le terrain, des territoires susceptibles d'être d'anciennes cultures de vignes en terrasses ont été repérés en se référant aux éléments bibliographiques récoltés, à des photographies aériennes et aux cartes d'état-major (disponibles sur le portail l'IGN permettant d'avoir une idée de l'évolution de l'occupation des sols entre 1870 et aujourd'hui). L'un des objectifs attendus de l'étude consistait également à établir une sélection de murs présentant des enjeux intéressants vis-à-vis de la trame thermophile. L'exposition des murs a donc constitué un critère important à prendre en compte dans le choix des murs, ainsi les repérages par cartographie des secteurs favorables ont été focalisés sur les coteaux exposés Sud, Sud-Est car cette orientation définit les zones thermophiles (Lagarde, 2010). Cependant, ce critère ne constitue pas une règle générale déterminant la répartition des espèces ; de même concernant les bryophytes, d'après des discussions personnelles avec Denis Cartier² et Thierry Mahévas³, si la quantité de lumière influence les communautés bryophytiques, l'orientation en revanche n'est pas un critère déterminant.

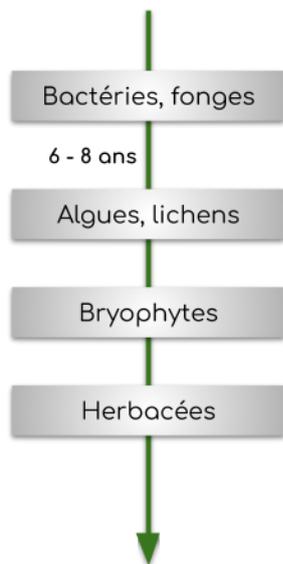
* *Les Sonneurs de la Côte* est une association dont les actions ont pour objectif l'amélioration de la qualité de vie et de l'environnement des habitants de Pagny-sur-Moselle.

Mémoire et Patrimoine est une association œuvrant pour la mise en valeur du patrimoine naturel et historique de la commune de Novéant-sur-Moselle

Torcol est une association de protection de la nature située à Ancy Dornot.

² Bryologue, botaniste-phytosociologue au Conservatoire botanique de Lorraine-Nancy

³ Botaniste, Jardins botaniques du Grand Nancy



Sur le terrain, plusieurs murs de soutènement ont été recensés soulevant des questionnements face à la problématique initiale. En effet, l'objectif présenté au départ était de *caractériser les stades successifs de colonisation des murs par les bryophytes et par l'ensemble de la flore, dans des milieux homogènes*. Les murs sont comparables à des habitats rocheux (Segal, 1969 ; Láníková & Lososová 2009), la colonisation en absence de perturbation s'effectue dans un premier temps par l'implantation de bactéries et de la fonge (champignons) puis après quelques années, algues et lichens apparaissent formant une croûte. Les bryophytes s'implantent ensuite, les colonies muscinales permettant de maintenir l'humidité formant un substrat favorable à l'implantation d'une flore herbacée (Hebrard 1970, Lisci et al. 2002).

Figure 4 : Stades successifs de colonisation du milieu saxicole en milieu non perturbé

Or, ne disposant pas de suffisamment d'éléments historiques, d'outils d'analyse et de temps, l'âge des murs (mis à part ceux recensés très récemment) est impossible à établir. De la même manière, il n'est donc pas possible d'évaluer depuis combien de temps les communautés végétales sont en place et comment elles ont évolué ; ces différents stades de colonisation ne sont donc pas observables sur les MPS du Parc. En revanche, la façon dont les milieux environnants aux murs ont évolué et ont été gérés est visible dans ce contexte de déprise agricole. Le choix des murs a donc été réalisé de manière à refléter la succession végétale suivant l'abandon des cultures. Ce choix a ainsi été effectué dans des contextes de lisière forestière, en fonction de l'état de la dynamique des milieux environnants.

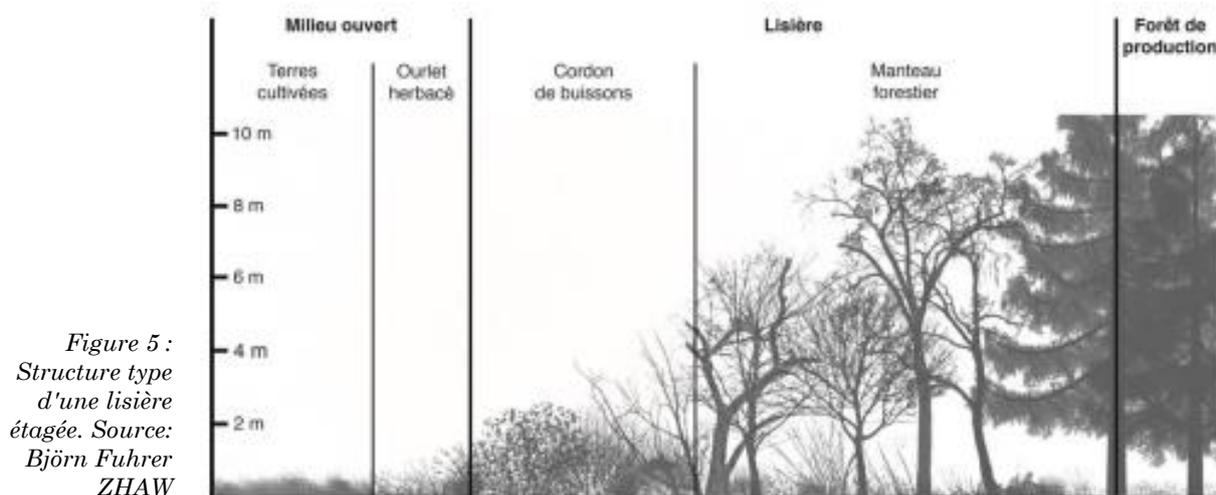


Figure 5 : Structure type d'une lisière étagée. Source: Björn Fuhrer ZHAW

Une sélection de 12 murs a été effectuée de manière à avoir des ouvrages relativement semblables du point de vue de leur typologie (linéaire supérieur à 3 mètres, hauteur comprise entre 80 et 200 cm, inclinaison ou « fruit » inférieur à 30 degrés, etc). Les murs se situent à des altitudes comprises entre 195 et 266 mètres et sont répartis dans 7 communes (respectivement du Nord au Sud : Gorze, Novéant-sur-Moselle, Onville, Pagny-sur-Moselle, Rembercourt-sur-Mad, Martincourt et Lucey) Figure 6.

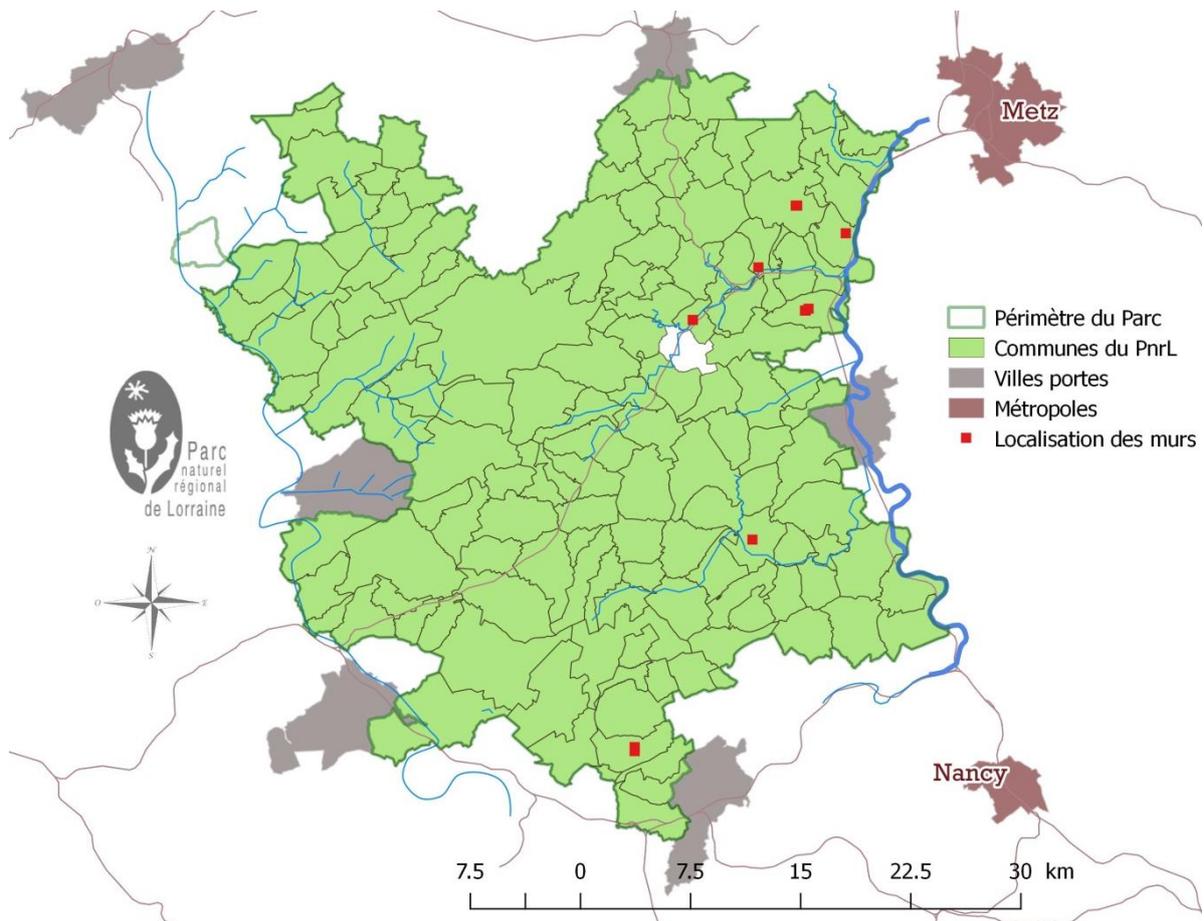


Figure 6 : Localisation des murs étudiés, zone ouest du Parc naturel régional de Lorraine - Carte réalisée à l'aide du logiciel QGis 2.18.13, origine des données Région Lorraine, BD PnrL, Orthophotos 2015, IGN BD ALTI

Le choix s'est fait en associant les murs à quatre stades successifs d'évolution de la lisière forestière :

En **stade 1** les murs sont situés dans l'ourlet herbacé de la lisière forestière (Figure 5). Ils sont associés à une gestion visant à préserver la fonctionnalité du mur (fauche du milieu régulière au moins une fois par an et jusqu'au pied du mur, pâturage ovin, débroussaillage du mur) et sont parfois associés à une bordure de chemin ; le milieu est ouvert.

Sont associés à ce stade un mur situé à Lucey, un mur situé à Rembercourt-sur-Mad et un mur situé à Pagny ⁴.



