



LIFE19/NAT/FR/000828

A1a Cartographie des éléments de la continuité et analyse de la connectivité

PORTÉ PAR



FINANCÉ PAR



Auteure – Anaëlle FABE

Structure – ADASEA 32

Crédit Photo

Relecture – Aurélie BELVEZE

Date 2024

RESUME EN ANGLAIS

This study presents the mapping of continuity elements and analyzes the connectivity of Agro-Pastoral Open Environments (APOE) as part of the LIFE Coteaux Gascons project. Three analysis methods are used : Fragstats for landscape heterogeneity, graph theory with Graphab for ecological connectivity, and landscape fragmentation analysis with Fragscape. These analyses reveal the complexity of the territory, marked by dispersed landscape units fragmented by anthropogenic pressure and varying soil characteristics, more or less acidic or calcareous soils in some regions.

Human activity, particularly in the Armagnac area, imposes significant constraints on local ecosystems, transforming wet meadows into poplar and corn plantations, and dry meadows into vineyards or large-scale crops. This landscape transformation aggravates fragmentation, notably along National Road 124.

Fragmentation analysis identifies key sectors to be preserve. Some are already recognized as biodiversity reservoirs, requiring special attention, while others play a crucial role in the ecological connectivity of the territory.

Therefore, a strategic approach with three levels of priority is adopted to target necessary interventions, highlighting the urgency of intervening in degraded areas to restore fragile ecosystems and preserve biodiversity. This strategy aims to maximize the positive impact of the LIFE Coteaux Gascons project on nature preservation and the sustainability of local ecosystems.

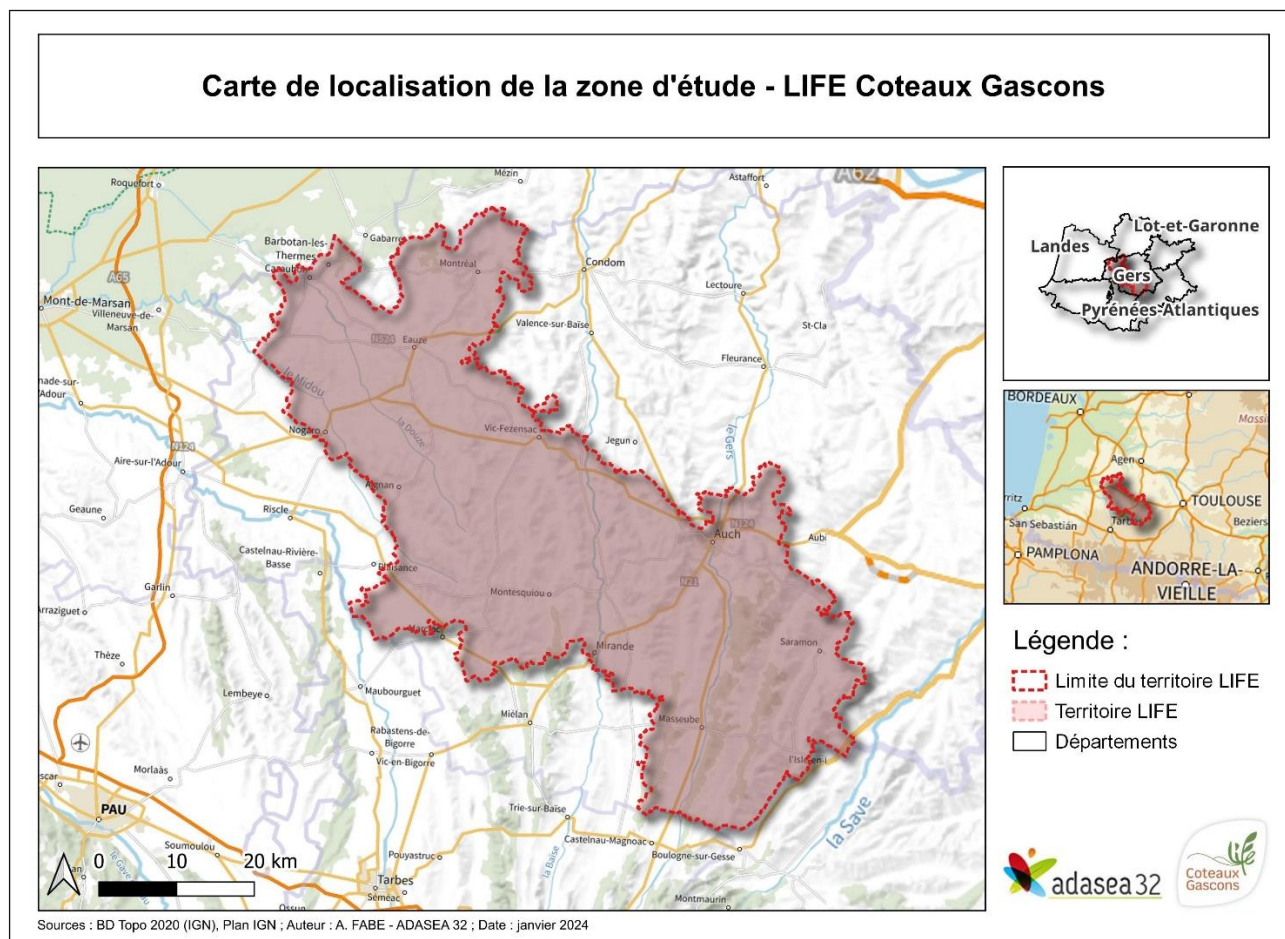
TABLE DES MATIERES

I.	Matériel et méthodes	5
A.	Etat des lieux des données intégrables sur le territoire	5
1)	L'occupation du sol à grande échelle	6
2)	Le registre parcellaire graphique.....	7
3)	Identification des milieux agropastoraux	8
B.	Création de la cartographie de l'occupation du sol détaillée	15
C.	Mise en place d'une méthodologie reproductible à partir de modélisations	17
1)	Introduction aux réservoirs de biodiversité et corridors écologiques	17
2)	Modéliser l'hétérogénéité spatiale d'un paysage avec FRAGSTATS	19
3)	Modéliser les réseaux écologiques et mesurer la connectivité paysagère avec GRAPHAB	23
4)	Modéliser la fragmentation du paysage avec FRAGSCAPE	26
II.	Résultats	28
A.	Analyse des données cartographiques des milieux agropastoraux sur le territoire	28
1)	Analyse générale.....	28
2)	La Politique Agricole Commune (PAC)	31
B.	Analyse de l'hétérogénéité du paysage.....	32
C.	Analyse de la capacité d'accueil et des chemins de moindres couts	34
D.	Analyse de la fragmentation du paysage.....	36
E.	Identification des réservoirs de biodiversité complémentaires	37
F.	Identification des corridors complémentaires	38
III.	Bibliographie	40
IV.	Annexes	40
V.	Atlas cartographique.....	46

I. MATERIEL ET METHODES

A. ETAT DES LIEUX DES DONNEES INTEGRABLES SUR LE TERRITOIRE

Le territoire du LIFE Coteaux Gascons s'étend sur 259 757 ha dans le département du Gers sur 163 communes (Carte 1).



Carte 1 : Localisation de la zone d'étude
Source : A. FABE (ADASEA 32)

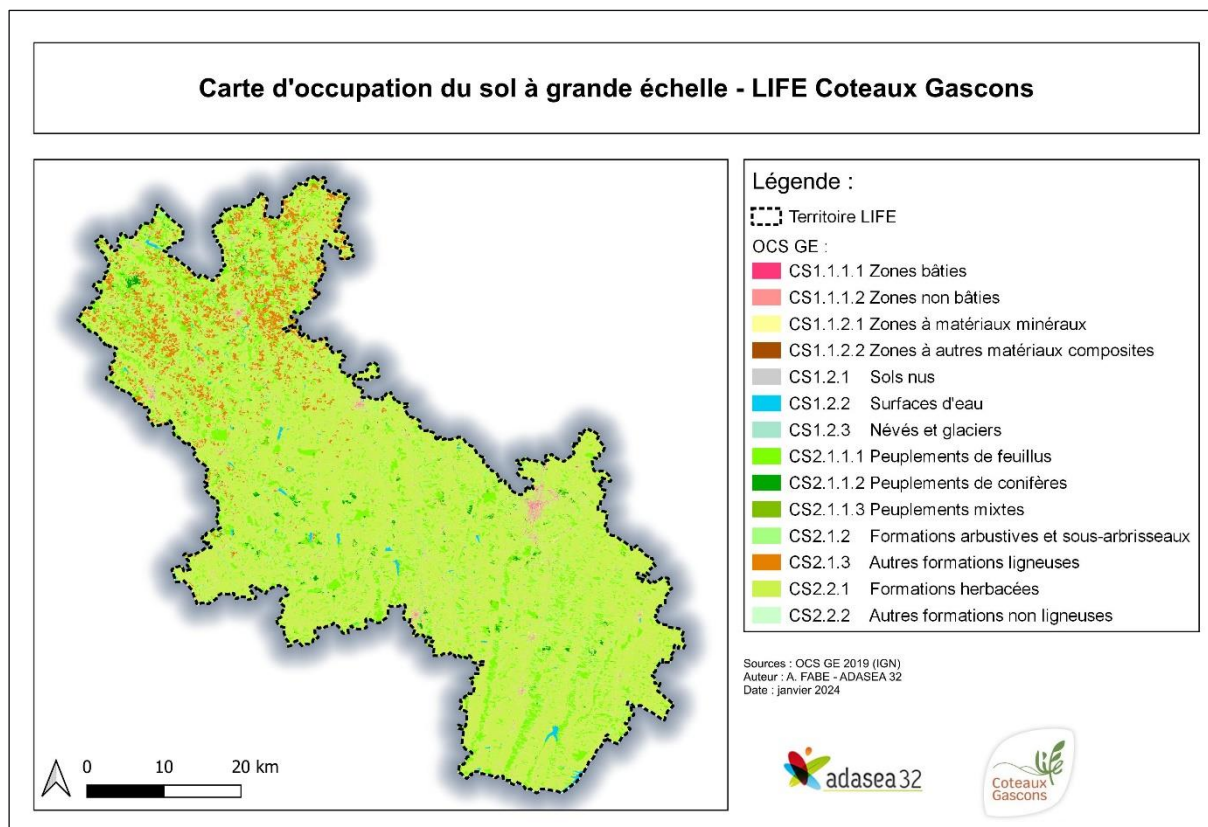
L'ADASEA du Gers a à sa disposition plusieurs données d'occupation du sol sur le territoire LIFE Coteaux Gascons :

