

Rapport technique

—

Modélisation des enveloppes écologiques

I. Contexte

Dans l'objectif de cartographier les enjeux biologiques du réseau écologique de manière systématique sur l'entièreté du territoire wallon, il s'avère nécessaire de compléter la cartographie actuelle des biotopes issue des inventaires Natura 2000 (couvrant actuellement 13% du territoire). Nous avons alors décidé d'appliquer une approche de modélisation des biotopes pour basée sur la cartographie actuelle.

On aurait pu construire une approche "*knowledge driven*" en se basant sur ce qu'on connaît de l'écologie des biotopes pour construire des enveloppes théoriques. Cela suppose d'avoir une cartographie des variables écologiques de bonne qualité et une bonne connaissance des facteurs écologiques qui régissent la répartition des biotopes. Ces deux critères ne peuvent être garantis car les données de la carte des sols datent des années 60, qu'elle souffre d'hétérogénéité de règles de cartographie entre les planches et d'incompatibilités aussi avec d'autres sources d'informations comme le MNT. Par ailleurs, si on connaît assez bien la niche écologique théorique des biotopes, on ne peut être sûr de la manière dont les variables écologiques dont on dispose dans les bases de données sont de bons descripteurs des contraintes écologiques connues. Si la connaissance d'une moyenne générale théorique est correcte, on connaît mal aussi la qualité de leur capacité à prédire la relation "variables écologiques => biotopes" sur l'ensemble de la variation des paramètres écologiques de la Wallonie.

C'est pour cela que le choix s'est porté sur une approche "*data driven*" où on mobilise le jeu de données pour définir la relation "variables écologiques => biotopes" et évaluer dans quelle mesure on peut lui faire confiance pour les prédictions. Dans l'approche développée, on mobilise des informations à priori et on laisse ensuite les deux jeux de données s'exprimer. Cette modélisation est à la base de la cartographie des trames thématique du réseau écologique en dehors des sites déjà cartographiés. C'est sur base de cette modélisation que par exemple les données d'espèces vont pouvoir être attribués à la bonne trame pour produire les indicateurs biologiques nécessaires à la cartographie du réseau écologique.

Le présent rapport présente la méthodologie détaillée de modélisation des biotopes et ses résultats.

II. Le passage des VNP aux enveloppes écologiques

La notion d'enveloppes écologiques intègre les informations relatives aux contextes écologiques pour identifier des zones du territoire qui ont un fort potentiel d'accueillir des biotopes particuliers et une biodiversité spécifique, qui sont les enjeux de la structuration du réseau écologique.

Une première typologie a été réalisée avec le concept de « végétation naturelle potentielle » (VNP) publiée récemment dans *Ecological Modelling* ([Bourdouxhe et al, 2023](#)). Les VNP se basent sur la définition de contextes écologiques homogènes qui abritent les différents stades d'une **succession végétale** allant des milieux ouverts (pelouses calcaires) aux milieux forestiers (hêtraies calcaires) telles qu'elles sont définies notamment dans les cahiers d'habitats d'intérêt communautaire (Illustration 1).

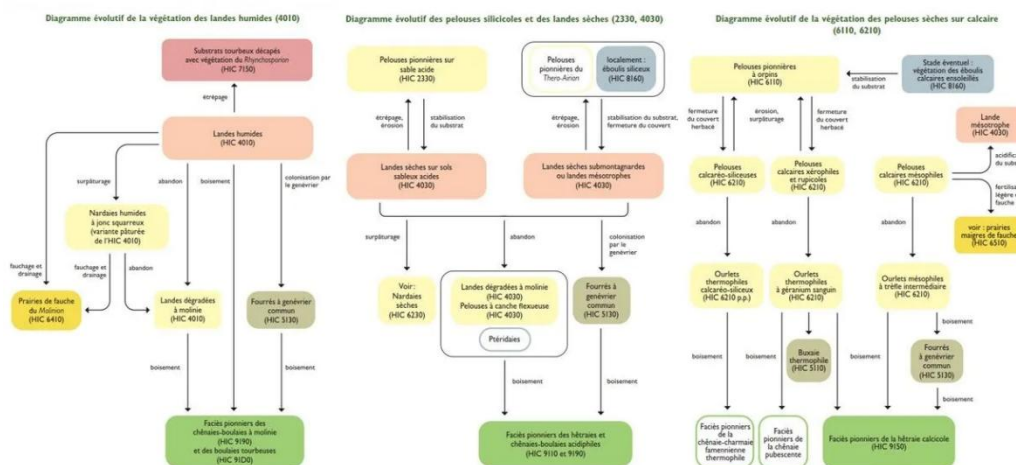


Illustration 1. Exemples de successions végétales qui servent de base à la définition des végétations naturelles potentielles (VNP) et aux enveloppes écologiques.

Les données de cartographie des biotopes Natura 2000 purs (un seul code WaLEUNIS) appartenant à une série de végétation sont sélectionnés pour servir à la modélisation de la série sur l'ensemble du territoire. Treize VNP ont ainsi été identifiées. Les résultats sont disponibles sur l'interface des écotopes (voir [modèle « habitats »](#) / Végétation) (Illustration 2).



Illustration 2. Cartographie dynamique des végétations naturelles potentielles.