Figure 7 : Mur situé à Rembercourt et associé à un stade 1

⁴ Voir références des murs en Annexe I

En **stade 2** les murs sont situés entre l'ourlet herbacé et l'ourlet buissonnant de la lisière forestière (*Figure 5*), une gestion est encore pratiquée pour préserver la fonctionnalité du mur (fauche régulière jusqu'au pied du mur) ; la dynamique tend vers une fermeture du milieu.

Deux murs situés à Pagny ainsi qu'un mur situé à Gorze sont associés à ce stade.

Figure 8 : Mur situé à Pagny et associé à un stade 2



Figure 9 : Mur situé à Martincourt et associé à un stade 3



En **stade 3** les murs sont situés dans l'ourlet arbustif de la lisière forestière (*Figure 5*). Un entretien du milieu peut encore être effectué dans le but d'exploiter le petit bois en bois de chauffage, mais plus aucun entretien n'est apporté au mur. La dynamique de fermeture du milieu est avancée.

Un mur situé dans la commune de Gorze, un mur situé à Onville et un mur situé à Martincourt sont associés à ce stade.

En **stade 4** les murs ne sont plus entretenus depuis plusieurs années, ils sont situés au sein de la forêt parmi les jeunes arbres. La gestion du milieu est une gestion forestière

A ce stade ont été associés deux murs situés à Novéant-sur-Moselle ainsi qu'un mur situé à Lucey.

Figure 10 : Mur situé à Novéant et associé à un stade 4

2.1.3 Méthodologie d'inventaire

La première session d'inventaires floristiques a été effectuée à la fin du mois de mai et une seconde session a également été effectuée avant la mi-juillet afin de compléter l'inventaire et s'assurer d'avoir un relevé suffisamment représentatif. La réalisation des inventaires a comporté trois phases :

- une phase de description de l'ouvrage
- une phase de caractérisation du milieu environnant l'ouvrage
- enfin, une phase d'étude de la végétation du mur

Description de l'ouvrage

La phase de description du mur est réalisée à l'aide de la fiche de terrain élaborée par le PnrL pour l'inventaire des ouvrages de pierre sèche. Celle-ci a été légèrement modifiée afin de récolter des informations plus précises (Annexe III). Il s'agit notamment d'identifier l'ouvrage selon une typologie définie par le parc et composée de la manière suivante : L U C M P S 2 0 1 9 0 5 0 6 A H 1 2

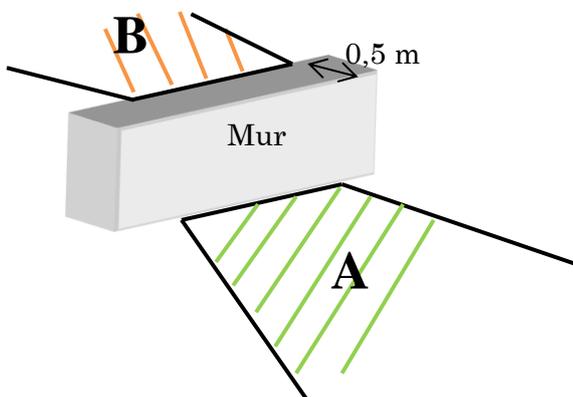
- Les 3 premières lettres de la commune dans laquelle se situe le mur
- L'acronyme du type de mur, dans le cas présent « MPS » pour les murs en pierre sèche
- La date au format AAAAMMJJ à laquelle le mur est identifié
- Les initiales du releveur
- Enfin, un numéro de relevé propre au mur

Les coordonnées GPS précises de l'ouvrage sont relevées sous le système géographique WGS84. De même, des informations concernant le contexte environnemental (exposition, altitude...) et la typologie du mur sont notées.

Pour une lecture plus facile, la suite du document fait référence aux identifiants simplifiés des murs (voir ANNEXE I).

Caractérisation du milieu environnant l'ouvrage

Cette seconde phase a pour objectif de caractériser l'environnement connexe du mur afin de comprendre de quelle manière les conditions environnementales influencent la colonisation du mur. L'étude de la végétation se base sur une approche de type phytosociologique *sigmatiste* élaborée par Braun-Blanquet (1932). La phytosociologie sigmatiste consiste en une étude des groupements végétaux dont la composition floristique particulière est visible de part une physionomie et une écologie qui lui sont propres à l'échelle de la phytocénose. Cette science se base ainsi sur un système hiérarchisé définissant des individus d'association représentés par des surfaces homogènes de végétation (Delassus, 2015).



Les relevés phytosociologiques sont réalisés dans le périmètre direct du mur selon deux surfaces : l'une pour caractériser l'environnement attendant au bas du mur (A), la seconde pour caractériser l'environnement attendant au haut du mur (B). Au sein de chacune de ces surfaces un ou plusieurs relevés sont réalisés suivant le nombre d'ensembles homogènes de végétation s'y trouvant.

Figure 11 : Schéma de délimitation des zones pour la réalisation des relevés botaniques

Une fois ces différentes unités de végétation homogène visuellement identifiées, les aires minimales (surfaces suffisamment grandes pour contenir toutes les espèces constituant l'individu d'association) des relevés sont définies, elles sont généralement de l'ordre de 1 à 10m² pour les pelouses, 16 à 25m² pour les prairies, 50 à 100 m² pour les fourrés et 300 à 800 m² pour les forêts. Dans un souci de temps de réalisation, pour le cas des pelouses et des prairies, les relevés ne s'étendent pas après 10 mètres perpendiculairement au mur même si de nouvelles unités de végétation sont observées au-delà de cette limite.

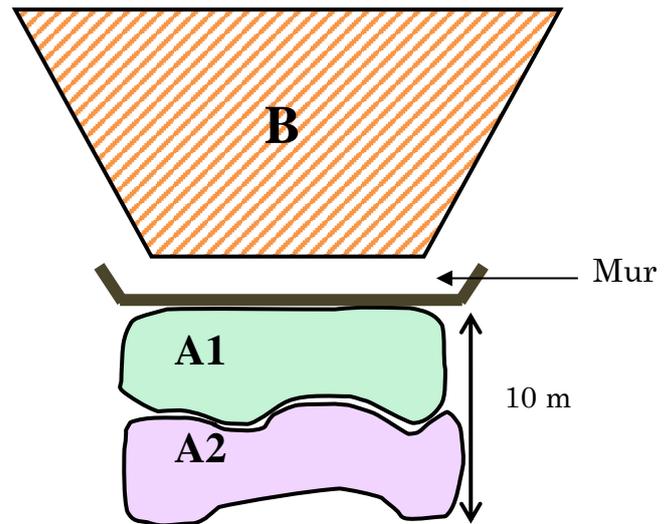


Figure 12 : Schéma de délimitation des relevés pour la réalisation des relevés phytosociologiques

Les relevés sont localisés sur une photographie aérienne ou sur un schéma si l'échelle des photographies aériennes ne permet pas une visualisation suffisamment fine. Au sein de chaque relevé les pourcentages de recouvrement (total puis par strate) sont notés, de même que les hauteurs. Puis la liste des espèces est établie, enfin, un coefficient d'abondance-dominance selon la méthode de Braun-Blanquet est attribué à chaque espèce.

Étude de la végétation du mur

Les relevés de végétation sur le mur sont réalisés sur la face verticale d'une part et sur le haut du mur d'autre part. Concernant le haut du mur, la ligne de démarcation entre la végétation murale et la végétation du sol est souvent peu nette c'est pourquoi la végétation du mur est considérée à partir de l'arrête et sur 50 centimètres.

La surface du mur relevée doit être continue et suffisamment grande pour être représentative de la végétation qui s'y est établie. Les parties écroulées et les extrémités des murs ne sont pas comprises dans cette surface car la distinction entre la végétation murale et la végétation de l'environnement devient floue, de plus elle est susceptible de s'être installée et/ou modifiée dans une temporalité différente. Dans l'idéal, une surface d'une longueur de 2 mètres semble être un minimum pour apprécier la végétation murale.

Sur la face verticale, l'appréciation de l'observateur détermine la nécessité de distinguer la végétation haute, la végétation basse et la végétation intermédiaire lorsqu'un gradient d'humidité le long de la paroi verticale du mur est visible. Cependant si la végétation est considérée comme étant relativement homogène sur toute sa surface verticale, il n'est pas nécessaire de subdiviser la surface d'échantillonnage.

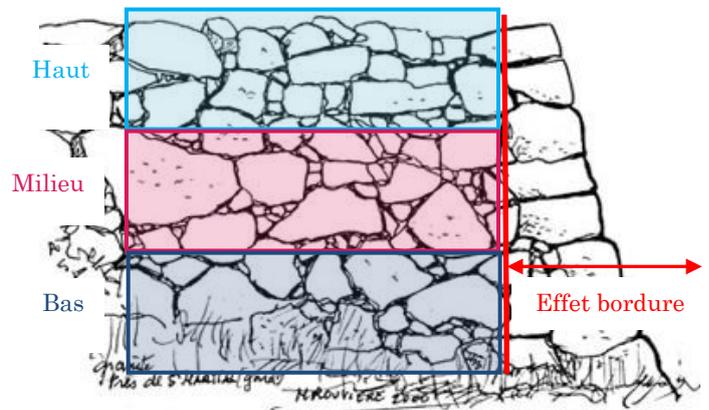


Figure 13 : Délimitation des surfaces à relever sur le mur dans le cas d'un gradient d'humidité visible

Une attention particulière est portée à la présence de terre, d'humus, dans les interstices des pierres car les espèces s'y trouvant sont susceptibles d'être différentes, ces conditions écologiques étant particulières.

Une fois la ou les zones à relever délimitées (il est alors possible de disposer des fils tendus à l'aide de piquets pour avoir une meilleure visibilité de ces surfaces) les surfaces de végétation floristiquement et écologiquement homogènes sont à nouveau observées. Pour la bryologie les relevés phytosociologiques se basent sur ce même principe d'observation des surfaces homogènes de végétation en termes de structure et de composition spécifique seule l'échelle d'observation diffère, ainsi l'aire minimale peut représenter une dizaine à 50 centimètres carrés.

Une nouvelle fois, pour la végétation vasculaire, les recouvrements, hauteurs et liste d'espèces sont établis et les coefficients d'abondance-dominance selon la méthode de Braun-Blanquet sont attribués. La volonté initiale était de réaliser également les relevés bryophytiques selon la méthode de Braun-Blanquet cependant, par manque de connaissances vis-à-vis de ce taxon seule l'identification des espèces est réalisée sans attribuer de coefficient d'abondance dominance. Les espèces ne pouvant être déterminées sur place à l'aide d'une loupe de terrain (grossissement x10) sont prélevées à l'aide d'un couteau et conservées dans des enveloppes afin d'être identifiées ultérieurement en laboratoire à l'aide d'un microscope et vérifiées par un bryologue expert.