- Données cartographiques du SRCE : réservoirs de biodiversité surfaciques et corridors écologiques surfaciques et linéaires,
- Occupation du sol à grande échelle (OCS GE) de 2019 de l'IGN,
- Occupation du sol agricole du Registre parcellaire Graphique (RPG) de 2022 d'Occitanie de l'Agence de Services et de Paiements (ASP),
- Cours d'eau et tronçons hydrographiques de la BD TOPO® 2020,
- Compilation de l'ensemble des milieux humides cartographiés par l'ADASEA 32, Gwern CATZH du Gers, cizi 2012
- Orthophotographies de la BD ORTHO® 2022 et 1999.

Afin d'être le plus précis possible sur l'identification des éléments de continuité, il est important de bien choisir les données d'occupation du sol. Les données doivent être récentes, homogènes et précises sur l'ensemble du territoire.

1) L'occupation du sol à grande échelle

Dans cette étude, les données d'occupation du sol choisies sont l'OCS GE de 2019 de l'IGN à l'échelle du 1/5000^{ème}. A savoir que le SRCE de Midi-Pyrénées a été réalisé à partir de la couche cartographique Corine Land Cover de 2012 à l'échelle du 1/100000^{ème}, soit à une échelle beaucoup moins précise.



Carte 2 : L'occupation du sol à grande échelle
Source : A. FABE (ADASEA 32)

Une zone tampon de 100m autour de la zone d'étude est indispensable pour éviter les effets de bordure sur les rasters dans l'analyse éco-paysagère. De nombreux calculs d'indices se basent sur l'étude des plus proches voisins donc pour obtenir une analyse cohérente jusqu'aux limites du territoire étudié, il est nécessaire de prendre en compte une étendue plus large.

De plus, il est possible de regrouper certaines sous-trames. Les occupations « peuplements de feuillus », « peuplements de conifères », « peuplements mixtes » et « formations arbustives et sous-arbrisseaux » de l'OCS GE sont fusionnées en « sous-trame milieux boisés ». Le regroupement « zones bâties », « zones non bâties », « zones à matériaux minéraux », « zones à autres matériaux composites » et « sols nus » quant à lui représente la « sous-trame milieux urbanisés ».

D'autre part, l'occupation du sol à grande échelle n'a pas une nomenclature suffisamment détaillée pour permettre de cartographier les éléments de la continuité écologique du territoire. Il est ainsi nécessaire de retravailler certaines sous-trames avec l'ajout de plusieurs données cartographiques.

2) Le registre parcellaire graphique

Certaines sous-trames de l'OCS GE comme les « formations herbacées » CS2.2.1 qui comprennent les pelouses, les prairies, les cultures, les parcs et jardins... sont à retravailler. Ces habitats sont importants à discerner étant donné leur degré d'anthropisation et ainsi de fragmentation.

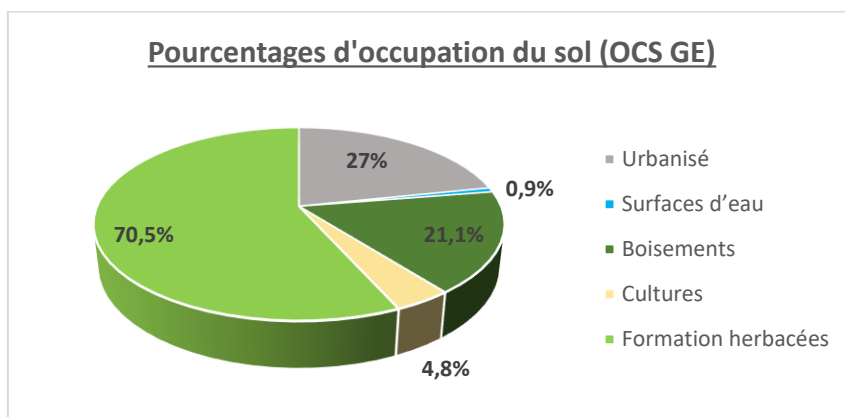
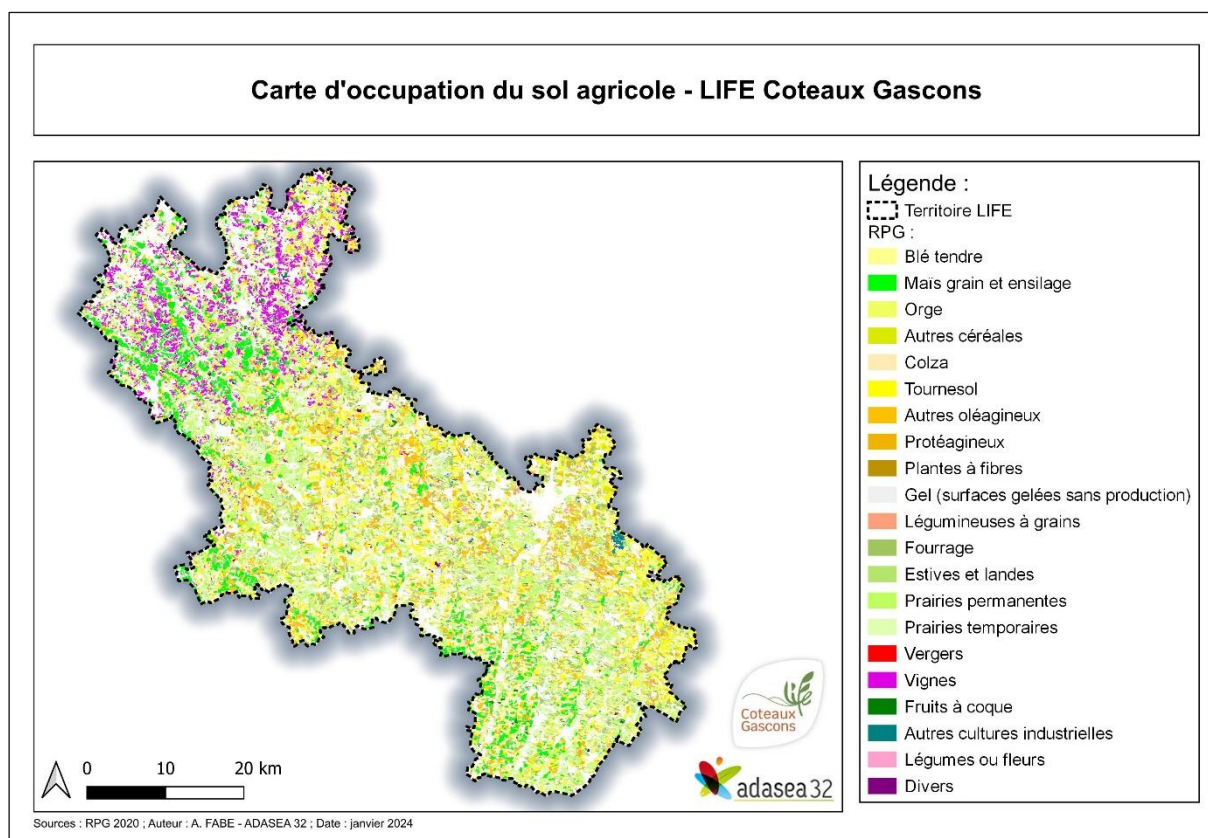


Figure 1 : Pourcentages de l'OCS GE
Source : A. FABE (ADASEA 32)

De plus, cette nomenclature représente 70% de l'occupation du sol sur le territoire LIFE. C'est pourquoi, les données du RPG de l'ASP de 2022 y sont superposées et permettront d'ajouter les prairies permanentes et temporaires, les cultures, les bandes enherbées, les pelouses sèches...



Carte 3 : L'occupation du sol agricole
Source : A. FABE (ADASEA 32)

3) Identification des milieux agropastoraux

a. Les données utilisées

Afin d'identifier au mieux les milieux ouverts agro-pastoraux, une des étapes est d'analyser les différentes données déjà disponibles pouvant permettre d'identifier ces milieux plus facilement. Certaines données comprennent des informations sur la couverture et/ou l'usage du sol, constituant une base de référence pour ensuite identifier les MOAP. C'est notamment le cas de l'OCSGE, mais également du RPG.