Cette approche, qui cible d'abord les biotopes, s'est révélée performante mais avec des confusions potentielles entre certains biotopes dues à la rareté de certaines VNP cartographiées avec des biotopes uniques, au fait qu'un biotope EUNIS unique peut couvrir différents contextes écologiques (d'après les données écologiques) et aux données écologiques trop limitées pour bien cerner certaines VNP.

La seconde approche proposée est plutôt partie des données écologiques que des biotopes pour définir des « **enveloppes écologiques** » qui rassemblent différents biotopes souvent associés dans le même contexte écologique, en permettant à certains biotopes (bas-marais, aulnaies, ...) d'occuper plusieurs contextes de manière à donner une priorité aux variables écologiques. L'objectif était aussi d'élargir les données de référence mobilisées en intégrant aussi les complexes d'habitats comme base de référence.

L'expérience acquise lors de la définition VNP a permis de synthétiser ces enveloppes en trois catégories :

- les **milieux très humides** (tourbières, bas-marais, landes humides, prairies alluviales et forêts associées)
- les **milieux intermédiaires** (prairies mésophiles HNV, prés de fauche, forêts mésophiles associées)
- les **milieux très secs** (pelouses calcaires, landes acides, rochers et milieux forestiers associés)

La typologie est présentée à l'**Illustration 3** dans la partie introductive. Chaque enveloppe est destinée à accueillir deux « trames écologiques de base » concernant respectivement les milieux ouverts d'un côté et les milieux forestiers de l'autre là où les usages et l'occupation du sol est cohérente avec le développement de la biodiversité pour être intégrée dans le réseau

écologique. Ces enveloppes sont aussi utilisées pour identifier les zones à restaurer pour augmenter la surface et/ou la connectivité des trames écologiques.

Enveloppes écologiques	Couvert majoritaire	Trames thématiques naturelles terrestres (Niveau 2)
BTO : Boulaies tourbeuses	Herbacé	BTO_O : Tourbières et bas-marais acides
	Arboré	BTO_F : Boulaies tourbeuses
CBM : Chênaies boulaies à molinie	Herbacé	CBM_O : Landes humides et prairies humides oligotrophes
	Arboré	CBM_F : Chênaies boulaies à molinie
ALL : Forêts alluviales	Herbacé	ALL_O : Milieux ouverts humides de fond de vallée
	Arboré	ALL_F : Forêts alluviales et marécageuses
FFR : Forêts fraîches	Herbacé	FFR_O : Prairies hygroclines
	Arboré	FFR_F : Forêts feuillues hygroclines
FMM : Forêts mésophiles ¹	Arboré	FMx_F : Forêts mésophiles sur sols secs à frais
FRH : Forêts de ravin hygrosclaphiles	Arboré	FRH_F : Forêts de ravins hygrosclaphiles
FSx : Forêts sur sols secs acides	Herbacé	FSx_O : Milieux ouverts acides secs
	Arboré	FSx_F : Chênaies acides sèches
HCC : Hêtraies chênaies calcaires	Herbacé	HCC_O : Pelouses et rochers calcaires
	Arboré	HCC_F : Hêtraies et chênaies calcicoles

Illustration 3. Tableau de correspondance entre les enveloppes écologiques modélisées et les trames thématiques définies, sur base du type de couvert.

L'enveloppe des milieux tourbeux se sépare donc en trame « BTO_O » pour les tourbières et en trame « BTO_F » pour les boulaies tourbeuses. Les trames définies à ce niveau sont les éléments de base du réseau écologique qui vont pouvoir être assemblées les unes aux autres en fonction des enjeux écologiques pour former des trames de niveaux supérieurs.

Les enveloppes couvrent l'ensemble du territoire wallon et sont définies uniquement en fonction des variables écologiques, sans tenir compte de l'occupation et des usages du sol, et en ne mobilisant que les polygones avec des données écologiques suffisantes.

¹ Comme cette enveloppe écologique correspondant à des conditions moins extrêmes couvrent plus de 80% du territoire wallon, elle peut être subdivisée en "FMH" pour identifier les zones les plus humides ("Forêts mésophiles sur sols frais" avec un niveau hydrique ≤ 3 couvrant 200.000 ha), en "FMS" pour les zones les plus sèches ("Forêts mésophiles sur sols frais" avec un niveau hydrique ≥ 7 couvrant 125.000 ha) et en "FMM" pour les zones médianes ("Forêts mésophiles" avec un niveau hydrique > 3 et < 7 couvrant 1.000.000 ha).

Comme on sait que la carte des sols - qui date des années 60 - et les produits qui en sont dérivés ne sont pas à jour et que les conditions écologiques locales ont été largement modifiées par les activités humaines comme le drainage pour les zones humides ou aussi l'évolution climatique, le principe est d'utiliser la cartographie des biotopes réalisée par le DEMNA dans et en dehors les sites Natura 2000, de croiser cette information avec les variables écologiques retenues pour construire un modèle qui sera, après validation, généralisé ensuite à l'ensemble du territoire (Illustration 4).