2.1.4 Analyse des données

Dans un premier temps l'analyse des données récoltées est concentrée sur l'interprétation des cortèges floristiques rencontrés dans les environnements des murs. En utilisant divers catalogues de végétation, les relevés sont rattachés – à l'échelle la plus fine possible – à des syntaxons.

Les études statistiques de la végétation murale sont en partie réalisées à l'aide du *logiciel R 3.6.1* et ont pour objectif de comprendre à la fois les liens entre la végétation des murs et leur environnement mais également la façon dont la végétation colonise les différentes surfaces du mur.

L'ensemble des inventaires réalisés permettent également d'alimenter la Base de données de l'Observatoire Mutualisée de la Biodiversité et de la Nature (BOMBINA), outil à l'initiative du PnrL permettant, via un support cartographique, de mutualiser les observations faunistiques, floristiques et d'habitats et accessible aux agents du Parc comme au grand public.

2.2 - Résultats et interprétations

2.2.1 Caractérisation phytosociologique des milieux environnants aux murs

Les résultats ci-dessous correspondent à une liste typologique décrivant les habitats rencontrés dans les environnements des murs. Cette description se veut être la plus précise possible. Dans chaque cas, les correspondances avec les habitats décrits dans les catalogues de végétation CORINE Biotope et EUNIS sont précisées. Les espèces mentionnées correspondent soit aux espèces majoritaires au sein des relevés, soit aux espèces caractéristiques.

Mur de Lucey (LUC12, relevé A1)

Bord de chemin nitrophile héliophile *Anthriscetum sylvestris*

Description : Formation herbacée haute, ourlet suivant le linéaire du mur et du chemin attenant.

Corine Biotope 37.72
EUNIS : E5.43

Mur de Rembercourt-sur-Mad (REM08 relevé A)

Prairie mésohydrique de fauche ou piétinée, mésotrophile à eutrophile, planitaire à montagnarde

Description : Prairie sur sol perturbé à proximité d'une route et en bord de zone boisée. Régulièrement fauchée et piétinée. Communauté floristique dominée par des espèces rudérales et graminées vivaces avec *Schedonorus arundinaceus*, *Dactylis glomerata*, *Trifolium pratense*, *Trifolium repens*, *Galium aparine*

Corine Biotope 37.72, 87.2
EUNIS : E5.13, E5.43

Murs de Pagny (PAG16 relevés A1 et A2 ; PAG14 relevés A2 et A3)

Prairies de fauche mésohydriques eutrophiles planitaires à montagnardes

Description : Formations thermophiles ouvertes, riches en graminées et constituées principalement de plantes annuelles avec *Anisantha sterilis*, *Brachypodium sylvaticum*, *Lolium perenne*, *Vicia sativa*, *Potentilla reptans*, *Trifolium repens*

Corine Biotope : 34.1
EUNIS : E1.1

Mur de Onville (ONV03 relevé A1)

Prairie de fauche mésophile à xéro-thermophile

Description : Formation principalement annuelle très riche, diversifiée avec *Poa pratensis subsp. angustifolia*, *Arrhenaterum elatius*, *Daucus carota*, *Knautia arvensis*, *Leucanthemum vulgare*, *Origanum vulgare*, *Achillea millefolium*, *Agrimonia procera*, *Anacamptis pyramidalis*, *Poterium sanguisorba*, *Pimpinella saxifraga*

Corine Biotope : 34.1, 38.2
EUNIS : E1.1, E2.2

Mur de Lucey (LUC12 relevé A2)

Murs de Pagny (PAG15 relevé A et PAG16 relevé A3)

Vergers à arbustes et vignobles

Corine Biotope : 83.2, 83.21

Mur de Gorze (GOR05 relevés A1 et A2)

Mur de Onville (ONV03 relevé A2)

Lisières mésohygrophiles à mésoxérophiles planitaires

Description : Ourlets à espèces prairiales de l'*Arrhenatherion elatioris*, en évolution vers des fourrés arbustifs avec la présence de communautés de l'ormaise-frênaie

Corine Biotope : 38.22 en évolution vers 21.5
EUNIS : E2.22 en évolution vers G1.8

Mur de Martincourt (MAR13 relevé A)

Friche en zone rudéralisée, ombragée

Description : Boisement mixte et pluristratifié avec *Pinus nigra*, *Corylus avellana*, *Fagus sylvatica*, *Fraxinus excelsior*, *Crataegus monogyna*

Corine Biotope : en évolution vers 41.1

Mur de Martincourt (MAR13 relevé B1)

Murs de Pagny (PAG16 relevé B et PAG14 relevés A1 et B)

Chemins et milieux récemment défrichés et perturbés, dominés par les vivaces mésohygrophiles à mésoxérophiles

Description : Formations avec *Agrostis stolonifera*, *Galium mollugo*, *Galium aparine*, *Geum urbanum*, *Geranium robertianum*, *Clematis vitalba*

Corine Biotope : 81, 87.1, 87.2, 37.72
EUNIS : E5.11, E5.13, E5.43, E2.6

Mur de Martincourt (MAR13 relevé B2)

Mur de Rembercourt-sur-Mad (REM08 relevé B)

Mur de Novéant-sur-Moselle (NOV18 relevés B et A)

Crataego monogynae* – *Prunetalia spinosae

Description : Fourrés arbustives caducifoliées caractéristique des lisières de recolonisation forestière avec *Clematis vitalba*, *Cornus sanguinea*, *Corylus avellana*, *Crataegus monogyna*, *Hedera helix*, *Ligustrum vulgare*, *Prunus spinosa*, *Rubus sp.*, *Sambucus nigra*, *Viburnum lantana*

Corine Biotope : 31.81
EUNIS : F3.11
Prodrome des végétations de France : 20.0.2

Mur de Novéant-sur-Moselle (NOV17 relevés B et A)

Murs de Gorze (GOR05 relevé B et GOR06 relevé B)

Fraxino excelsioris – Quercetea roboris

Description : Association arborescente des boisements acidophiles dominés par *Quercus*

Corine Biotope : 41.5
EUNIS : G1.8

Mur de Pagny (PAG15 relevé B)

Murs de Lucey (LUC12 relevé B et LUC10 relevés A et B)

Mur de Onville (ONV03 relevé B)

Hêtraies mixtes

Corine Biotope : 43.1
EUNIS : G4.6

Les milieux A (en bas du mur) en stades 1 et 2 sont ainsi majoritairement associés à des prairies et pelouses gérées (par fauche estivale) ainsi qu'à des vergers et vignobles. Les milieux B (en haut du mur) et milieux A (en bas du mur) des stades les plus avancés sont quant à eux associés à des friches, fourrés arbustives et boisements. Les murs se situent fréquemment – de par leur usage – en bord de chemin, la végétation observée y étant souvent rudérale les rattachements synphytosociologiques s'avèrent impossibles.

2.2.2 Végétations présentes sur les murs

Les murs étudiés sont un support pour 76 espèces dont 51 espèces de plantes vasculaires appartenant à 26 familles et 25 espèces de bryophytes (comprenant 3 marchantiophytes à feuilles et une marchantiophyte à thalle). Il est à noter qu'en comparant ces résultats d'inventaires avec ceux réalisés sur des murs en 2018 par Emir Kort, les MPS accueillent, au total, une diversité floristique de 106 espèces dont 39 espèces de bryophytes.

Communautés bryophytiques

Sur la base des 58 relevés bryologiques réalisés sur les 12 murs, seuls 4 murs semblent présenter des groupements pouvant être rattachés au synsystème.

3 syntaxons ont été distingués :

- ***Ctenidietea mollusci*** : communauté saxicole basophile et sciaotolérante (Julve, 2002) dominée par *Ctenidium molluscum* (Barbottin, 2016). Présente au sein des murs MAR13 et NOV17
- ***Tortella tortosa – Ctenidietum mollusci*** : association incluse dans l'alliance du *Ctenidion mollusci* et de la classe des *Ctenidietea mollusci*. Concerne le mur LUC10
- ***Neckeretea complanatae*** : communauté saxicole basophile (Julve, 2002) dominée par *Neckera complanata* et *Anomodon viticulosus*. Concerne les murs PAG16 et MAR13.

Les murs concernés sont abandonnés et associés à une gestion sylvicole. Les autres communautés bryophytiques observées peuvent présenter des états de transition ; en perpétuelle évolution les communautés épiphytiques humicoles succèdent aux communautés épilithiques.

Le nombre d'espèces pionnières est très variable quel que soit le stade considéré, en revanche les espèces pérennantes sont d'avantage représentées (de 4 à 6 espèces) dans le stade 4 et peu représentées (2 à 3 espèces) dans le stade 2. Ainsi l'extrémité dans la succession écologique du milieu semble favoriser les groupements fonctionnels d'espèces.

Similarité des murs

Une analyse multivariée ACP suivie d'une classification ascendante hiérarchique ont dans un premier temps été réalisées sur l'ensemble des murs quel que soit le stade d'évolution du milieu auquel ils ont été rattachés. L'objectif de cette analyse étant de déterminer les ressemblances entre les murs suivant les espèces qu'ils abritent. La classification hiérarchique a mis en évidence une grande hétérogénéité des sites du point de vue de leur composition, notamment pour les sites rattachés aux stades 1 et 2. Cette analyse n'a pas montré d'effet de localité, ainsi les murs situés au sein des mêmes communes ne sont pas plus similaires entre eux du point de vue de leur composition.

Comparaison de la similarité entre les stades de colonisation

Afin de comparer la diversité inter-stades, une matrice triangulaire de présence/absence des espèces (rassemblant flore vasculaire et bryophytique) a été réalisée dans le but d'en déduire l'indice de Jaccard renseignant sur le niveau de similitude entre deux sites.

Tableau 1 : Indices de Jaccard des différents stades de colonisation (plus l'indice est proche de 1 plus les deux entités comparées sont similaires)

Comparaison	S1/S4	S1/S3	S2/S3	S2/S4	S3/S4	S1/S2
Valeur de l'indice	0.18	0.26	0.33	0.34	0.39	0.55

Les stades ainsi comparés deux à deux suggèrent qu'il existe des différences de diversité entre eux. En effet, l'indice de Jaccard indique que les stades les plus dissemblables sont les stades 1 et 4 ; de même, les stades les plus similaires correspondent aux stades les plus proches dans la dynamique de succession. Ces résultats suggèrent que les murs constituent des habitats différents pour la flore suivant l'état de dynamique du milieu et que cette utilisation du mur par la flore évolue au même rythme que la dynamique du milieu environnant.

Evaluation des richesses spécifiques

L'étude de la richesse spécifique (c'est-à-dire le nombre d'espèces) des murs est un indicateur intéressant pour comprendre les interactions entre les murs et leur milieu environnant. Si la littérature souligne que les contextes d'abandon ou de déprise agricole provoquent une diminution de la richesse en espèces (Barbault, 2009) et de la diversité fonctionnelle, qu'en est-il à l'échelle des murs ?