De plus, une autre méthode plus innovante, a également été utilisée. Cette partie consiste donc à analyser, par des avantages et des inconvénients, la pertinence de ces données pouvant potentiellement servir de base pour l'identification des MOAP.

• OCSGE (Occupation du Sol à Grande Echelle)

Cette base de données vectorielles est un modèle en deux dimensions définissant une couverture (CODE_CS) ainsi qu'un usage du sol (CODE_US).

Avantages :

- Disponibilité de la donnée sur tout le département du Gers (donc le projet LIFE)
- Double dimension de chaque polygone pour caractériser spécifiquement un espace

Limites d'usages :

- Certains espaces, à priori hétérogènes, sont parfois regroupés en un seul et même habitat selon l'OCSGE
- Le millésime commence à dater (2019)

• RPG (Registre Parcellaire Graphique)

Le RPG est une base de données géographiques contenant les données des parcelles et îlots munis de leur culture principale. Le RPG permet donc de localiser et connaître certaines caractéristiques des parcelles des exploitants agricoles ayant déposé une déclaration en vue d'une aide de la PAC.

Avantages :

- Le découpage au niveau de l'espace agricole est nettement plus précis que celle opérée par l'OCSGE
- La mise à jour est annuelle
- Les différents codes de culture proposés par la PAC permettent de distinguer notamment les prairies permanentes, temporaires, des cultures de légumineuses ou de céréales. Cela permet donc de discriminer certains codes cultures afin de ne garder que ceux susceptibles de correspondre à des milieux ouverts agro-pastoraux.

Limites d'usages :

- Le type de culture étant directement renseigné par l'exploitant, il s'agit d'une déclaration et non pas un constat terrain par une structure certifiée.
- Il peut manquer des surfaces agricoles, celles non déclarées afin de recevoir des aides de la PAC
- Certaines parcelles peuvent être déclarées une année, et l'année d'après ne plus être déclarées pour diverses raisons (évolution d'aides, projet d'aménagement...)
- Le dessin des parcelles est réalisé par l'exploitant lui-même. Les limites des polygones peuvent donc quelquefois se superposer à d'autres couches cartographiques ou ne pas correspondre précisément lorsque l'on compare à une image satellite ou aérienne.

- **L'occupation du sol par Théia**

THEIA est un pôle de données et de services ayant pour vocation de faciliter l'usage des images issues de l'observation des surfaces continentales depuis l'espace. Ce pôle met à disposition des données d'occupation du sol. Les images sont des images satellitaires optiques multi-temporelles à haute résolution spatiale comprise entre 10 et 20m. Ces données sont disponibles en libre accès, en deux formats (raster et vecteur) et couvrent l'ensemble du territoire métropolitain français. Pour les années 2018 et 2019, la résolution des images est de 10m et l'occupation du sol est déclinée en 23 classes. On y retrouve des classes relatives aux cultures, aux forêts, aux formations naturelles basses, à l'urbain, aux surfaces minérales et aux glaciers et l'eau.

Pour le projet LIFE, les occupations du sol définies par Théia semblaient être pertinentes puisque des classes relatives aux prairies, aux pelouses ainsi qu'aux landes ligneuses sont identifiées. De plus, les images satellites, acquises par le satellite Sentinel-2, étant des images optiques, la couverture nuageuse peut avoir un impact significatif sur la fréquence d'acquisition des images le long d'une année. C'est pourquoi la capacité de revisite de ce satellite est de 5 jours, ce qui permet d'avoir sur une année une multitude d'images et donc éviter d'avoir des images non exploitables du fait de la couverture nuageuse. Aussi, l'acquisition sur toute une année permet de distinguer les occupations du sol pouvant changer en fonction de la saisonnalité, notamment les cultures d'hivers ou d'été, qui en fonction de la saison, ne renvoient pas le même signal de réflectance au satellite.

Avantages :

- Fréquence de production des données annuelle
- Résolution spatiale fine : 10m
- Produit disponible chaque année depuis 2017
- Acquisition et accessibilité de la donnée gratuite

Limites d'usages :

- L'une des principales limites, lorsque l'on sélectionne que les classes pouvant être identifiées comme des MOAP (classe 13 prairies, classe 18 pelouses, classe 19 landes ligneuses), ce sont les surfaces qui ne sont pas aussi précises en termes de délimitation que peut l'être le RPG, voir même l'OCSGE.



Figure 2 : Comparaison des polygones Théia et RPG ; Source : ADASEA 32

La figure 2 montre un polygone issu de la production d'occupation du sol par Théia en 2019 ayant la classe 13, relative aux prairies. On s'aperçoit que la classification d'un espace en tant que prairie englobe un espace beaucoup trop important où on retrouve d'autres cultures via le RPG.

Aux vues de l'objectif d'identification des MOAP, les données relatives au RPG ont semblé donc les plus pertinentes. Cependant, un tri au niveau des données a été opéré et certaines données de l'OCSGE ont également été mobilisées pour ce travail d'identification.

b. Photo-interprétation et analyse cartographique

L'identification des MOAP se base ainsi sur la couche du RPG de l'année 2020 à la suite des déclarations agricoles de 2019. Les codes cultures relatifs au RPG étant nombreux, les codes retenus sont :

Codes Cultures RPG	
BOP	Bois pâturé (prairie herbacée sous couvert d'arbres)
J5M	Jachère de 5 ans ou moins
J6P	Jachères de 6 ans ou plus
J6S	Jachère de 6 ans ou plus déclarée comme SIE
PPH	Prairie permanente – herbe (ressources fourragères ligneuses absentes ou peu présentes)
PRL	Prairie en rotation longue (6 ans ou plus)
PTR	Autre prairie temporaire de 5 ans ou moins
SNE	Surface agricole temporairement non exploitée
SPH	Surface pastorale – herbe prédominante et ressources fourragères ligneuses présentes
SPL	Surface pastorale – ressources fourragères ligneuses prédominantes

A cela se rajoute des informations provenant de la couche de l'OCSGE. Le but est alors de compléter les espaces vides relatifs aux MOAP par des polygones de l'OCSGE susceptibles d'être identifiés comme des prairies, landes ou pelouses. Pour cela, des codes d'usage et de couverture du sol combinés spécifiques sont retenus.

Afin de comprendre au mieux les codes retenus, voici ci-dessous la nomenclature de l'OCSGE pour l'usage et la couverture du sol :

Couverture du sol									
CS1. Sans végétation					CS2. Avec végétation				
CS1.1 Surfaces anthropisées		CS1.2 Surfaces naturelles			CS2.1 Végétation ligneuse		CS2.2 Végétation non ligneuse		
CS1.1.1 Zones imperméables	CS1.1.2 Zones perméables	CS1.2.1 Sols nus (sable, pierres meubles, rochers saillants...)	CS1.2.2 Surfaces d'eau (continentale et maritime)	CS1.2.3 Névés et glaciers	CS2.1.1 Formations arborées	CS2.1.2 Formations arbustives et sous-arbrisseaux (landes basses, formations arbustives, formations arbustives organisées...)	CS2.1.3 Autres formations ligneuses (vignes et autres lianes)	CS2.2.1 Formations herbacées (pelouses et prairies, terres arables, roselières...)	CS2.2.2 Autres formations non ligneuses (lichen, mousse, bananiers ...)
CS1.1.1.1 Zones bâties (routes, places, parking...)	CS1.1.1.2 Zones non bâties (pierre-ardoise, vides, forêts, pistes forestières, chemins empiérrés, chantiers, carrières, salines...)				CS2.1.1.1 Peuplement de feuillus CS2.1.1.2 Peuplement de conifères CS2.1.1.3 Peuplement mixte				

Usage du sol	US1. Production primaire	US1.1 Agriculture	
		US1.2 Sylviculture	
		US1.3 Activités d'extraction	
		US1.4 Pêche et aquaculture	
		US1.5 Autre	
	US235 Production secondaire, tertiaire et usage résidentiel (regroupement des US2, US3 et US5 de la nomenclature nationale)		
	US4. Réseaux de transport logistiques et infrastructures	US4.1 Réseaux de transport	US4.1.1 Routier
			US4.1.2 Ferré
			US4.1.3 Aérien
			US4.1.4 Fluvial et maritime
			US4.1.5 Autres réseaux de transport
		US4.2 Services logistiques et de stockage	
		US4.3 Réseaux d'utilité publique	
	US6 Autre usage	US6.1 Zones en transition	
		US6.2 Zones abandonnées	
		US6.3 Sans usage	
		US6.4 Usage Inconnu	

Certaines couvertures du sol, en fonction de l'usage qui en est fait, peuvent être assimilés à des prairies, landes ou pelouses. On arrive donc à la sélection suivante :

CODE_CS	CODE_US
CS2.1.1.1 CS2.1.1.2 CS2.1.1.3	US1.1
	US1.2 (dont surface < 3ha)
	US6.3
CS2.1.2	US1.1
	US1.2
	US6.3
CS2.2.1	US1.1 (dont surface < 3ha)
	US6.3

Les formations arborées retenues ne doivent pas être assimilées au code US1.2 (sylviculture) puisque le but n'est pas d'identifier les MOAP comme des espaces où une exploitation forestière est présente. Le code CS2.1.2, correspondant aux formations arbustives et sous-arbrisseaux (landes basses) ainsi que le code CS2.2.1 correspondants aux formations herbacées (pelouses et prairies) sont les deux codes les plus importants et pouvant apporter des informations précieuses quant à l'identification des MOAP.