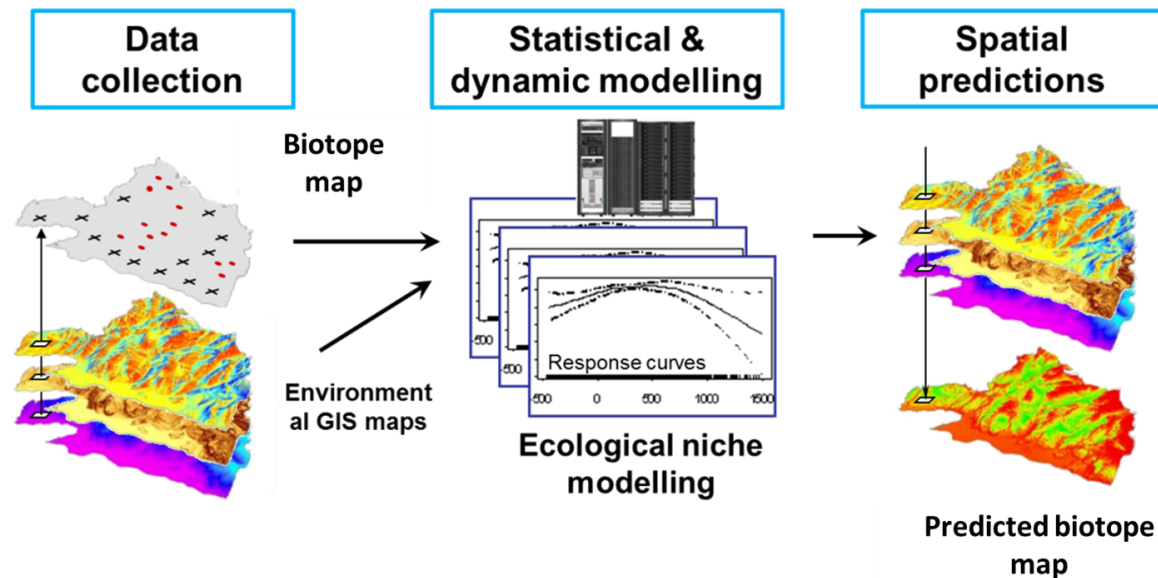


Illustration 4. Tableau de correspondance entre les enveloppes écologiques modélisées et les trames thématiques définies, sur base du type de couvert (adapté de Maes et al. 2015 Workshop Species Distribution Modelling. Lifewatch project).

Si l'approche développée pour les VNP s'était limitée à n'utiliser que les polygones de biotopes de référence précis des 14 successions végétales et qui n'utilisent pas de complexes de codes WalEUNIS décrivant la végétation, comme le concept des enveloppes écologiques est plus synthétique (8 catégories définies plutôt sur base de conditions écologiques), on a mobilisé l'ensemble des données cartographiques qui signalent la présence d'un biotope cible pour couvrir la plus grande amplitude de la niche écologique des biotopes.

III. Méthodologie

Le choix des critères de sélection se base sur la répartition des biotopes cartographiés dans les sites Natura 2000 dans les contextes écologiques marginaux (CEM) complétés par les niveaux hydriques et trophiques et les résultats des VNP.

Plusieurs itérations ont été nécessaires pour améliorer au mieux la performance de prédiction des biotopes. La dernière version combine les critères suivants :

- L'enveloppe **BTO** des milieux tourbeux est ainsi limitée aux CEM tourbeux (A_Tour) et paratourbeux (B_Pto) car les biotopes cibles (tourbières hautes [D1.11], tourbières tremblantes [D2.3], tourbières dégradées [D1.12], boulaies tourbeuses [G1.51]) y sont souvent associés.
- L'enveloppe **CBM** aux CEM paratourbeux (B_Pto) et d'argiles blanches (C_Hum) en restant pour certains biotopes (landes humides et landes dégradées [F4.1], nardaies paratourbeuses [E3.52], pré de fauche humides [E3.41], chênaies-boulaies à molinies [G1.81 et G1.911a] avec un niveau trophique ≤ 2 (acide), un niveau hydrique ≤ 3 (très humide) et une présence minimale dans la VPN correspondante.
- L'enveloppe **FAL** va prendre en compte pour les mégaphorbiaies [5.41 et E5.42] et les aulnaies alluviales [G1.2] qui occupent plusieurs CEM (D_Alh, D_All et E_Ale) pour prendre en compte les sols alluviaux de la carte des sols ou, prendre en compte les aléas d'inondations les plus intenses qui ont un niveau trophique ≥ 2 (riche) et un niveau hydrique ≤ 3 (très humide).
- L'enveloppe **FFR** des forêts fraîches neutrophiles cible les prés de fauche humides [E3.51], les hêtraies neutrophiles [G1.63], chênaies-charmaies fameniennes schisteuses [G1.A15a], chênaies-frênaies [G1.A1b/d], chênaies-charmaies [G1.A1a/c] sur sols frais et riche hors contexte alluvial en combinant la CEM (M_NMh), un niveau hydrique entre 2 et 5 (frais) inclus et un niveau trophique entre 2 et 3 inclus tout en étant en aléa d'inondation très faible.
- L'enveloppe **FRH** des érablières de ravins [G1.A4] et d'autres milieux forestiers associés sur les pentes froides (CEM H_PFF et H_PeF) qui avaient été identifiées comme VNP FRH. Des modèles différents ont été définis pour l'Ardenne et les régions calcaires mais cela n'a pas réellement améliorer la qualité de la prédiction.
- L'enveloppe **FSx** des milieux secs acides a nécessité une analyse par région biogéographique. Après plusieurs essais infructueux pour tenter de maximiser l'identification des landes sèches [F4.2], landes sablonneuses [E1.9], pelouses [E1.1] et milieux forestiers sur sable, sols superficiels acides, ... on a finalement sélectionné un seuil de niveau hydrique ≥ 6 et des conditions écologiques particulières (présence de sable, ...) pour définir cette enveloppe. En région limoneuse, sillon Sambro-Mosan et en Lorraine (**FSS**), ce sont les zones de sable avec un niveau trophique ≤ 3.0 et un niveau hydrique ≥ 7 (très sec) qui ont été ciblées pour conserver au mieux les landes sur sable cartographiées dans les sites Natura 2000. En Condroz, Ardenne et Haute-Ardenne (**FSA**), ce sont les pentes chaudes (I_PFC et I_PeC) ainsi que les sols superficiels (J_SSp et J_Sup) ou la présence la VNP CAT avec un niveau trophique ≤ 2.5 (acide) et un niveau hydrique ≥ 7 (très sec) qui ont été ciblés. En Fagne-Famenne-Calestienne et en Condroz (**FSF**), ce sont les mêmes paramètres mais avec des VNP CCF et CCXF qui sont ciblés. Cette enveloppe générique correspond donc à des conditions particulières à chacune des régions biogéographiques. Elle ne prend en compte que les landes sèches qui sont dans les conditions les plus extrêmes car les landes sèches peuvent être aussi observées dans des conditions écologiques moins extrêmes.
- L'enveloppe **HCC** des milieux secs calcaires mobilise les pelouses calcaires [E1.1 et 1.2], éboulis calcaires [H2.6], buxaias [F3.12], fourrés de genévriers [F3.16], fourrés thermophiles calcaires [F3.1b], chênaies pubescentes [G1.7], hêtraies calcicoles [G1.66] et chênaies-charmaies subatlantiques calcicoles [G1.A17] qui sont sur des pentes