Tableau 2 : Récapitulatif de la diversité spécifique H' (indice de Shannon) et de l'indice d'équitabilité de Pielou selon les différents stades de succession du milieu. SV : surface verticale : DM : Dessus du mur

	Mur	Flore vasculaire				Bryophytes					
		H'SV	Pielou	H'DM	Pielou	H'SV	Pielou	H'DM	Pielou	H'	Pielou
Stade 1	LUC12										
	REM08	1.20	1.11	1.69	1.24	0.62	0.65	0.43	0.71	0.74	0.78
	PAG15										
Stade 2	PAG16										
	GOR06	0.79	0.83	0.93	0.74	0.91	1.30	0.5	0.72	0.96	1.23
	PAG14										
Stade 3	GOR05										
	ONV03	0.67	0.86	0.93	0.86	1.05	1.10	0.92	0.92	1.04	0.91
	MAR13										
Stade 4	LUC10										
	NOV18	0.00		0.65	0.68	0.85	0.76	0.54	0.54	0.87	0.78
	NOV17										

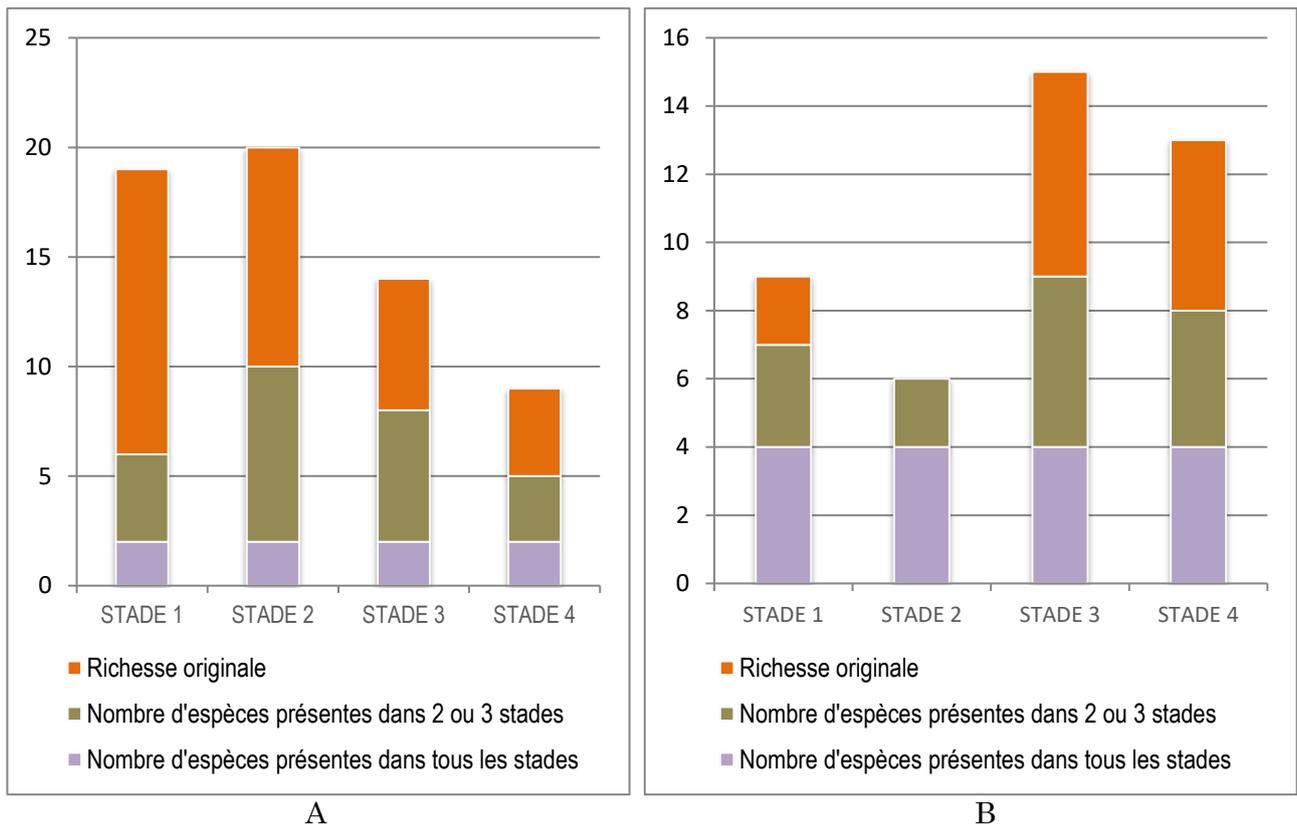
Tableau 3 : Correspondance des coefficients d'abondance Braun Blanquet avec les recouvrements moyens établis préalablement pour le calcul de l'indice de Shannon.

Coefficient de Braun Blanquet	Recouvrement moyen
i	0.1 %
r	0.3 %
+	0.5 %
1	5 %
2	17.5 %
3	37.5 %
4	62.5 %
5	87.5 %

L'indice de Shannon mesure une notion de diversité spécifique. Lorsque les recouvrements relatifs de chaque espèce ont été évalués (coefficient de Braun Blanquet), cet indice est d'autant plus intéressant qu'il tient compte de la dominance de certaines espèces. En effet, l'indice est d'autant plus proche de 0 que la richesse en espèces est faible et que certaines espèces dominent (Bruhier et al. 1998). Pour les bryophytes, les coefficients d'abondance-dominance n'ont pas été renseignés mais l'indice de Shannon tient tout de même compte de la fréquence des espèces au sein des relevés.

Le tableau 2 met en évidence de manière générale une plus grande diversité de la flore vasculaire sur le dessus du mur que sur la surface verticale. En effet la flore est en contact direct avec le milieu et la couche d'humus sur le couronnement du mur est parfois importante ; de plus, contrairement à la surface verticale, le port de la plante n'est pas contraint par la pente. En revanche, pour les bryophytes, l'indice de Shannon indique une plus grande diversité sur la surface verticale. Effectivement, sur le couronnement la flore muscinale est en compétition avec la flore vasculaire tandis que sur la surface verticale les bryophytes disposent de divers microclimats pour se développer et sont soumises à peu de compétition.

Quelle que soit la surface observée, la flore vasculaire semble plus diversifiée lorsque les murs sont dans des environnements ouverts et gérés (stades 1 à 2) ce qui indiquerait un appauvrissement de la biodiversité avec la fermeture des milieux. Les résultats bryophytiques indiquent quant à eux des tendances inverses avec, de manière globale plus de diversité sur les surfaces verticales et une fermeture des milieux (stade 3) favorable à une plus grande diversité de bryophytes.



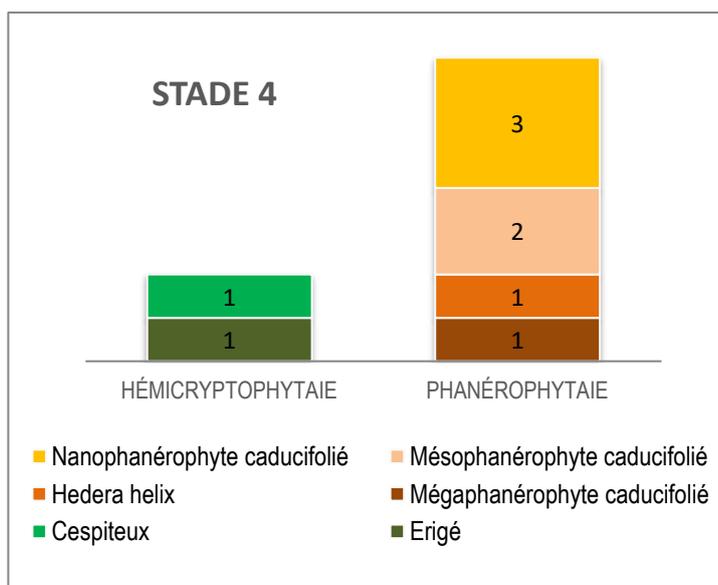
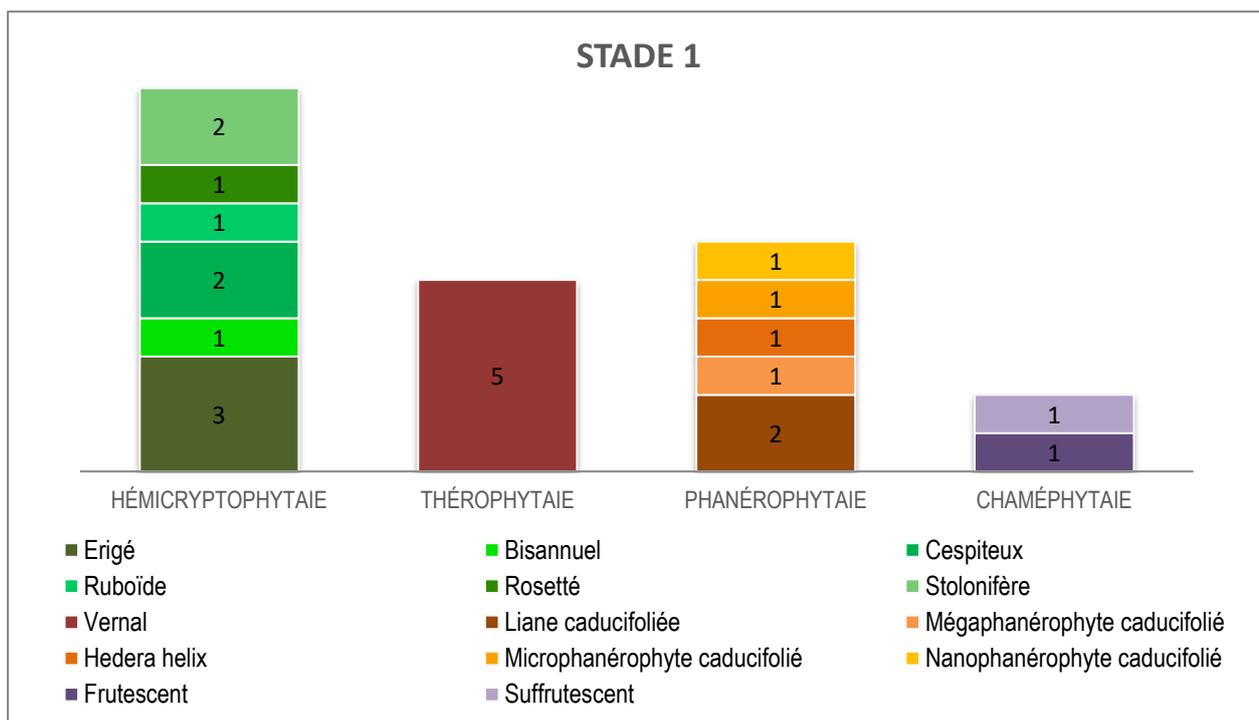
Graphiques 1 : Répartition de la richesse en espèces vasculaires (A) et en espèces bryophytiques (B) suivant le stade de colonisation du milieu.