Pour la suite, on crée une couche « moap_life » à partir de la couche RPG précédemment créée avec les codes cultures correspondant. On ajoute également différents champs dans la table attributaire afin de renseigner le type de MOAP et d'où provient la source de la photo-interprétation.

c. Les réservoirs de biodiversité du SRCE revus par l'ADASEA

Au départ 33 réservoirs de « milieux ouverts » ont été identifiés dans le cadre du SRCE. Un premier travail a consisté à créer une couche de réservoirs spécifiques au LIFE Coteaux Gascons en croisant avec la cartographie des MOAP à l'échelle du territoire, afin d'ajuster le travail de cartographie et par conséquent l'accompagnement technique et financier prévus dans les actions de conservation.

La méthode a consisté à passer en revue l'ensemble des réservoirs SRCE en :

- supprimant ceux qui ne comportaient pas ou peu de milieux ouverts agro-pastoraux,
- adaptant le contour en fonction de la présence et de la densité des milieux,
- créant des nouveaux réservoirs sur les secteurs à fortes densité de MOAP situés au croisement des corridors écologiques du SRCE.

Enfin, les réservoirs sont numérotés selon la logique suivante : numéro croissant de l'Est vers l'Ouest et du Nord au Sud.

Tableau de synthèse des opérations effectuées sur les réservoirs de biodiversité

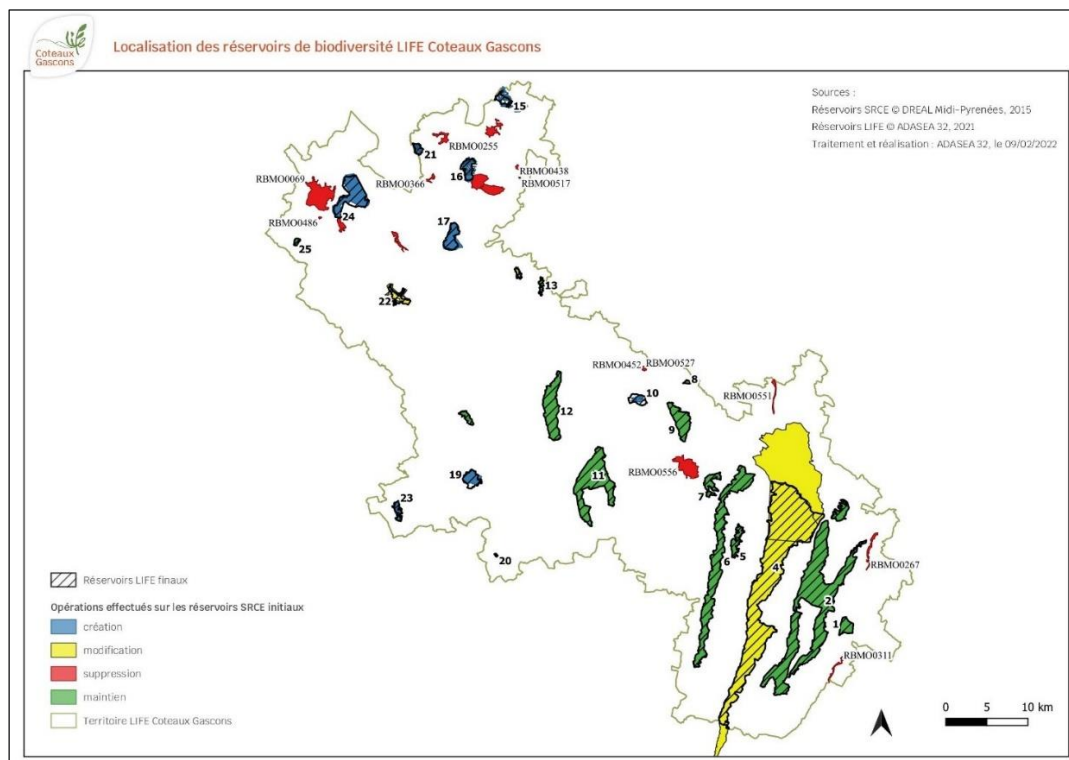
Opération effectuée	Nombre de modifications
Adaptation du contour : agrandissement	5
Adaptation du contour : diminution de la taille	1
Création	8
Pas de modification	11
Suppression	16

En termes de surface, la surface des réservoirs est plus faible. En effet, la surface des 33 réservoirs de biodiversité SRCE est de 28 702,85 ha contre 23 732,62 ha pour les 25 réservoirs de biodiversité du LIFE Coteaux Gascons.

Tableau détaillé des opérations effectuées par réservoir

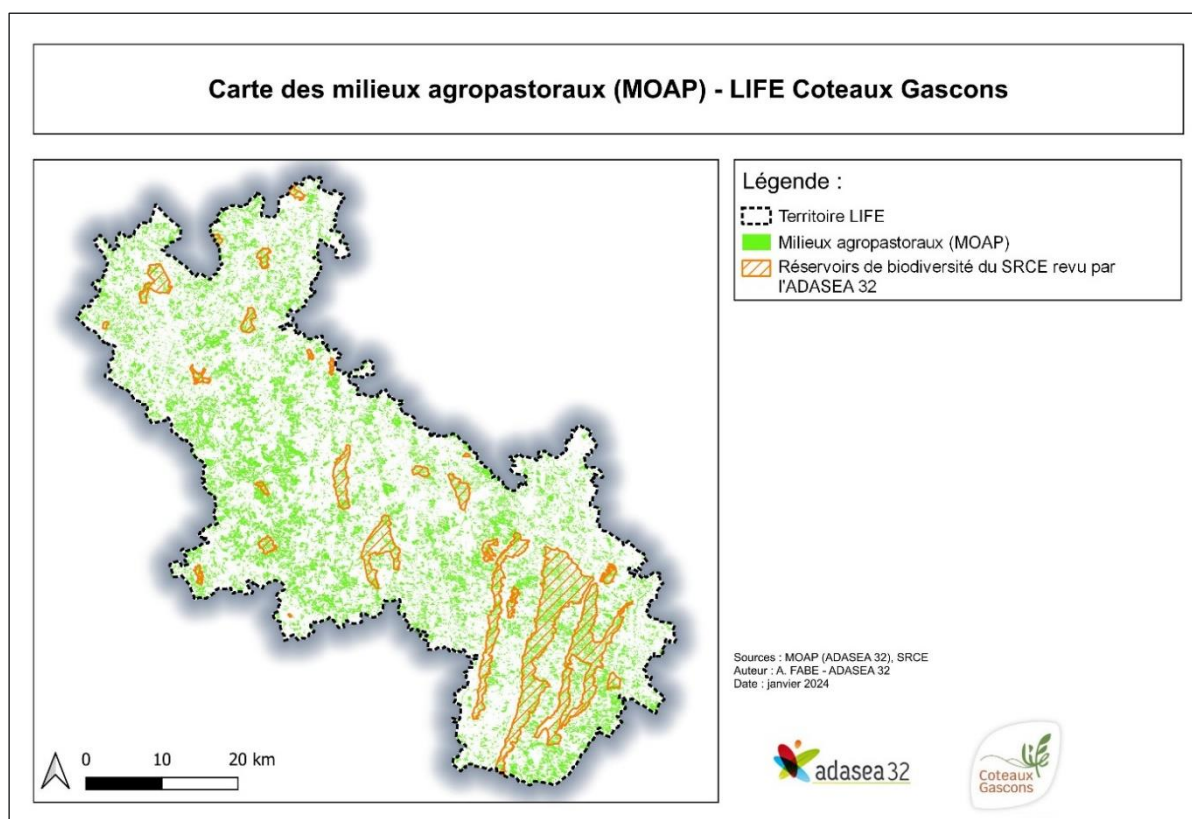
Identifiant réservoir SRCE	Identifiant réservoir LIFE Coteaux Gascons	Opération effectuée	Commentaires
RBMO0146	1	Pas de modification	
RBMO0016	2	Pas de modification	
RBMO0138	3	Pas de modification	
RBMO0007	4	Adaptation du contour : diminution de la taille	Suppression de la partie Sud hors territoire + au Nord autour d'Auch + peu de MOAP dans ce secteur dont certains déjà promis à urbanisation
RBMO0136	5	Pas de modification	
RBMO0028	6	Pas de modification	
RBMO0132	7	Pas de modification	
RBMO0397	8	Pas de modification	
RBMO0078	9	Pas de modification	
	10	Création	Forte présence de MOAP
RBMO0036	11	Pas de modification	
RBMO0055	12	Pas de modification	
RBMO0280	13	Adaptation du contour : agrandissement	Prise en compte des MOAP intersectant le contour
RBMO0347	14	Adaptation du contour : agrandissement	Prise en compte des MOAP intersectant le contour
	15	Création	Forte présence de MOAP
	16	Création	Forte présence de MOAP
	17	Création	Forte présence de MOAP
RBMO0268	18	Adaptation du contour : agrandissement	Prise en compte des MOAP intersectant le contour
	19	Création	Forte présence de MOAP
RBMO0478	20	Pas de modification	