chaudes (I_PFC et I_PeC) ainsi que les sols superficiels (J_SSp et J_Sup) ou sont identifiés dans la VNP HCC mais avec toujours un niveau trophique ≥ 3 et un niveau hydrique ≥ 7 .

Pour chacune de ces enveloppes aux conditions écologiques extrêmes caractéristiques, on sélectionne les polygones qui correspondent aux critères et, grâce à une **analyse discriminante**, on obtient une sélection de polygones sur l'ensemble du territoire qui correspondent aux mêmes critères écologiques. Là où on dispose d'une cartographie précise, l'analyse discriminante définit la combinaison des variables écologiques qui permettent de bien séparer les biotopes pour identifier comme étant ceux de l'enveloppe par rapport à tous les autres. Cette fonction discriminante est ensuite appliquée à l'ensemble du territoire wallon pour identifier les polygones qui relèvent de l'enveloppe recherchée.

On a fait le choix de réaliser une analyse discriminante par enveloppe plutôt que de faire une analyse discriminante globale pour permettre une superposition théorique des enveloppes vu l'importance de complexes de biotopes dans les données de cartographie de terrain.

IV. Résultats

Les résultats se sont révélés performants et les définitions ont été complétées par d'autres règles comme la prise en compte de VNP ou de conditions écologiques particulières (aléa d'inondations, sols très humides ou au contraire très secs, correction pour les carrières, ...) pour améliorer encore la qualité de la modélisation.

L'analyse a aussi révélé que l'enveloppe "**FFM**" des forêts mésophiles était assez hétérogène avec des polygones assez humides et assez secs. Elle a donc été subdivisée pour les analyses en une "enveloppe mésophile humide" (**FMH**) qui rassemble les FMM avec un niveau hydrique ≤ 3 (très humide) et une "enveloppe mésophile sèche" (**FMS**) qui rassemble les FMM avec un niveau hydrique ≥ 7 (très secs).

Ces deux enveloppes complémentaires permettent d'identifier des zones intermédiaires qui pourront être mobilisées dans la suite du processus si nécessaire.