De la même manière, les *graphiques A et B* montrent que la flore vasculaire originale (espèces que l'on ne retrouve qu'au sein d'un seul stade) est plus importante dans les premiers stades de colonisation, tandis que pour les bryophytes on observe une tendance inverse avec une plus grande richesse originale dans les milieux embroussaillés et forestiers.

Dans les premiers stades, la richesse originale de la flore vasculaire est composée en grande partie de thérophytes⁵ annuelles et d'hémicryptophytes (*Graphiques 2*) et la dispersion des graines se fait en grande partie par anémochorie (le vent) tandis qu'au sein des stades les plus avancés la richesse originale est constituée d'avantage de phanérophytes, il n'y a plus de thérophytes, et la dispersion des graines ne se fait plus par anémochorie mais essentiellement par zoochorie.

Les murs des premiers stades se situent dans des milieux plus divers. Le mur est un support pour des plantes annuelles, les milieux étant ouverts les chances sont en effet plus grandes pour que des graines dispersées par le vent arrivent et se développent sur les murs. Ces résultats corroborent également l'indice de Shannon car si la diversité en vasculaires est moins grande dans les derniers stades et que les murs ne représentent plus un support intéressant pour celles-ci, ils le sont d'autant plus pour les bryophytes pour lesquelles la compétition face au vasculaires est moins importante.

⁵ Définitions dans le glossaire



Graphiques 2: Stratégies adaptatives et types biologiques de la végétation sur le dessus des murs suivant le stade de colonisation du milieu

Exigences écologiques

Les relevés floristiques réalisés sur les murs ont également été analysés par AFC (analyse factorielle des correspondances) et classification ascendante hiérarchique (CAH) dans le but de révéler les différentes exigences écologiques des espèces suivant les stades étudiés. Ces exigences écologiques sont illustrées pour chaque stade par la moyenne des valences écologiques des espèces s'y trouvant. Les valences écologiques sont liées aux indices écologiques d'Ellenberg exprimant l'affinité d'une espèce végétale vis-à-vis de différents facteurs : lumière, température, continentalité, réaction du sol (pH), texture, matière organique, humidité édaphique. L'analyse a été effectuée en différenciant d'une part le dessus des murs (DM) des surfaces verticales (SV) et d'autre part en différenciant flore vasculaire et flore bryophytique.

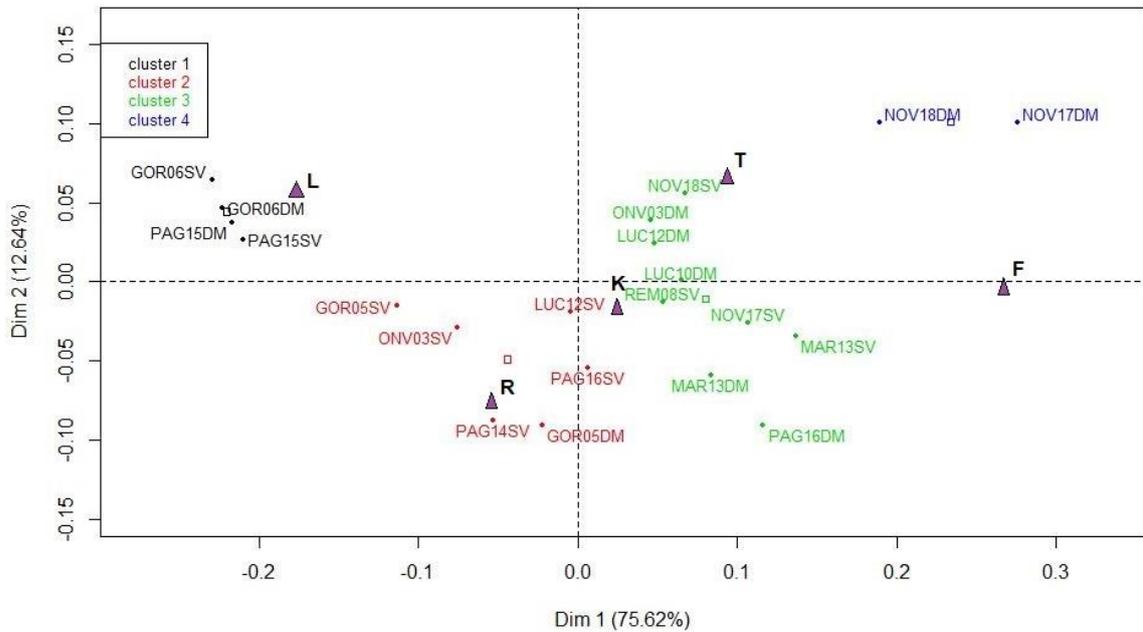


Figure 14 : Plan factoriel de l'AFC réalisée sur la flore bryophytique : projection des différents sites suivant les valences écologiques des espèces. Les différentes couleurs correspondent aux groupements mis en évidence par la CAH. DM : couronnement ou dessus du mur ; SV : surface verticale du mur. L : lumière ; T : température, K : continentalité, F : humidité édaphique, R : réaction du sol pH

Les résultats de l'AFC pour la flore bryologique (figure 14) mettent en évidence quatre groupes. Les murs des communes de Gorze et de Pagny (GOR06 SV, GOR05 DM, PAG15 DM, PAG15 SV) semblent être déterminés par des espèces ayant des besoins importants en luminosité ainsi qu'une faible humidité édaphique. A l'opposé, les murs (sur leur couronnement) pour la commune de Novéant-sur-Moselle sont liés à de faibles besoins en lumière de la part des espèces ainsi qu'à une forte humidité édaphique. Les regroupements obtenus semblent cette fois d'avantage liés à un effet des localités (communes) cependant les murs des stades 3 et 4 montrent tout de même des besoins en lumière moins importants associés à une plus grande humidité édaphique. De plus on note qu'au sein d'un même mur les valences écologiques des espèces diffèrent suivant la surface du mur relevée.

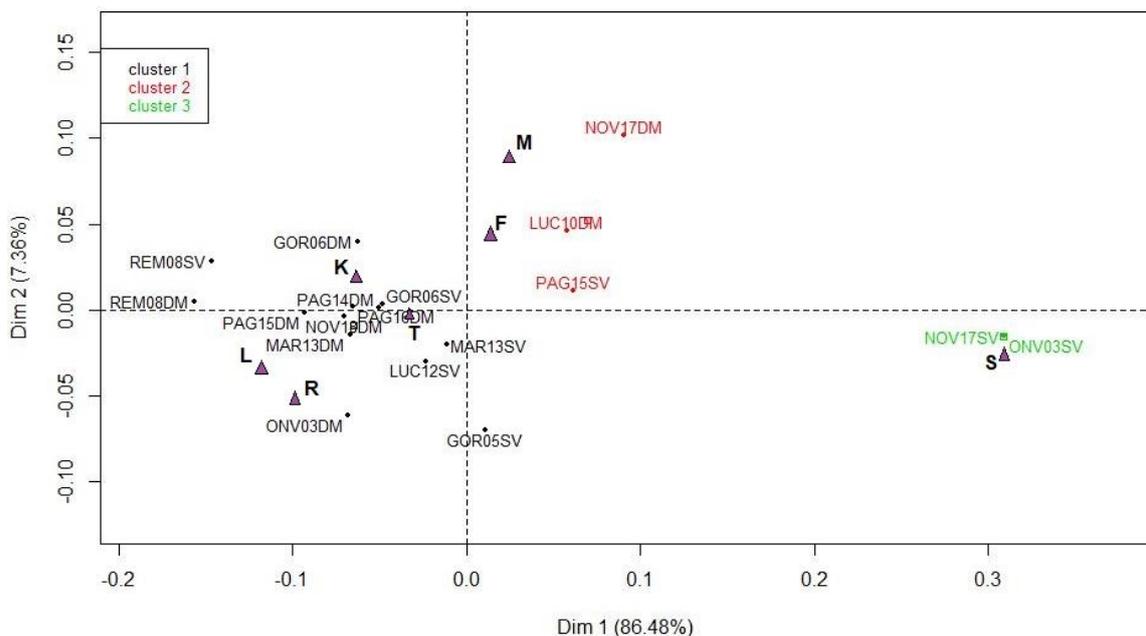


Figure 15 : Plan factoriel de l'AFC réalisée sur la flore vasculaire : projection des différents sites suivant les valences écologiques des espèces. Les différentes couleurs correspondent aux groupements mis en évidence par la CAH. L : lumière ; T : température, K : continentalité, F : humidité édaphique, R : réaction du sol pH, S : texture, M : matière organique

L'AFC réalisée sur la flore vasculaire (*figure 15*) distingue quant à elle trois groupes. La surface verticale du mur de Novéant (NOV17) ainsi que la surface verticale du mur d'Onville (ONV03) constituent un groupe pour lequel la texture du substrat détermine la composition floristique, il est alors envisageable que la nature de la pierre et son état de détérioration joue une influence.

Les murs de Novéant (NOV17 *surface verticale*) et Lucey (LUC10 *dessus du mur*) sont des murs de stade 4 et sont regroupés avec un mur de Pagny de stade 1. Pour ce regroupement les exigences des espèces semblent liées à une luminosité peu importante mais un effet plus important de l'humidité édaphique et la matière organique. Il est donc envisageable que ces résultats soient le reflet de la présence d'une diversité de microclimats/microhabitats dans ces murs et ce quel que soit le stade de colonisation du milieu environnant.

2.3 - Discussion et conclusions

A travers cette étude apparaît la variabilité de la végétation qui s'établit sur les MPS sur le territoire du Parc. Certaines espèces se retrouvent sur la quasi-totalité des murs étudiés, notamment la clématite (*Clematis vitalba*) et le lierre (*Hedera helix*) pour lesquels les murs représentent un habitat privilégié, parfois au détriment d'une flore moins compétitrice. Ainsi, lorsque les murs de soutènement sont délaissés, signe d'une déprise progressive du milieu qui leur est contigu, la flore vasculaire - diversifiée dans les milieux ouverts – supporte la colonisation par les espèces les plus compétitrices et tend vers une certaine banalisation avec la fermeture des milieux. En effet, si dans les contextes de pelouses, prairies, vergers et vignobles, les murs sont un support pour une variabilité d'espèces notamment des espèces rudérales (*Trifolium dubium*, *Achillea millefolium*, *Anisantha sterilis*, *Chelidonium majus*, *Papaver dubium*) les stratégies adaptatives sont moins diversifiées dans des milieux de friches, fourrés arbustives et boisements au profit des phanérophytes et hémicryptophytes.