	21	Création	Forte présence de MOAP
RBMO0554	22	Adaptation du contour : agrandissement	Prise en compte des MOAP intersectant le contour
	23	Création	Forte présence de MOAP
	24	Création	Forte présence de MOAP
RBMO0419	25	Adaptation du contour : agrandissement	Prise en compte des MOAP intersectant le contour
RBMO0069	/	Suppression	Réservoir avec peu de MOAP, principalement bois (dont plantation), vignes et cultures
RBMO0210	/	Suppression	Réservoir avec peu de MOAP, principalement bois (dont plantation), vignes et cultures
RBMO0255	/	Suppression	Réservoir avec principalement du bois et des étangs
RBMO0267	/	Suppression	Petit réservoir de prairies inondables déjà suivi par la Cellule d'Assistance Technique à la gestion des Zones Humides
RBMO0272	/	Suppression	Réservoir avec peu de MOAP, principalement bois (dont plantation)
RBMO0279	/	Suppression	Réservoir avec principalement du bois et des étangs, déjà suivi par la Cellule d'Assistance Technique à la gestion des Zones Humides
RBMO0311	/	Suppression	Petit réservoir de prairies inondables déjà suivi par la Cellule d'Assistance Technique à la gestion des Zones Humides
RBMO0366	/	Suppression	Petit réservoir avec peu de MOAP, principalement bois
RBMO0438	/	Suppression	Ancienne carrière dans un contexte de grandes cultures
RBMO0486	/	Suppression	Réservoir avec principalement du bois et des étangs
RBMO0517	/	Suppression	Petit réservoir Ancienne carrière dans un contexte de grandes cultures
RBMO0452	/	Suppression	Petit réservoir avec état photo- interprété dégradé
RBMO0527	/	Suppression	Petit réservoir avec état photo- interprété dégradé
RBMO0551	/	Suppression	Petit réservoir de prairies inondables déjà suivi par la Cellule d'Assistance Technique à la gestion des Zones Humides
RBMO0555	/	Suppression	Réservoir avec peu de MOAP, principalement cultures et vignes
RBMO0556	/	Suppression	Réservoir avec un grand lac, beaucoup de cultures et de bois, MOAP de pelouses photo-interprété en état dégradé



Carte 4 : Localisation des réservoirs de biodiversité LIFE Coteaux Gascons
 Source : ADASEA 32

Pour finir, un travail de vérification terrain et d'analyse de l'état d'embroussaillage des MOAP est réalisé sur les réservoirs de biodiversité LIFE Coteaux Gascons.



Carte 5 : Les milieux agropastoraux (MOAP)
 Source : A. FABE (ADASEA 32)

B. CREATION DE LA CARTOGRAPHIE DE L'OCCUPATION DU SOL DETAILLEE

A partir de ces trois couches cartographiques (OCS GE, RPG et MOAP), une nouvelle couche d'occupation du sol détaillée est créée et sera utilisée comme données d'entrée pour les différentes modélisations. Un code « Classe » est ajouté pour identifier les différentes sous-trames :

- Sous-trame milieux urbanisés (Classe = 1)
- Sous-trame milieux aquatiques (Classe = 2)
- Sous-trame milieux boisés (Classe = 3)
- Sous-trame milieux herbacés anthropisés (Classe = 4)
- Sous-trame cultures (Classe = 5)
- Sous-trame milieux agropastoraux (Classe = 6)

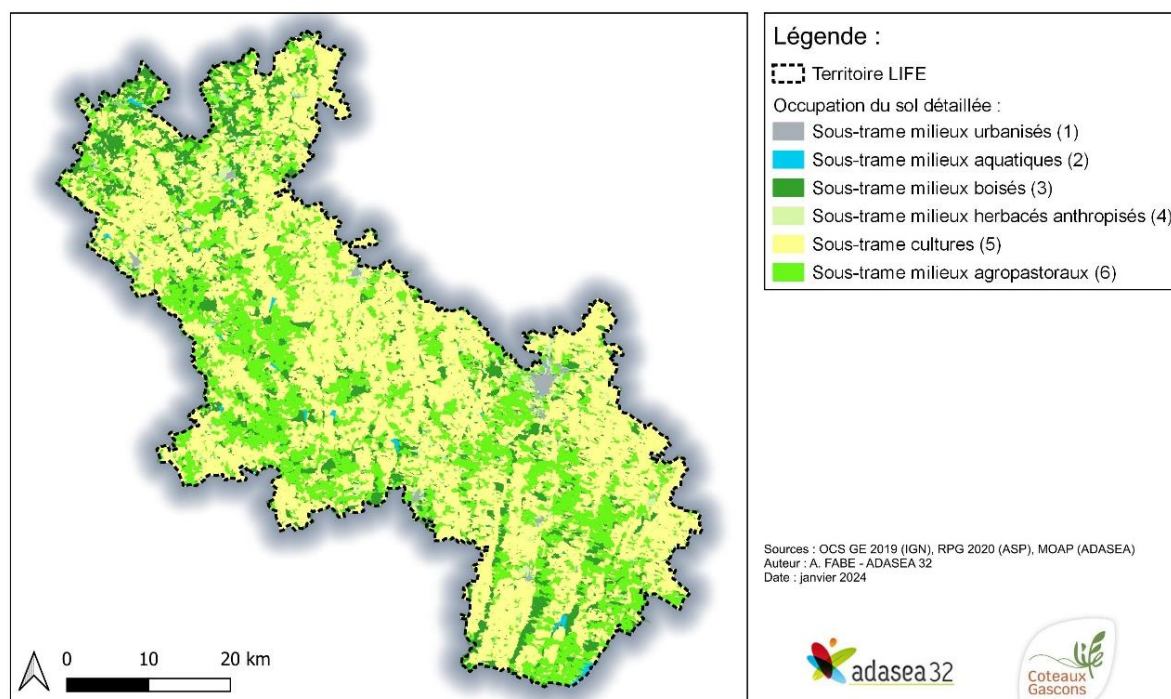
Il est important de fusionner ces données en format raster pour ne pas avoir de chevauchement de polygones et ainsi des erreurs de géométrie. Les données de sortie sont en 20m de résolution pour ne pas trop alourdir les traitements et rester cohérent avec les échelles des données d'entrée utilisées.

Tableau des codes de la nouvelle couche d'occupation du sol détaillée :

Code	Base de données	Légende	Sous-trame	Nouveau code
CS1.1.1.1	OCS GE 2019	Zones bâties	Sous-trame milieux urbanisés	1
CS1.1.1.2	OCS GE 2019	Zones non bâties (routes, places, parking...)	Sous-trame milieux urbanisés	1
CS1.1.2.1	OCS GE 2019	Zones à matériaux minéraux (pierre-terre, voies ferrées, pistes forestières, chemins empierrés, chantiers, carrières, salines...)	Sous-trame milieux urbanisés	1
CS1.1.2.2	OCS GE 2019	Zones à autres matériaux composites (décharge...)	Sous-trame milieux urbanisés	1
CS1.2.1	OCS GE 2019	Sols nus (sables, pierres meubles, rochers saillants...)	Sous-trame milieux urbanisés	1
CS1.2.2	OCS GE 2019	Surfaces d'eau (continentale et maritime)	Sous-trame milieux aquatiques	2
CS2.1.1.1	OCS GE 2019	Peuplements de feuillus : Forêts	Sous-trame milieux boisés	3
CS2.1.1.2	OCS GE 2019	Peuplements de conifères : Forêts	Sous-trame milieux boisés	3
CS2.1.1.3	OCS GE 2019	Peuplements mixtes : Forêts	Sous-trame milieux boisés	3
CS2.1.2	OCS GE 2019	Formations arbustives et sous-arbrisseaux (landes basses, formations arbustives organisées...)	Sous-trame milieux boisés	3
CS2.1.3	OCS GE 2019	Autres formations ligneuses (vignes et autres lianes)	Sous-trame cultures	5
CS2.2.1	OCS GE 2019	Formation herbacées	Sous-trame milieux herbacés anthropisés	4
CODE_GROUPE = 1	RPG 2022	Blé tendre	Sous-trame cultures	5
CODE_GROUPE = 2	RPG 2022	Maïs grain et ensilage	Sous-trame cultures	5
CODE_GROUPE = 3	RPG 2022	Orge	Sous-trame cultures	5
CODE_GROUPE = 4	RPG 2022	Autres céréales	Sous-trame cultures	5
CODE_GROUPE = 5	RPG 2022	Colza	Sous-trame cultures	5
CODE_GROUPE = 6	RPG 2022	Tournesol	Sous-trame cultures	5
CODE_GROUPE = 7	RPG 2022	Autres oléagineux	Sous-trame cultures	5
CODE_GROUPE = 8	RPG 2022	Protéagineux	Sous-trame cultures	5
CODE_GROUPE = 9	RPG 2022	Plantes à fibres	Sous-trame cultures	5
CODE_GROUPE = 11	RPG 2022	Gel	Sous-trame cultures	6
CODE_GROUPE = 15	RPG 2022	Légumineuses à grains	Sous-trame cultures	5
CODE_GROUPE = 16	RPG 2022	Fourrage	Sous-trame cultures	5
CODE_GROUPE = 17	RPG 2022	Estives et landes	Sous-trame milieux agropastoraux	6