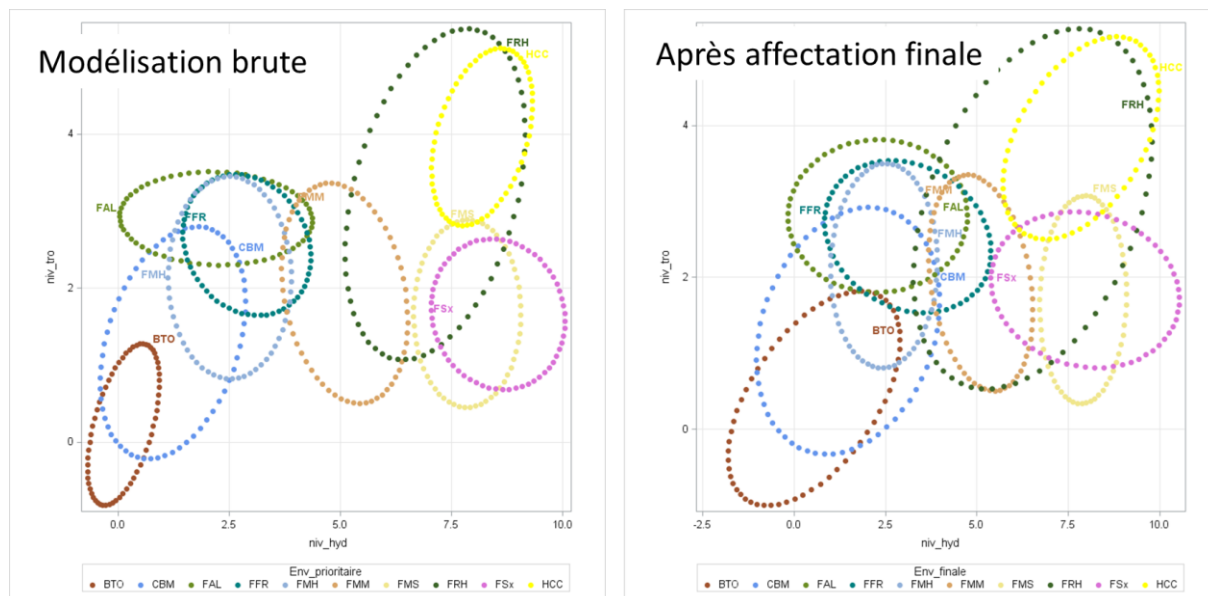


Illustration 4. Diagramme écologique des enveloppes (ellipses à 80% de probabilité) juste après la modélisation et après les affectations directes et indirectes définies sur base de la cartographie des biotopes qui a été demandée par le DEMNA pour garder une cohérence avec la cartographie Natura 2000. Si les ellipses sont bien dissociées sur base de l'analyse écologique, on observe un élargissement de plusieurs niches écologiques comme celle des tourbières (BTO), des prairies alluviales (FAL), des forêts de ravins (FRH) qui étaient déjà la plus grande alors que c'est la trame écologique la plus rare (2.600 ha) ou encore celles des milieux acides et secs (FSx) qui occupe aussi une faible surface (2.800 ha).

Le bilan des analyses discriminantes est très bon pour les biotopes adaptés aux contextes écologiques extrêmes puisque pour la grande majorité d'entre eux comme les tourbières et les boulaies tourbeuses, les pelouses calcaires, les hêtraies calcicoles, les mégaphorbiaies et les forêts alluviales, les landes humides, **plus de 70 voire 80% de surface sont bien modélisés** dans les enveloppes attendues.

Pour certains biotopes par contre, comme les forêts de ravins, les chênaies-boulaies à molinies ou les forêts acides sèches, les modèles de prédiction sont moins bons. Cette moindre performance peut être expliquée par des données écologiques qui ne sont pas à jour ou comme pour les forêts de ravins, la contrainte de la modélisation des VNP réalisée sur des biotopes purs qui n'exploite qu'une partie de la niche écologique réalisée. Le fait que moins de la moitié des chênaies-boulaies soit prédite dans l'enveloppe CBM et que plus d'un quart soit présente dans l'enveloppe mésophile montre sans doute que l'utilisation des complexes est sans doute trop large et qu'elle étend la niche écologique calculée en dehors de celle qui est réalisée et où, on observe surtout de manière cohérente la majorité des landes humides et milieux associés.

Si l'utilisation de complexes facilite la cartographie de terrain, elle perturbe la qualité de la relation "données écologiques => biotopes". Il n'est pas rare que des polygones forestiers sur bon sols avec des sources ou des tâches d'hydromorphie ponctuelle ou dont les limites suivent le réseau viaire plutôt que des limites de pentes en bas de versant font qu'un complexe de hêtraies acidophiles (a priori sur bons sols) sera combiné à une aulnaie marécageuse (à priori en zone de source) ou une chênaie-boulaie à molinies (à priori sur argiles blanches) ou à une aulnaie alluviale (à priori sur sols alluviaux). Si les différents contextes écologiques sont bien cartographiés, le modèle construit va affecter la hêtraie et le biotope humide aux différents contextes présents, ce qui va détériorer la qualité de la relation de prédiction. Et comme les méthodes de modélisation sont très puissantes, elles essaient d'expliquer l'ensemble de la variance observée ce qui peut entraîner des distorsions dans les modèles.²

² Ces limites de l'usage de complexes ont été signalées lors de la première partie du projet pour que la cartographie de terrain vérifie si les cartes de contextes écologiques ne peuvent pas être aussi utilisées pour délimiter des polygones qui assurent la cohérence entre la végétation observée et son contexte écologique, si pertinent.