Concernant la flore bryophytique, la présence de trois espèces pérennantes (*Anomodon viticulosus*, *Homalothecium sericeum* et *H. lutescens*) sur les murs, quel que soit le stade de dynamique du milieu considéré, suggère que la végétation qui s'est établie sur les murs est issue d'un long processus de colonisation, soumis aux variabilités du milieu environnant. Aussi, la flore bryophytique évolue avec les modes de gestion du milieu, les modifications des conditions d'éclairage, d'humidité et d'apport de matière organique. Lorsqu'ils sont totalement délaissés depuis plusieurs années, les murs ne sont plus seulement des constructions destinées à l'usage anthropique mais s'apparentent davantage à des habitats rocheux, abritant dès lors une diversité plus large d'espèces bryophytiques. L'étude des communautés muscinales est relativement périlleuse pour l'œil non expert, mais une étude des lichens aurait éventuellement pu permettre d'indiquer de façon plus précise la présence de certaines communautés de bryophytes (Vadam et Leroux, 2013).

La variabilité des typologies des murs et des gestions qui leur sont associées s'exprime également du point de vue floristique. En effet, chaque mur étant dès sa construction fondamentalement unique, de par la maîtrise de son bâtisseur, l'origine des pierres, etc, il abritera une diversité plus ou moins grande de potentiels micro-habitats, et les réponses de la part de la végétation sont ainsi singulières.

Cette grande atypicité de chaque ouvrage a constitué une difficulté dans le choix des murs d'autant plus que les limites des stades évolutifs des milieux environnants sont floues et dépendent d'un regard relativement subjectif. Un échantillonnage de murs plus important aurait pu permettre de renforcer les observations dans chaque stade mais les proportions des murs au sein des différents stades sont très inégales sur le territoire du Parc compliquant le choix des murs « candidats » pour l'étude.

2.3.1 Restauration des murs de pierre sèche

Les restaurations de murs sont d'autant plus difficiles à appréhender qu'elles constituent une destruction de l'habitat d'espèces animales et végétales qui s'y sont établies selon un long processus évolutif. C'est d'ailleurs lors des déconstructions de murs que des reptiles, amphibiens, mollusques, insectes et araignées sont observés en nombre. Pour pallier au maximum à l'invasivité des restaurations sur les communautés végétales, il est préconisé de réutiliser au maximum les pierres de l'ouvrage détruit pour la construction du nouvel ouvrage. Or, si les avantages liés à la réutilisation des pierres sont indéniables du point de vue du développement durable, il est légitime de se demander dans quelles mesures les communautés lichéniques et bryophytiques isolées sur les pierres anciennes peuvent survivre et coloniser les pierres à nues. Cependant il est envisageable que ces pierres présentent à leur surface des propagules qui, dans des conditions favorables, puissent éventuellement se développer.



Figure 16 : Mur récemment restauré contenant des pierres de l'ancien ouvrage

Les restaurations sont également l'occasion de porter à connaissance les liens entre pierre sèche, biodiversité et gestion des milieux. Les ouvrages de pierre sèche contribuent sans aucun doute à une amélioration du cadre de vie dans des dimensions historiques et esthétiques mais également dans une dimension environnementale. Ainsi les actes de construction d'ouvrages en pierre sèche sont, en ce sens, un support pour sensibiliser à la nature et la biodiversité.

2.3.2 Trame thermophile

La réflexion quant à l'intégration des MPS comme « corridors » thermophiles à la trame doit, au vu de l'influence des milieux connexes sur la biodiversité, intégrer le contexte environnemental et non les murs en tant qu'éléments isolés. Bien qu'aucune pelouse calcaire n'ait été inventoriée, le choix des murs ayant été effectué sur des coteaux exposés sud, la quasi-totalité des murs, mis à part ceux situés au sein de la commune de Gorze, suit le tracé des continuités thermophiles identifiées par le PnrL (2018).

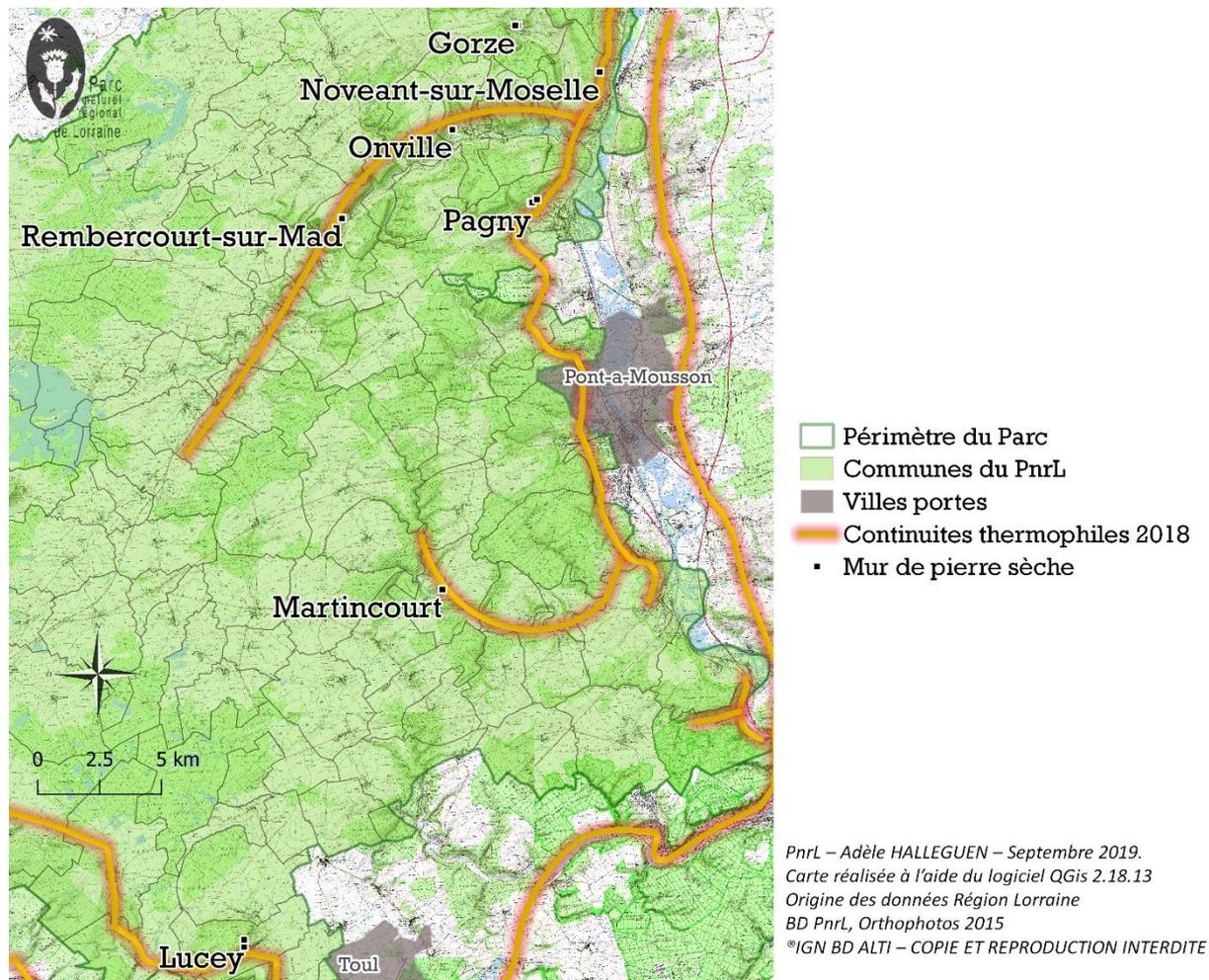


Figure 17 : Situation des MPS inventoriés vis-à-vis des continuités thermophiles établies par le Parc en 2018

Il est à noter également que les murs recensés à Novéant-sur-Moselle, Pagny et Lucey sont concernés par des enjeux de « restauration des continuités thermophiles enrichies ». Les données récoltées permettent – au-delà du contexte de l'étude – d'apporter des éléments de connaissances de l'occupation des sols dans les périmètres étudiés. En prenant en compte ces éléments d'occupation du sol, mis à disposition via la base de données mutualisée du Parc (BOMBINA), une intégration des murs étudiés (commune de Gorze mise à part) aux sous trames thermophiles est envisageable, permettant dès lors de multiplier et prioriser les enjeux dans les environnements directs des murs.

Chapitre 3 : Vers une gestion des murs favorable à la biodiversité

En parallèle de la réalisation de l'étude est née une volonté de créer un outil facilement utilisable par l'ensemble des usagers du Parc (agents du Parc, associations, particuliers). L'objectif étant de faire apparaître les facteurs majeurs qui influencent la biodiversité au sein des murs et de mettre en avant l'atypicité propre à chaque ouvrage.

Cet outil - non développé dans le présent rapport - sera construit à partir de conclusions de l'étude et de données bibliographiques. Il a également pour objectif de mettre en avant des données spécifiques à la flore et faune locale. Ainsi, via une clé mettant en avant les principaux facteurs identifiés (milieu contigu au mur, âge ou état du mur, végétation présente sur le mur), l'utilisateur identifie les informations relatives aux potentialités d'accueil de la biodiversité du mur ainsi que des préconisations de gestion permettant de favoriser la pérennité du mur.

La réflexion menée concernant la gestion de la biodiversité des murs s'est également concentrée, comme expliqué dans le cadre de l'étude, sur les enjeux liés à l'orpin rougeâtre. De plus, l'omniprésence du lierre sur les ouvrages a entraîné une indispensable réflexion quant à sa prise en compte dans le cadre d'une gestion de l'entretien du mur.

3.1 - Cas de l'orpin rougeâtre

Le *Sedum rubens* (Orpin rougeâtre) est une espèce annuelle de la famille des crassulacées, de préférences écologiques héliophile, thermophile et xérophile. Peu compétitrice, l'espèce colonise les milieux très ouverts, on la retrouve notamment sur des biotopes anthropogènes tels que sur les murs ou le long des routes ; l'espèce est également présente dans les vignobles, les sentiers, les chemins (Käsermann et Moser, 1999).



En Lorraine, la répartition de l'orpin rougeâtre se limite à une unique station connue, sur un mur de pierre sèche, justifiant son statut « CR » (en danger critique d'extinction) sur la liste rouge régionale de la flore vasculaire de Lorraine. En effet, l'espèce a fortement régressé face à l'intensification de l'agriculture et l'étalement urbain (routes, infrastructures...) entraînant la destruction de ses habitats ; de plus, thérophyte et peu compétitrice, la dynamique naturelle de fermeture des milieux lui est défavorable.