CODE_GROUPE = 18	RPG 2022	Prairies permanentes	Sous-trame milieux agropastoraux	6
CODE_GROUPE = 19	RPG 2022	Prairies temporaires	Sous-trame milieux agropastoraux	6
CODE_GROUPE = 20	RPG 2022	Vergers	Sous-trame milieux agropastoraux	6
CODE_GROUPE = 21	RPG 2022	Vignes	Sous-trame milieux agropastoraux	6
CODE_GROUPE = 22	RPG 2022	Fruits à coque	Sous-trame milieux agropastoraux	6
CODE_GROUPE = 24	RPG 2022	Autres cultures industrielles	Sous-trame milieux agropastoraux	6
CODE_GROUPE = 25	RPG 2022	Légumes ou fleurs	Sous-trame milieux agropastoraux	6
CODE_GROUPE = 28	RPG 2022	Divers	Sous-trame milieux herbacés anthropisés	4
/	moap_life	Milieux agropastoraux	Sous-trame milieux agropastoraux	6

Carte d'occupation du sol détaillée - LIFE Coteaux Gascons



Carte 6 : L'occupation du sol détaillée
Source : A. FABE (ADASEA 32)

Tableau des surfaces des sous-trames de la nouvelle couche d'occupation du sol détaillée :

Sous-trame	Surface (ha)
Sous-trame milieux urbanisés (1)	4 849,73
Sous-trame milieux aquatiques (2)	2 193,61
Sous-trame milieux boisés (3)	44 444,88
Sous-trame milieux herbacés anthropisés (4)	20 407,06
Sous-trame cultures (5)	104 694,70
Sous-trame milieux agropastoraux (6)	82 994,27
TOTAL	259 584,25

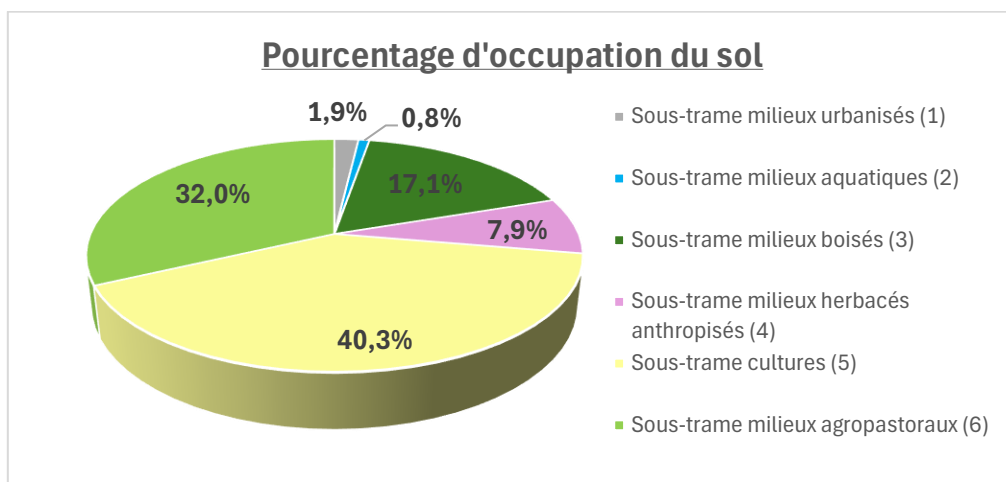


Figure 3 : Pourcentages de l'occupation du sol détaillée
Source : A. FABE (ADASEA 32)

Le territoire LIFE Coteaux Gascons présente une répartition diversifiée de son occupation du sol (Figure 3), offrant un écosystème riche et varié. Selon les données recueillies, les cultures occupent une part significative, représentant 40,3% de la surface totale. Ces terres agricoles témoignent de l'activité agricole dynamique de la région, contribuant à son économie et à sa biodiversité.

Les milieux agropastoraux occupent également une part importante du territoire, couvrant 32% de sa superficie. Ces zones jouent un rôle essentiel dans le maintien de l'équilibre écologique, offrant des habitats diversifiés pour de nombreuses espèces végétales et animales.

Les milieux boisés représentent 17,1% du territoire, offrant des zones de refuge et de biodiversité complémentaires à celles des milieux agropastoraux.

Les milieux herbacés anthropisés et les zones urbanisées, qui occupent un total de 9.8% du territoire, sont le résultat d'une interaction entre l'activité humaine et les écosystèmes naturels. Bien que modifiés, ces habitats continuent de soutenir une diversité biologique significative.

Enfin, les milieux aquatiques occupent une petite proportion de 0,8% du territoire, mais ils sont d'une importance vitale pour la biodiversité locale. Ces cours d'eau, lacs et zones humides fournissent des habitats d'intérêt pour de nombreuses espèces aquatiques et terrestres.

En somme, la diversité des pourcentages d'occupation du sol dans le territoire LIFE Coteaux Gascons reflète la richesse et la complexité de son écosystème, soulignant l'importance de mettre en place des stratégies de gestion et de préservation adaptées pour assurer la durabilité de cette région unique.

C. MISE EN PLACE D'UNE METHODOLOGIE REPRODUCTIBLE A PARTIR DE MODELISATIONS

1) Introduction aux réservoirs de biodiversité et corridors écologiques

Un **paysage hétérogène** est un paysage qui comprend différents habitats de différentes tailles, structures et formes. Certaines espèces ont besoin de plusieurs habitats pour assurer leur cycle de vie. Leur juxtaposition peut permettre de répondre à leurs besoins de reproduction, de nutrition, de protection... De plus, la présence de différentes niches écologiques est aussi exploitable par plusieurs espèces aux exigences différentes. Ainsi, plus la mosaïque paysagère est hétérogène, plus elle est favorable à la biodiversité. Elle représente une source de richesse spécifique et en fait un territoire propice aux réservoirs de biodiversité (Figure 4).

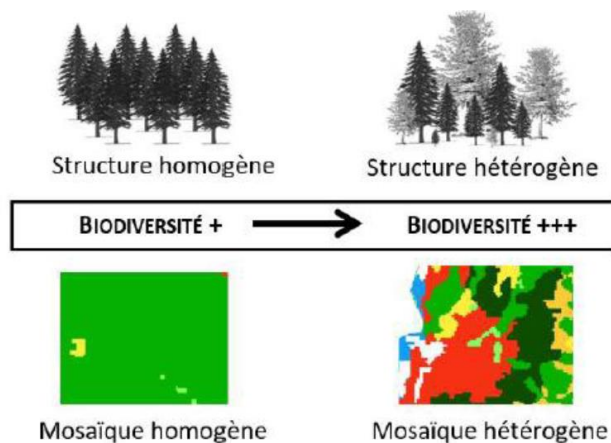


Figure 4 : Les mosaïques paysagères
Source : MR Environnement

Les **réservoirs de biodiversité** sont des espaces dans lesquels la biodiversité est la plus riche ou la mieux représentée, où les espèces peuvent effectuer tout ou en partie leur cycle de vie et où les habitats naturels peuvent assurer leur fonctionnement en ayant notamment une taille suffisante, qui abritent des noyaux de populations d'espèces à partir desquels les individus se dispersent ou qui sont susceptibles de permettre l'accueil de nouvelles populations d'espèces. Les réservoirs de biodiversité comprennent des espaces protégés et les espaces naturels importants pour la préservation de la biodiversité (article L. 371-1 II et R. 371-19 II du code de l'environnement). Ainsi, un réservoir de biodiversité fonctionnel a une taille suffisante pour répondre à d'éventuelles perturbations, menaces et permettre une résilience des écosystèmes.

Le deuxième facteur important est le **déplacement des espèces** d'un habitat à un autre. Plus les habitats d'une espèce sont connectés entre eux, plus l'espèce en question a de facilité à y circuler et à s'y développer tout au long de son cycle de vie. En effet, certaines infrastructures naturelles ou semi-naturelles, appelées corridors écologiques, assurent des connexions fonctionnelles entre des réservoirs de biodiversité (Figure 4). Elles sont nécessaires au déplacement de la faune et de la flore, mais sont aussi essentielles pour la reproduction, l'alimentation, le repos ou l'hibernation et pour se protéger des éventuels prédateurs. Les corridors écologiques peuvent être linéaires, discontinus (en « pas japonais ») ou paysagers (article L. 371-1 II et R. 371-19 III du code de l'environnement).

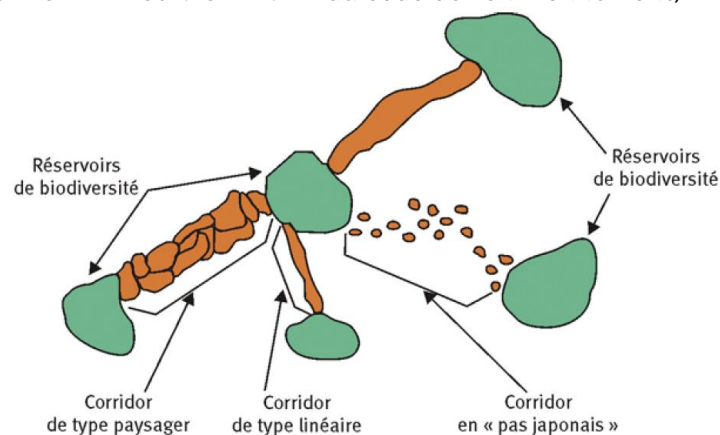


Figure 5 : Schéma explicatif des différents corridors écologiques
Source : Cemagref, d'après Bennett 1991

D'autre part, certaines espèces sont spécialistes d'un type d'habitat donné et y passeront tout leur cycle de vie. A l'opposé, d'autres sont dites généralistes et vivent dans plusieurs habitats en fonction

de leur activité (repos, chasse, reproduction...), ou encore d'autres nécessitent des habitats différents au cours des périodes de leur cycle de vie. Toutes les espèces perçoivent et utilisent donc l'espace différemment.