Répartition des biotopes cartographiés par le DEMNA dans les enveloppes retenues après l'analyse discriminante											
Nom des biotopes	Enveloppe prioritaire										Total
	BTO	CBM	FAL	FFR	FMH	FMM	FMS	FRH	FSx	HCC	
C1. Eaux stagnantes	7.19	2.19	24.85	2.52	32.08	29.23	1.35	0.01	0.08	0.50	1888.4
C2. Eaux courantes	1.26	2.53	55.55	0.30	10.88	26.72	2.61	0.08	0.06	0.02	2227.1
C3. Végétation aquatique	10.53	0.90	47.31	14.10	12.47	13.24	1.42	-	0.02	-	934.2
D1.11 Tourbières hautes (7110*)	95.97	1.64	0.46	-	0.91	0.99	-	-	0.03	-	376.7
D1.12 Tourbières dégradées (7120)	91.10	6.89	0.96	-	0.30	0.72	0.03	-	-	-	3219.2
D2. Tourbières de vallées (HIR-7140)	45.88	35.04	11.76	0.15	1.93	5.09	0.14	-	0.01	-	3518.0
D4.1 Tourbières alcalines (7230)	43.41	-	50.83	-	5.00	0.77	-	-	-	-	25.7
D5. Magnocaricaies/Roselières	17.93	9.05	61.90	3.05	3.74	3.98	0.34	-	0.01	-	1177.5
E1.11 Pelouses sèches sur calcaire (6110*)	-	-	0.51	1.73	3.78	18.01	14.33	2.39	10.70	48.55	158.9
E1.12 Pelouses sèches sable calcaire (6120*)	2.60	0.01	20.65	9.26	6.30	43.28	17.78	-	0.12	-	110.9
E1.2 Pelouses calcaires (6210*)	-	-	0.29	1.55	1.36	10.35	7.03	0.76	3.45	75.21	640.7
E1.7 Nardaies (6230*)	3.24	14.21	8.78	1.34	9.14	59.74	3.11	-	0.28	0.16	902.7
E1.9 Pelouses sur sable (2330)	0.51	2.67	1.23	2.01	20.31	48.20	24.33	0.02	0.66	0.06	199.7
E1.8 Pelouses calaminaires (6130)	-	0.29	0.44	1.99	5.49	35.18	45.78	1.15	4.21	5.48	125.4
E2.1 Prairies HNV	1.57	12.93	29.70	11.86	9.69	25.26	7.13	0.02	0.39	1.43	5399.5
E2.1 Prairies intensives	0.31	1.75	27.63	20.59	9.73	31.94	5.68	0.02	0.17	2.17	25839.6
E2.2 Prés de fauche collinéaires (6510)	0.14	1.47	14.32	22.55	6.88	37.58	11.75	0.01	0.31	5.00	8929.0
E2.3 Prés de fauche montagnards (6520)	1.24	11.94	5.77	0.86	5.01	62.11	13.04	-	0.03	-	1054.6
E3.4 Prairies humides	5.56	16.75	52.08	7.03	7.65	9.84	0.96	-	0.03	0.10	3411.4
E3.5 Prairies humides oligotrophes (6410)	1.92	6.59	32.21	38.29	8.68	6.56	3.56	-	0.50	1.69	445.7
E3.52 Nardaies paratourbeuses (4010)	23.06	48.14	15.91	-	1.89	11.00	-	-	-	-	45.6
E5.2 Ourlets forestiers	0.29	0.47	6.09	3.19	4.46	46.17	8.88	0.30	-	30.16	44.1
E5.3 Pteridaies	4.27	22.80	3.70	0.18	8.50	52.51	7.60	-	0.41	0.04	1057.0
E5.4 Mégaphorbiaies (6430)	5.42	1.97	79.55	3.15	3.15	5.51	1.13	0.01	0.06	0.04	3582.7
E5.6 Végétations rudérales	2.24	1.07	26.31	23.81	13.21	24.18	6.06	0.26	0.16	2.70	1362.9
F3.12 Buxaies (5110)	-	-	0.84	0.02	0.31	5.57	8.72	4.90	5.88	73.75	57.1
F3.16 Genevrières (5130)	3.93	33.47	0.18	-	3.82	8.99	1.85	-	0.32	47.44	20.6
F3.x Autres fourrés	1.96	6.39	18.35	9.29	7.96	25.83	14.32	0.41	2.15	13.34	3113.9
F4.1 Landes humides (4010)	24.57	64.28	2.23	0.02	1.95	6.70	0.23	-	0.01	-	5630.9
F4.2 Landes sèches (4030)	14.81	29.36	1.64	0.38	5.88	41.51	6.05	0.06	0.30	0.02	1889.1
F9.1-G1. Forêts alluviales (91E0*)	6.18	1.83	68.16	1.37	7.61	12.93	1.46	0.23	0.14	0.08	5359.9
F9.1-G1.52 Forêts marécageuses (HIR)	21.88	26.85	35.30	2.40	6.69	6.45	0.42	-	0.01	0.01	2272.6
G1. Forêts de ravins (9180*)	0.01	0.28	3.00	0.07	1.60	28.61	16.57	34.81	2.06	12.98	1980.0
G1. Hétraies-chênaies acidophiles (9110-9120)	0.15	2.72	1.63	1.42	7.98	70.94	13.29	0.61	1.11	0.14	92765.5
G1. Hétraies-chênaies calcicoles (9150)	-	-	0.67	0.64	0.30	17.24	4.86	3.87	0.98	71.44	8935.9
G1. Hétraies-chênaies neutrophiles (9130)	0.08	0.04	3.74	13.72	7.67	49.73	15.86	1.64	1.07	6.48	27060.6
G1.5 Boulaies tourbeuses (91D0*)	84.59	2.01	6.06	0.04	1.89	5.13	0.27	-	0.02	-	1300.2
G1.81 Chênaies-boulaies molinies (9190)	6.66	47.86	5.42	0.56	9.52	25.97	3.93	0.01	0.07	-	2418.2
G1.87b Chênaies acido conti. thermo. (HIR)	-	0.05	0.66	0.55	0.43	15.42	35.91	5.13	40.35	1.51	284.0
G1.9 Forêts de colonisation	7.56	16.35	12.38	4.56	9.02	37.68	10.25	0.44	0.65	1.10	13110.8
G1.A Forêts hydroclines (9160)	0.30	1.01	9.21	47.50	5.20	17.59	16.29	0.14	1.67	1.10	18733.9
G1.A15b Chênaies-Char. fam. Xérophiles (9180)	-	-	1.16	6.25	3.39	21.38	29.08	0.69	34.76	3.28	275.5
G1.C Feuillux exotiques/artificiels	2.03	5.53	15.08	8.81	12.13	35.27	17.88	0.24	0.93	2.10	2077.2
G1.C1 Chênes exotiques	0.12	0.44	3.03	8.57	8.19	52.78	25.38	0.16	0.75	0.58	1219.2
G1.C1 Peupleraies	4.62	0.12	52.81	9.96	10.51	19.42	2.18	0.11	0.06	0.22	2324.6
G1.x Autres forêts	1.17	4.08	16.01	10.68	6.96	40.09	11.85	1.57	0.75	6.84	2451.2
G3.F Autres résineux	0.05	3.88	4.34	9.14	22.24	52.51	6.23	-	0.34	1.27	747.3
G3.Fa Résineux - alluvial	3.31	3.72	56.24	1.11	9.20	23.19	2.75	0.17	0.20	0.12	1817.9
G3.Fb Résineux - humides	12.65	52.56	3.32	4.36	9.02	16.80	1.19	0.02	0.03	0.05	9228.0
G3.Fc Résineux - secs	0.54	5.03	2.98	3.34	7.66	61.94	12.74	0.43	0.59	4.75	27088.2
G4.F Forêts mixtes	5.56	9.98	4.84	8.62	6.74	40.18	13.25	0.59	0.96	9.25	5530.1
G5.1 Alignements d'arbres	1.43	1.44	45.39	4.93	8.32	28.76	6.34	0.07	0.17	3.14	196.8
G5.6 Jeunes stades naturels	14.68	15.39	9.87	4.06	6.08	39.51	6.78	0.89	0.32	2.42	3641.6
G5.7 Jeunes stades plantations	2.54	8.67	7.00	6.34	7.32	55.68	9.28	0.29	0.31	2.57	4933.9
G5.8 Coupes à blanc	6.35	13.20	14.61	5.14	7.31	41.21	8.41	0.61	0.56	2.60	6214.7
H2.3 Eboulis rochers siliceux (8150)	0.04	-	1.52	-	1.89	29.61	29.74	12.27	23.11	1.82	50.9
H2.6 Eboulis rochers calcaires (8160*)	-	-	0.65	7.64	3.20	28.93	5.25	8.61	7.94	37.78	33.7
H3.1 Végétation rochers siliceux (8220)	0.08	0.03	2.07	0.07	0.75	46.66	20.90	12.64	14.76	2.04	250.1
H3.2 Végétation rochers calcaires (8210)	-	-	0.17	0.21	0.88	8.17	9.56	15.89	4.71	60.41	189.0
H3.4 Falaises intérieures suintantes	-	-	3.87	-	-	25.06	21.09	39.45	10.52	-	5.0
H3.5 Dalles rocheuses	-	0.04	1.11	1.49	2.69	28.24	21.65	3.91	7.38	33.49	34.9
Total	4.13	7.35	12.08	8.58	7.79	44.41	10.01	0.75	0.80	4.10	
	14340.0	25520.8	41954.0	29790.4	27062.8	154194.4	34748.8	2595.0	2771.7	14218.3	347196.2