Figure 18 : *Sedum rubens* – photographie Y.Martin source INPN MNHN

En 2018, Emir Kort a réalisé un inventaire de la population de *Sedum rubens* sur cette unique station lorraine dans le but d'utiliser ces données pour la réalisation d'un plan de gestion. Les principales menaces concernant cette population sont dues à l'état de dégradation du mur et à la compétition des autres vasculaires. Dans le cas d'une prolongation du programme INTERREG jusqu'à la fin de l'année 2021, de nouvelles actions sont envisagées par le Parc afin de conserver et éventuellement réintroduire des populations de *Sedum rubens* sur des ouvrages de pierre sèche.

Il est à noter que l'orpin rougeâtre pousse préférentiellement sur un substrat humique relativement acide, aussi les murs récemment restaurés (pierre calcaire à nue) ne sont pas favorables à l'espèce.

Les actions prioritaires à envisager pour la conservation de l'espèce en Lorraine sont les suivantes :

- Un suivi régulier à mener sur l'unique population actuelle, les données de dénombrement des plants récoltés par Emir Kort pouvant servir de point initial à ce suivi. Une attention particulière doit être portée à la compétition avec les autres plantes.
- Mettre en place une gestion concernant à la fois le mur en arrachant à la main si besoin les concurrentes (tout en tolérant la végétation rudérale) et à la fois le milieu environnant afin d'empêcher l'embroussaillage.
- Une récolte des graines à des fins conservatoires (sauvegarde du patrimoine génétique) en collaboration avec le Conservatoire botanique de Lorraine-Nancy.
- Un renforcement ou une réintroduction de plants peuvent être réfléchis avec le Conservatoire.

Concernant la réintroduction de plants, les données récoltées lors des stages peuvent représenter de précieuses informations quant au choix de potentielles stations pouvant accueillir le *Sedum rubens*.

3.2 - La gestion du lierre *Hedera helix*

La gestion du lierre constitue l'une des principales problématiques de la réflexion ayant pour objectif de favoriser la pérennité des ouvrages. En effet, la dualité du lierre pour ses aspects protecteur et dégradant s'affronte dans la littérature.

Concernant les aspects positifs attribués au lierre, Sternberg et al. en 2010 soulignent que ses feuilles participent à l'absorption des particules en suspension dans l'air ; de même le lierre joue un rôle d'isolant thermique protégeant la pierre contre le gel et préservant l'humidité (Coombes et al., 2018) ; enfin les fleurs du lierre s'avèrent avoir une grande importance pour les insectes en automne, de même que les baies sont une source de nourriture pour les oiseaux (Garbuzov et Ratnieks, 2014).

Face à ses perspectives favorables à la présence du lierre, le caractère ultra compétiteur de l'espèce est à faire peser dans la balance. Présent sur la quasi-totalité des murs étudiés, le lierre – lorsque les conditions lui sont favorables – recouvre parfois la totalité des ouvrages à la manière d'un « manteau », réduisant la diversité des microclimats et ne laissant ainsi pas la place aux autres formes de végétation y compris les lichens et bryophytes (*Seminar report*, 2010).



Figure 19 : MPS entièrement recouvert par le lierre

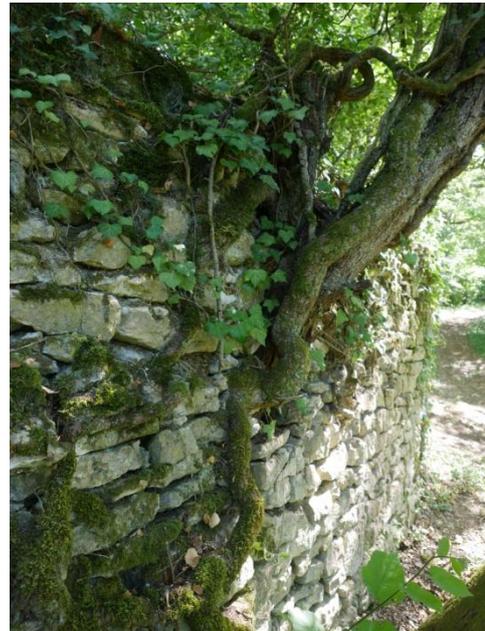


Figure 20 : MPS colonisé par les racines du lierre

D'après Coombes et al. en 2018, les racines du lierre n'ont pas la puissance pour détruire des constructions sauf si des défaillances dans la structure du mur sont déjà présentes, or dans le cas de la pierre sèche, les multiples interstices entre les pierres peuvent ainsi laisser la place aux racines pour se développer. La colonisation par le lierre se déroule selon deux modalités, une phase de recouvrement (*figure 19*) et une phase de colonisation secondaire (*figure 20*) durant laquelle les racines se développent dans la structure de l'ouvrage (Bartoli et al. 2016).

La gestion du lierre doit ainsi prendre en compte ces modalités de colonisation. Lorsque le recouvrement de *Hedera helix* commence à devenir important, les aspects singuliers des ouvrages de pierre sèche vis-à-vis de la biodiversité se réduisent. Une coupe du lierre peut ainsi favoriser la présence de microclimats et permettre à une diversité d'espèces peu compétitrices de se développer. En revanche, lorsque la colonisation secondaire est avancée, les racines sont présentes entre les pierres et contribuent à leur maintien, aussi il devient peu envisageable de vouloir débarrasser le mur de l'espèce sans que celui-ci ne soit détruit. Il est alors possible de couper les racines au pied, puis attendre qu'elles se dégradent d'elles même au sein du mur.

Les murs étant pour la plupart situés sur des parcelles privées, porter à connaissance des propriétaires - y compris lors des restaurations – les divers aspects positifs et négatifs du lierre, pourrait alors contribuer à valoriser des murs pour qu'ils ne soient totalement colonisés et recouverts par le lierre. De même porter à connaissance permettrait, dans le cas contraire, d'éviter une focalisation de l'entretien sur la lutte contre le lierre pouvant être le sujet d'une perception négative.

3.3 - Conclusion

Les travaux de recherche concernant la technique de la pierre sèche font évoluer, depuis les années 2000, les connaissances vis-à-vis du comportement, de la résistance, du cycle de vie et du bilan environnemental des murs (documents techniques ABPS). Mais si l'attrait scientifique pour cette technique se développe peu à peu et permet d'élaborer des documents techniques à l'usage des professionnels (bâisseurs, maitres d'œuvre, maitres d'ouvrage...), les intérêts de la pierre sèche pour la biodiversité – quasi systématiquement mis en avant – ne bénéficient d'un appui scientifique que très limité.

En Lorraine, le patrimoine de pierre sèche est le témoin d'une évolution complexe du territoire, abandonné depuis la seconde moitié du 19^{ème} siècle avec le délaissement des vignes et des cultures en terrasses. Dans ce contexte territorial, ce stage avait pour objectif d'apporter de nouveaux éléments de connaissance quant à l'évolution de l'occupation des murs par la végétation. Ceux-ci se révèlent être de précieux habitats secondaires pour une grande diversité d'espèces. Les murs de pierre sèche sont assimilables à des habitats rocheux (Segal, 1969 ; Láníková & Lososová 2009) mais la couverture végétale qui s'établit est déterminée par le degré d'évolution du milieu



environnant et les gestions pratiquées. La tendance observée sur les murs étudiés semble indiquer qu'une flore vasculaire diversifiée peut s'établir sur les murs de pierre sèche dans les milieux les plus ouverts, en revanche, sous les couverts arbustifs et forestiers, les murs deviennent des habitats davantage favorables aux communautés bryophytiques, délivrées de la concurrence des vasculaires.

Figure 21 : *Tortula muralis* sur un mur de pierre sèche

De plus, sur un même territoire, chaque mur est unique et la réponse de la végétation est singulière d'un ouvrage à l'autre, d'où la nécessité d'adapter les pratiques de gestion d'autant plus que certains murs sont un support pour des espèces protégées telles que le *Geranium sanguineum* ou *Sedum rubens*. De même, le patrimoine de pierre sèche au sein de la zone ouest du Parc naturel régional de Lorraine est étroitement lié aux enjeux de la sous-trame thermophile du Parc et à des enjeux concernant les continuités thermophiles enfrichées.

Les restaurations et créations de murs sur le territoire créent une véritable dynamique de revalorisation de ce patrimoine historique, artisanal mais également naturel. Ainsi si les murs sont des constructions artificielles, ils s'intègrent à leur environnement en étant colonisés par la faune et la flore en offrant une diversité de micro habitats. Support pour la nature, les ouvrages de pierre sèche font, de cette manière un lien entre l'Homme et son environnement.

Bibliographie

Bibliographie scientifique

- Barbault, Robert, éd. 2012. « 1 - Les effets de l'agriculture sur la biodiversité », dans : Robert Barbault éd., Agriculture et biodiversité. Valoriser les synergies. Versailles, Editions Quæ, « Expertises collectives », 2009, p. 21-57. DOI : 10.3917/quæ.inra.2009.01.0021. URL : <https://www.cairn.info/agriculture-et-biodiversite--9782759218240-page-21.htm>. Nouv. éd. Agriculture et biodiversité. Versailles.
- Barbottin, Alban, 2016. « Contribution à l'inventaire de la bryoflore des communautés saxicoles de la région Nord - Pas-de-Calais » Mémoire présenté en vue de l'obtention du Master 2 Ecologie Opérationnelle, 149.
- Bartoli, F., F. Romiti, et G. Caneva. 2017. « Aggressiveness of *Hedera helix* L. Growing on Monuments: Evaluation in Roman Archaeological Sites and Guidelines for a General Methodological Approach ». *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology* 151. <https://doi.org/10.1080/11263504.2016.1218969>.
- Bonnefont, Jean-Claude. 1974. « Les lisières forestières en Lorraine: un milieu biogéographique original ». *Revue Géographique de l'Est* 14. <https://doi.org/10.3406/rgest.1974.1280>.
- Bruhier, S Vanpeene, M L Moyne, et J J Brun. 1998. « La richesse spécifique: un outil pour la prise en compte de la biodiversité dans la gestion de l'espace - Application en Haute Maurienne (Aussois, Savoie) », 14.
- Cazalis, Victor, et Anne-Caroline Prévot. 2019. « Are protected areas effective in conserving human connection with nature and enhancing pro-environmental behaviours? » *Biological Conservation* 236 (août). <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.03.012>.
- Collier, Marcus John. 2013. « Field Boundary Stone Walls as Exemplars of 'Novel' Ecosystems ». *Landscape Research* 38. <https://doi.org/10.1080/01426397.2012.682567>.
- Coombes, Martin A., Heather A. Viles, et Hong Zhang. 2018. « Thermal Blanketing by Ivy (*Hedera Helix* L.) Can Protect Building Stone from Damaging Frosts ». *Scientific Reports* 8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28276-2>.
- Cornu, Claire. 2011 « Maintien des paysages de pierre sèche, pratique durable pour nos territoires », Symposium international de l'ICOMOS UNESCO Paris 2011.
- Daum, Victor. 1932. « Une révolution de l'économie rurale dans le vignoble Messin ». *Revue de géographie alpine* 20. <https://doi.org/10.3406/rga.1932.5298>.
- Elinç, Zuhall K, Taner Korkut, et Latif Gürkan Kaya. 2013. « *Hedera helix* L. and Damages in Tlos Ancient City », 15.
- Garbuzov, Mihail, et Francis L. W. Ratnieks. 2014. « Ivy: An Underappreciated Key Resource to Flower-Visiting Insects in Autumn ». Édité par Simon R. Leather et David Roubik. *Insect Conservation and Diversity* 7. <https://doi.org/10.1111/icad.12033>.