Il est ainsi très important de maintenir et restaurer les réseaux de corridors écologiques et de protéger ou restaurer les habitats.

De nouveaux outils de modélisation permettant de faciliter l'identification et la localisation des zones à enjeux sur de grands territoires ont été développés. Dans cette étude, les réservoirs de biodiversité seront identifiés par le calcul de l'hétérogénéité du paysage avec le logiciel **FRAGSTATS**. Également, l'étude de graphe par le logiciel **GRAPHAB** permettra d'identifier les secteurs à forte capacité d'accueil et viendra appuyer les résultats du calcul de l'hétérogénéité du paysage. Cet outil modélise aussi les réseaux écologiques et mesure la connectivité paysagère en identifiant les chemins de moindres coûts. Pour terminer, l'étude de la fragmentation du paysage par l'outil **FRAGSCAPE** de QGis identifiera le morcellement du territoire et ainsi les secteurs de perturbation des espèces dans leur déplacement.

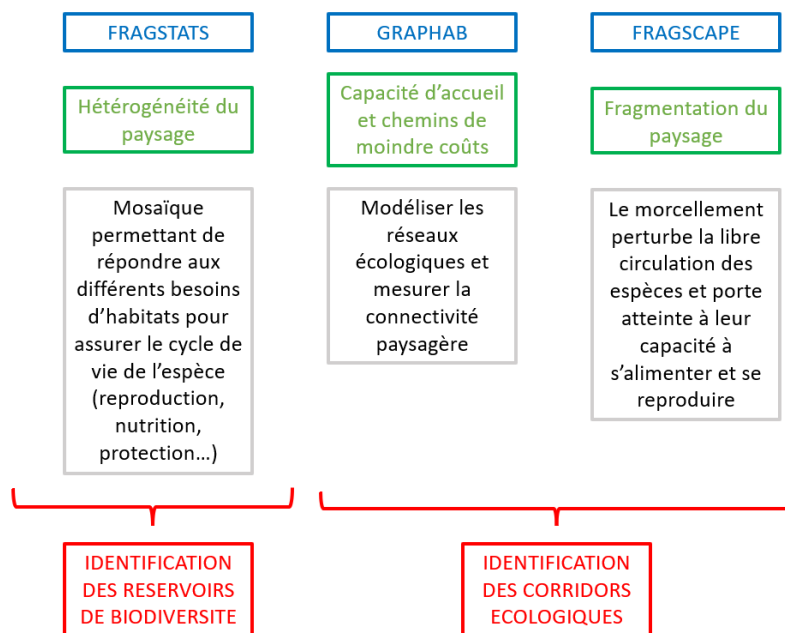


Figure 6 : Schéma explicatif des différentes modélisations
Source : A. FABE (ADASEA 32)

2) Modéliser l'hétérogénéité spatiale d'un paysage avec FRAGSTATS

d. Présentation du logiciel :

L'hétérogénéité d'un paysage peut se mesurer par sa nature, forme, taille, composition et structure. Sur la base d'indices décrivant différents aspects du paysage, il est possible d'identifier les secteurs les « plus hétérogènes ».

La méthode sélectionnée s'appuie ainsi sur les données d'occupation du sol pouvant être complétées par d'autres bases de données cartographiques afin d'être aussi précises que possible, puis sur le calcul d'indices mesurant l'hétérogénéité spatiale du paysage permettant de localiser les secteurs qui seraient les plus favorables à la biodiversité. Le calcul des indices est réalisé à partir du logiciel Fragstats, qui a été développé par deux chercheurs américains, le Dr Kevin Mc Garigal et Barbara Marks. Ce logiciel permet de traiter plusieurs indices à la fois, ce qui facilite le traitement sur de grands territoires. Il est en libre téléchargement sur internet (dans le domaine public depuis 1995) et évolutif (mises à jour et nouvelles versions régulières).

e. Types d'analyse :

Fragstats propose plusieurs types d'analyses pour quantifier l'hétérogénéité du paysage, notamment l'analyse par unités paysagères et l'analyse par fenêtres coulissantes (Figure 7). Ces deux analyses sont les plus utilisées pour identifier la Trame Verte et Bleue d'après les références bibliographiques.

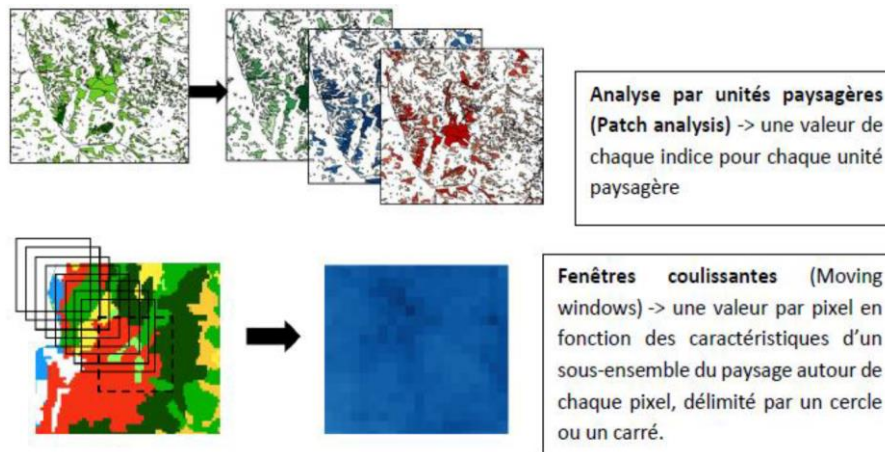


Figure 7 : Les types d'analyses proposés par Fragstats
Source : MR Environnement

L'analyse par unités paysagères donne une valeur de chaque indice pour chaque unité paysagère. La difficulté est que chaque unité paysagère est analysée séparément, donc il est plus compliqué d'identifier des secteurs à forte hétérogénéité. Mais les données de sorties sont sous forme de vecteurs, donc plus facilement traitées.

L'analyse par fenêtres coulissantes quant à elle, donne une valeur par pixel en fonction des caractéristiques d'un sous-ensemble du paysage autour de chaque pixel, délimité par un cercle ou un carré. C'est-à-dire qu'une fenêtre de taille et de forme définie par l'utilisateur se déplace sur l'image et attribue au pixel central de la fenêtre une valeur calculée sur la base d'un algorithme donné (métrique choisie) et sur la base des pixels voisins présents dans la fenêtre. Elle synthétise l'information qui entoure le pixel en question. Elle analyse un sous-ensemble du paysage dans son ensemble, pour donner une analyse spatialisée continue sur l'ensemble du territoire (analyse plus globale). Or, les données de sortie sont sous format rasters pouvant être plus complexes à traiter que des vecteurs.

f. Echelles d'analyse :

Fragstats propose trois échelles différentes pour analyser quantitativement le paysage :

- L'échelle de l'unité paysagère (« patch metrics ») : chaque unité paysagère est analysée séparément, indépendamment de sa nature (forme, surface, périmètre, distance aux autres unités...)
- L'échelle de la « classe » ou de la sous-trame (« class metrics ») : l'ensemble des unités d'une même sous-trame est analysé ensemble. Les indices calculés correspondent à des statistiques sur les caractéristiques unitaires de chaque unité paysagère de la sous-trame étudiée (surface moyenne des unités pour la sous-trame, longueur moyenne de lisière...)
- L'échelle du « paysage » (« Landscape metrics ») : l'ensemble des unités paysagères est analysé, quelle que soit la sous-trame à laquelle elles appartiennent. Les indices calculés correspondent à des statistiques sur les caractéristiques unitaires de chaque unité paysagère indépendamment de la sous-trame à laquelle elle appartient (surface moyenne des unités, diversité, longueur totale de lisière, diversité des surfaces...).

Pour étudier une sous-trame en particulier, il faut travailler à l'échelle de l'unité paysagère ou de la sous-trame (classe). Pour avoir une vision globale des caractéristiques d'une (ou plusieurs) sous-trame(s), il faut travailler avec **l'analyse par fenêtres coulissantes** et à **l'échelle de la sous-trame** (classe).

g. Les calculs d'indices :

Il est possible d'identifier les secteurs les plus « hétérogènes » sur la base d'indices décrivant différents aspects de l'hétérogénéité spatiale du paysage. Le choix des indices à utiliser dépend de l'objectif visé (Annexe 1). Certains indices sont redondants ; il faut donc veiller à limiter les corrélations entre les indices choisis (Figure 8).