Illustration 5. Tableau des proportions des biotopes Natura 2000 cartographiés dans les différentes enveloppes. Les surfaces indiquées ici tiennent compte des complexes puisqu'il y a 235.000 ha cartographiés.

Les landes sèches sont très mal prédites, d'une part parce qu'elles occupent une large gamme d'enveloppes différentes (dans l'ordre décroissant : FMM, CBM, BTO, FMS, FMH) avec même quasi aucune lande sèche dans l'enveloppe FSx qui cible les conditions écologiques très sèches et très acides. A la demande du DEMNA, cette enveloppe cible prioritairement les zones identifiées par la VPN "CAT" des forêts acidophiles thermophiles. Cette enveloppe FSx modélisée n'occupe toutefois qu'une surface très restreinte dans les sites Natura 2000 (2.700 ha) et si les critères étaient moins extrêmes, l'enveloppe serait plus large, et d'autres landes sèches seraient certainement incluses.

C'est aussi un biotope avec très peu d'espèces indicatrices. Ce biotope résulte en fait plus des activités humaines que d'enveloppes écologiques et comme il est généralement très pauvre en espèces avec une espèce dominante (*Calluna vulgaris*) qui a une très large amplitude écologique tant que les conditions écologiques sont acides, il n'est pas possible dans l'état actuel d'identifier une enveloppe spécifique. On signalera notamment que plus d'un quart des surfaces de landes sèches cartographiées sont identifiées dans des écosystèmes tourbeux.

Lors des modélisations, plus de 100.000 ha ont été exclus car on ne dispose pas d'informations sur la carte des sols. Ce sont majoritairement des zones urbanisées ou industrielles mais il y a aussi des zones naturelles comme des parties de camps militaires. Toutes ces zones sont identifiées dans une enveloppe "XXX". Tous les polygones qui n'ont pas été retenus dans une des enveloppes modélisées et identifiés dans l'enveloppe "XXX" sont placés dans l'enveloppe FMx des "Forêts mésophiles" qui se décline en 3 parties en fonction du gradient d'humidité (FMH, FMM, FMS).

Une grande partie des enjeux écologiques pour les trames extrêmes sont déjà pris en compte dans les sites Natura 2000 mais, comme le montre l'**Illustration 6**, mais il reste encore des zones potentiellement intéressantes non-identifiées.