- Hebrard, J.-P. 1970. « Note sur la colonisation du milieu saxicole par les bryophytes ». Bulletin de la Société Botanique de France 117. <https://doi.org/10.1080/00378941.1970.10838800>.
- Hugonnot, Vincent. 2010. « Les bryophytes, de précieux indicateurs encore trop peu connus en région Rhône-Alpes ». Bulletin mensuel de la Société linnéenne de Lyon 2 (1): 195-200. <https://doi.org/10.3406/linly.2010.13773>.
- Käsermann, C, et D M Moser. 1999. « Plantes à fleurs et fougères », Fiches pratiques pour la conservation. L'environnement pratique, octobre 1999.
- Kort E., 2018, « Diagnostic écologique de murs en pierre sèche de la zone Ouest du Parc naturel régional de Lorraine, contribution à un projet européen transfrontalier », mémoire de stage, Master 2 Espace & Milieux Université Paris Diderot.
- Lagarde E., 2010. « Définition de la Trame thermophile en Lorraine ». Mémoire de stage, Master FAGE Université Henri Poincaré - Nancy 1, URL du fichier http://docnum.univ-lorraine.fr/public/SCDSCI_M_2010_LAGARDE_EMILIE.pdf
- Láníková, Deana, et Zdeňka Lososová. 2009. « Rocks and Walls: Natural Versus Secondary Habitats ». Folia Geobotanica 44. <https://doi.org/10.1007/s12224-009-9045-x>.
- Liénard, Sandrine, et Philippe Clergeau. 2011. « Trame Verte et Bleue : Utilisation des cartes d'occupation du sol pour une première approche qualitative de la biodiversité ». Cybergeog, mars. <https://doi.org/10.4000/cybergeog.23494>.
- Lisci, Marcello, Michela Monte, et Ettore Pacini. 2003. « Lichens and Higher Plants on Stone: A Review ». International Biodeterioration & Biodegradation 51. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(02\)00071-9](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(02)00071-9).
- Manenti, Raoul. 2014. « Dry Stone Walls Favour Biodiversity: A Case-Study from the Appennines ». Biodiversity and Conservation 23. <https://doi.org/10.1007/s10531-014-0691-9>.
- Martin, Claude. 2006. « Espaces en terrasses et prévention de risques naturels en Cévennes» ESPACE, pp.32, 2006. HAL. URL http://www.pierreseche.fr/abps/wp-content/uploads/Terrisc_2006_-_C._Martin_-_Cevennes.pdf
- Mathy, Arnaud. 1998. « Les paysages du vignoble des Côtes de Toul, expression des mutations récentes ». Revue Géographique de l'Est 38. <https://doi.org/10.3406/rgest.1998.2479>.
- Meral, A.; Başaran, N.; Yalçınalp, E.; Doğan, E.; Ak, M.K.; Eroğlu, E. « A Comparative Approach to Artificial and Natural Green Walls According to Ecological Sustainability ». Sustainability 2018, 10, 1995.
- Rin, Aurélie, et Jean-Pierre Husson. 2010. « Revue Géographique de l'Est, vol. 42 2002 ». Revue Géographique de l'Est 42: 16.
- Segal, S. 1969. « Ecology of Wall Vegetation ». In Ecological Notes on Wall Vegetation, par S. Segal. Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-6232-8_3.

- Senthivel, R., et P.B. Lourenço. 2009. « Finite Element Modelling of Deformation Characteristics of Historical Stone Masonry Shear Walls ». *Engineering Structures* 31 (9): 1930-43. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.02.046>.
- Sternberg, Troy, Heather Viles, Alan Cathersides, et Mona Edwards. 2010. « Dust Particulate Absorption by Ivy (*Hedera Helix L*) on Historic Walls in Urban Environments ». *Science of The Total Environment* 409. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.09.022>.
- Tarolli, Paolo, Federico Preti, et Nunzio Romano. 2014. « Terraced Landscapes: From an Old Best Practice to a Potential Hazard for Soil Degradation Due to Land Abandonment ». *Anthropocene* 6 (juin). <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2014.03.002>.
- Vadam JC, Leroux S, 2013. Inventaire des bryophytes de la réserve naturelle nationale du Sabot de Frotey-lès-Vesoul (70), Société d'Histoire Naturelle du Pays de Montbéliard.
- Villemus, Boris. 2004. « Etude des murs de soutènement en maçonnerie de pierres sèches », 254. Rapport de thèse. Laboratoire Géomatériaux du Département Génie Civil et Bâtiment de l'Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat.

Autres documents bibliographiques

- ABPS, documents techniques : « Guide des bonnes pratiques de construction de murs de soutènement », Ecole nationale des travaux publics de l'Etat.
- Bissardon M, Guibal L, Ramea JC, CORINE Biotopes, Version originale, Types d'habitats français, Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêt.
- Conservatoires botaniques de Lorraine, d'Alsace et de Franche-Comté, Parcs naturels régionaux des Ballons des Vosges et des Vosges du Nord, 2017. Guide phytosociologique des prairies du massif des Vosges et du Jura alsacien, Dépôt légal 2ème trimestre 2017 ISBN 978-2-910328-64-1
- Delassus L., 2015 - Guide de terrain pour la réalisation des relevés phytosociologiques. Brest : Conservatoire botanique national de Brest, 25 p., annexes (document technique).
- English Heritage, Ivy onWalls, Seminar Report, May 19,2010.
- Louvel J., Gaudillat V. & Poncet L., 2013. EUNIS, European Nature Information System, Système d'information européen sur la nature. Classification des habitats. Traduction française. Habitats terrestres et d'eau douce. MNHN-DIREV-SPN, MEDDE, Paris, 289 p.
- Mahévas T., Werner J., Schneider C. & Schneider T. Liste rouge des bryophytes de Lorraine (Anthocérotes, Hépatiques, Mousses).
- Muller S., 2006. Les plantes protégées de Lorraine. Distribution, écologie, conservation. Parthénope collection, 376 p.
- Parc naturel régional du Doubs. Valoriser les lisières forestières, Informations sur les subventions cantonales et les prestations complémentaires du Parc du Doubs (document technique).

Parc Naturel régional de Lorraine, Charte 2015 – 2027 diagnostic territorial et rapport, avril 2012.

Parc Naturel régional de Lorraine, 2010. Fiche Recueil d'expériences sur la « Prise en compte de la trame verte et bleue dans les territoires de projet »

Schéma Régional de Cohérence Ecologique de Lorraine, Volume 2, Elaboration de la Trame verte et bleue, Septembre 2015.

Ouvrages de détermination

Lambinon J., De Langhe JE., Delvosalle L., Duvigneaud J., Nouvelle flore de la Belgique, du G.-D. de Luxembourg, du Nord de la France et des régions voisines, Quatrième Edition, Edition du Patrimoine du Jardin botanique national de Belgique, 1992. ISBN 90-72619-07-2

Atherton I., Bosanquet S., Lawley M., Mosses and Liverworts of Britain and Ireland A Field Guide. Published by British Bryological Society 848 pages, 2010, ISBN 978-0-9561310-1-0

Hugonnot V., Celle J., Pépin F. 2017. Mousses et hépatiques de France, manuel d'identification des espèces communes .2e édition, Biotope, Mèze, 320 pages.

Annexes

Annexe I : Références des murs étudiés

Stade associé	Commune	Identifiant	Identifiant simplifié
1	Lucey	LUCMPS20190506AH12	LUC12
	Rembercourt-sur-Mad	REMPMPS20190510AH08	REM08
	Pagny	PAGMPS20190509AH15	PAG15
2	Pagny	PAGMPS20190509AH16	PAG16
	Gorze	GORMPS20190502AH06	GOR06
	Pagny	PAGMPS20190509AH14	PAG14
3	Gorze	GORMPS20190502AH05	GOR05
	Onville	ONVMPS20190510AH03	ONV03
	Martincourt	MARMPS20190506AH13	MAR13
4	Lucey	LUCMPS20190419AH10	LUC10
	Novéant-sur-Moselle	NOVMPS20190621AH18	NOV18
	Novéant-sur-Moselle	NOVMPS20190621AH17	NOV17

Annexe II : Fiche d'inventaire des murs en pierre sèche élaborée par le Parc

Fiche terrain Inventaire murs en pierres sèches									
Observateur									
Date	Photos								
Identifiant									
Typologie	Mur > 50cm	séparation < 50cm							
	Muret < 50cm	séparation	soutènement						
Aménagements	Escalier								
			Porte	Autres					
Particularités descriptives									
Localisation Coordonnées GPS WGS84									
Situation	G	bord chemin agricole	bord route	bord d'eau	bord parcelle	milieu parcelle			
	D	bord sentier	bord route	bord d'eau	bord parcelle	milieu parcelle			
Le mur se situe principalement dans un milieu									
Occupation du sol / environnement	G	Boisé	en friche	en herbe	en vigne				
		en vergers	en culture	en mosaïque	en prairie				
		ouvert	fermé						
	D	Boisé	en friche	en herbe	en vigne				
	en vergers	en culture	en mosaïque	en prairie					
	ouvert	fermé							
Végétation	Arbres/arbuste dans mur		Beaucoup	peu	pas du tout				
	Lierre dans mur		Beaucoup	peu	pas du tout				
Présence de broussailles au pied du mur									
		G Beaucoup		peu		pas du tout		Entretenu	
		D Beaucoup		peu		pas du tout		Entretenu	
Structure générale mur									
		longueur		hauteur					
		non continu							
		peu nombreuses		longueur ruptures					
		conservé en partie		écroulé/traces					
		autre							
		moellon irrégulier		pierre de taille		Autre			
		opus incertum		opus quadratum		Autre/particularité			
		pierres sur champ		Autre/particularité					
		Insectes							
		Orpin/Sedum		mousse					
		1 - Fort		2 - Faible					
Menaces									
		Restauré en partie		jointoyé en partie		A restaurer			
Fonctionnalité									
Observations									

Annexe III Fiches d'inventaire (modifiées pour l'étude) complétées