Env_prioritaire	Non cartographié	Cartographié	Surface (ha)
BTO	18.32	81.68	9430.4
CBM	64.31	35.69	40972.7
FAL	70.73	29.27	99861.4
FFR	73.87	26.13	85370.4
FMH	89.59	10.41	185416.9
FMM	88.23	11.77	954298.1
FMS	82.12	17.88	135789.2
FRH	30.77	69.23	2423.3
FSx	61.40	38.60	4803.2
HCC	67.99	32.01	31581.5
XXX	92.35	7.65	105389.8
Wallonie	84.81	15.19	1655336.9

Illustration 6. Tableau des proportions de zones qui sont cartographiées ou non pour les différentes enveloppes modélisées (Env_prioritaire). Si globalement, 15% de la Wallonie est cartographié (où le réseau Natura 2000 est largement majoritaire), on remarque que les enveloppes extrêmes y sont plus fréquentes même s'il reste encore des biotopes potentiellement intéressants en dehors des zones cartographiées.

Ce sont ces surfaces inconnues avec un potentiel biologique significatif qui sont ainsi identifiées avec les enveloppes modélisées (**Illustration 7**). Il reste encore de l'ordre de 1.600 ha de zones tourbeuses, plus de 25.000 ha de zones humides, près de 60.000 ha de zones alluviales, 3.000 ha de zones très sèches acides et 20.000 ha de zones sèches calcaires, soit plus de 120.000 ha.

Si une partie d'entre elles montrent des occupations du sol favorables ou compatibles ("Feuillus" = 22.000 ha, "OuverNat" = 6.000 ha et dans une moindre mesure "Prairies" = "38.000 ha", les occupations du sol incompatibles concernent 17.000 ha de cultures (dont 12.000 ha dans l'enveloppe "ALL" des vallées alluviales humides), près de 19.000 ha de plantations de résineux (dont 14.000 ha dans l'enveloppe "CBM" des milieux humides hors contexte alluvial) et près de 3.000 ha de zones urbanisées.

Biotopes non cartographiés (typologie Ecotopes)	BTO	CBM	FAL	FFR	FMH	FMM	FMS	FRH	FSx	HCC	XXX	Total (ha)
Cultures	15.9	244.8	12 443.2	23 600.3	53 621.5	293 845.6	21 779.7	-	216.6	4 065.1	2 621.6	412454.0
Feuillus	459.1	1 934.2	12 319.5	7 980.7	22 538.9	101 694.7	26 524.4	470.9	1 352.1	6 234.9	10 791.9	192301.1
Forêts jeunes	217.9	3 788.1	1 768.7	728.9	3 932.5	33 582.1	4 155.0	16.6	138.5	340.5	677.7	49346.6
EauxSurf	29.6	24.5	1 463.8	30.0	1 270.5	3 975.1	700.8	5.0	3.5	11.7	522.2	8036.6
OuverNat	67.4	443.6	918.4	233.4	781.9	2 115.6	414.6	4.1	22.7	128.7	717.2	5847.6
Prairies	197.4	4 914.2	25 604.2	21 529.9	43 746.7	212 086.7	31 511.5	5.4	525.8	6 720.2	9 009.0	355850.9
Resineux	585.0	13 953.3	2 551.4	1 319.6	10 997.4	110 321.2	13 159.8	95.2	391.9	1 252.5	981.6	155608.8
SolNu	0.6	5.2	72.2	59.2	296.1	1 690.7	232.2	97.8	29.4	318.7	1 150.3	3952.2
Urbanise	30.7	223.1	2 154.0	2 020.8	9 296.9	22 312.5	2 774.0	10.7	25.9	374.1	35 959.0	75181.8
Divers	152.2	967.3	11 589.6	5 666.7	19 934.7	61 011.4	10 345.9	41.5	246.7	2 042.0	35 010.5	147008.2
Total (ha)	1755.8	26498.3	70885.0	63169.5	166417.1	842635.6	111597.9	747.2	2953.1	21488.4	97441.0	1405587.8

Illustration 7. Surface des occupations du sol dérivées des écotopes là où on ne dispose pas de cartographie détaillée croisées avec les enveloppes modélisées. Des surfaces significatives de cultures intensives et de plantations résineuses occupent des conditions écologiques extrêmes qui ont a priori un bon potentiel de restauration.

V. Conclusions

L'approche "Data driven" s'est montrée très efficace pour la majorité des enveloppes écologiques extrêmes. Cette efficacité se traduit par une bonne proportion de biotopes qui peuvent être affectés à une enveloppe tout en occupant des surfaces les plus limitées possibles. Les enveloppes BTO, CBM, FAL, FFR et HC sont bien prédites, avec des relations "variables écologiques => biotopes" cohérentes. Les enveloppes FRH et FSx sont cependant peu capable de récupérer l'ensemble des biotopes attendus parce qu'elles sont définies de manière très exigeante. Cela ne peut pas dire qu'elles sont inefficaces mais plutôt qu'elles ne couvrent qu'une partie de la niche écologique des biotopes.

Plus de **120.000 ha de zones avec un potentiel biologique intéressant** sont ainsi identifiées dans les enveloppes écologiquement extrêmes en dehors des zones connues. Sur les zones écologiquement moins extrêmes comme les FMx, des biotopes potentiellement intéressants sont aussi identifiés, majoritairement dans les forêts feuillues.