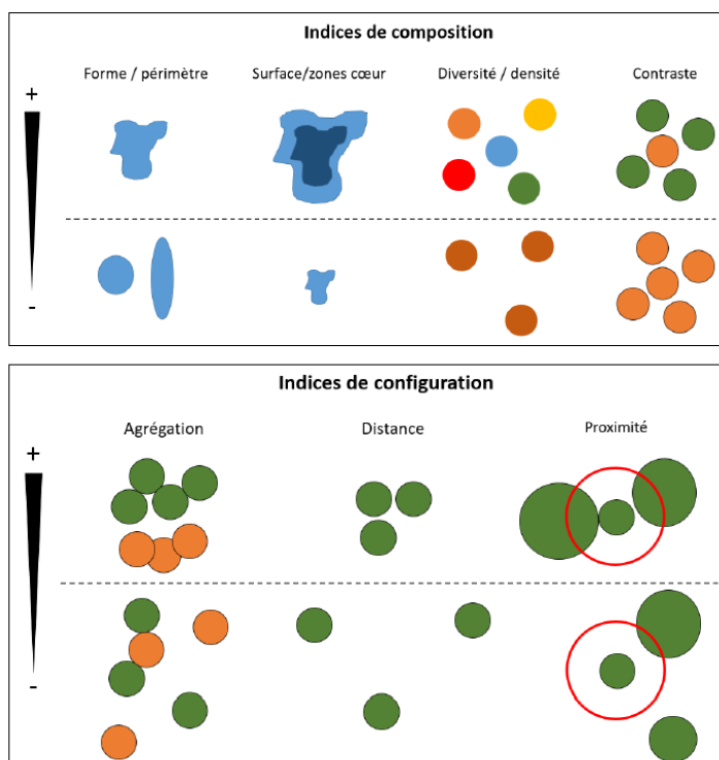


Figure 8 : Illustration des principaux types d'indices
Source : MR Environnement

Les indices de composition décrivent les caractéristiques des unités paysagères indépendamment de leur position relative dans l'espace.

- Caractéristiques intrinsèques des unités :
 - Forme/complexité de la lisière,
 - Surface/longueur de lisière,
 - Zone cœur (analyse de la surface intérieure des unités, considérée au-delà d'une certaine profondeur de lisière à définir)
- Caractéristiques comparatives :
 - Diversité (analyse la diversité et l'uniformisation des surfaces des unités paysagères présentes dans le paysage étudié)
 - Contraste (entre les différents types d'unités paysagères, niveau de contraste à définir)

Les indices de configuration s'intéressent quant à eux à l'organisation spatiale des unités les unes par rapport aux autres.

- Agrégation (agrégation, division, connectivité, fragmentation...)
- Distance
- Proximité

Les données d'entrée pour la modélisation avec Fragstats doivent être sous format raster, c'est pourquoi les données cartographiques d'occupation du sol détaillée sont rastérisées en 20m de résolution.

7 indices ont été étudiés pour mesurer l'hétérogénéité du territoire LIFE Coteaux Gascons :

- **Edge density (ED)** : densité de lisière, indépendant de la surface totale du paysage étudié.
ED>=0. Est égale à 0 quand il n'y a pas de lisière pour la sous-trame étudiée, c'est-à-dire que l'ensemble du paysage est constitué de la même sous-trame. Augmente avec l'augmentation de la longueur totale de lisière par unités de surface.
- **Area-Weighted mean related circumscribing circle (CIRCLE_AM)** : évalue la forme en fonction du rapport de la surface de la zone sur le plus petit cercle circonscrit.
0<=CIRCLE_AM<=1. Est élevé quand les unités paysagères de la sous-trame étudiée sont globalement de forme allongée. Proche de 0 quand les unités paysagères sont globalement de forme circulaire.
- **Area-Weighted mean patch radius of gyration (GYRATE_AM)** : compacité/surface « moyenne » pondérée par la surface.
0<=GYRATE_AM<=∞. Est élevé quand les unités paysagères de la sous-trame étudiée sont globalement grandes et compactes dans le paysage étudié. Est faible quand les unités paysagères sont globalement petites et de forme allongée.
- **Mean Proximity index (PROX_MN)** : étudie la connectivité avec l'occupation moyenne de l'espace par les plus proches voisins dans un rayon prédéfini.
PROX>=0. La valeur est élevée quand les unités paysagères de la sous-trame étudiée sont globalement grandes, nombreuses et proches les unes des autres.
- **Mean euclidean nearest neighbor distance (ENN_MN)** : étudie la connectivité avec la distance moyenne au plus proche voisin.
0<ENN_MN. Est élevé quand les unités paysagères de la sous-trame étudiée sont plutôt éloignées les unes des autres (dispersion/fragmentation des habitats du même type).
- **Patch density (PD)** : étudie la connectivité avec la densité des unités paysagères.
PD>0. Plus la valeur est élevée, plus le paysage comprend un grand nombre de réservoirs de biodiversité pour la sous-trame étudiée.
- **Patch size Standard deviation (AREA_SD)** : variabilité de la taille des unités paysagères.
AREA_SD>0. Augmente avec l'augmentation de la variabilité de la surface des unités paysagères de la sous-trame étudiée.

h. Traitements des résultats de sortie :

Les résultats se présentent sous la forme d'un raster pour chaque indice calculé et pour chaque sous-trame (Figure 8).

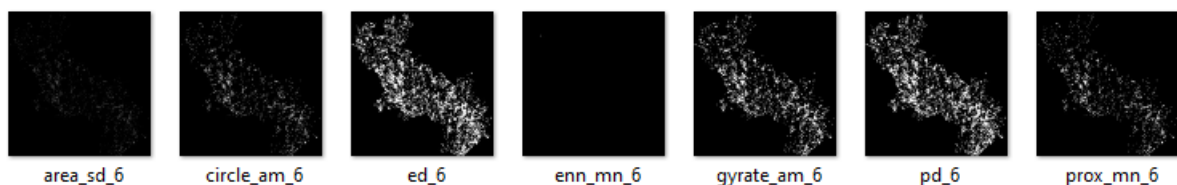


Figure 9 : Exemple de résultats de sortie Fragstats
Source : A. FABE (ADASEA 32)

Ces rasters doivent être traités afin de pouvoir les combiner entre eux et obtenir l'indice d'hétérogénéité du paysage. Pour cela, les valeurs des rasters doivent être nettoyées puis standardisées. La valeur minimale indiquée est souvent une valeur de type -999. Cette valeur correspond à une valeur par défaut pour les cellules sans données « NoData ». Le nettoyage avec l'outil « Reclassify values » de SAGA Géotraitements permettra de remplacer la valeur -999 par 0. De plus, les indices n'ont pas tous les mêmes unités ou ont des plages de valeurs très différentes. La standardisation des valeurs entre 0 et 1 se fera via la *Calculatrice Raster* de QGis à partir de la formule suivante :

$$\text{Valeur standardisée} = (x - \min(x_i)) / (\max(x_i) - \min(x_i))$$



Figure 10 : Traitements des résultats de sortie Fragstats
Source : A. FABE

Une fois les données de sortie retravaillées, il est possible d'agréger les indices. Dans cette étude, l'hétérogénéité sera calculée à partir de 3 indices (ED, CIRCLE_AM et GYRATE_AM). Les 4 autres indices précédemment détaillés seront analysés individuellement. L'agrégation se fera via la *Calculatrice Raster* à partir de la formule suivante. Attention, à bien respecter le sens des indices (Annexe 1) :

$$\Sigma (\text{Compacité/surface} + \text{surface moyenne} + \text{densité} + \text{densité de lisière} + \text{proximité} + \text{distance})$$

3) **Modéliser les réseaux écologiques et mesurer la connectivité paysagère avec GRAPHAB**

a. **Présentation du logiciel :**

Modéliser les réseaux écologiques et mesurer la connectivité paysagère à partir de la théorie des graphes peut se faire avec le logiciel Graphab. Il est le seul outil intégré réunissant à la fois la construction et la visualisation des graphes, les analyses de connectivité et les liens avec des données externes. Un graphe paysager est constitué d'un ensemble de nœuds (soit les patchs d'habitats) connectés par des liens représentant les chemins de déplacements potentiels. La théorie des graphes est une discipline mathématique et informatique qui consiste à étudier les graphes, c'est-à-dire à analyser des représentations visuelles permettant de relier des éléments entre eux (réseaux).

Cet outil a été développé par Gilles Vuidel et Jean-Christophe Foltête au laboratoire ThéMA (Université de Franche-Comté CNRS). Le développement du logiciel a été financé par le ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement dans le cadre du programme ITTECOP.¹ Le programme Graphab est disponible librement sous licence publique générale (GPL).

¹ GRAPHAB : Foltête J.-C., Vuidel G., Savary P., Clauzel C., Sahraoui Y., Girardet X. & Bourgeois M. , 2021. Graphab: an application for modeling and managing ecological habitat networks Software Impacts, 8: 100065.

b. Les graphes :

Il existe deux types de graphes :

- Un graphe est dit « connexe » lorsqu'il ne contient qu'une composante et dans lequel tous les nœuds sont interconnectés, c'est-à-dire qu'un individu peut se déplacer d'un nœud à un autre sans difficulté.
- Un graphe est dit « non connexe » lorsqu'il est constitué de plusieurs composantes, mais dans lequel tous les nœuds sont également interconnectés. Cette configuration représente donc un réseau écologique fragmenté où un individu ne pourra se déplacer que dans la même composante parce que la distance pour en rejoindre une autre est trop grande ou trop coûteuse. Ainsi plus il y a de composantes et plus le territoire est fragmenté.

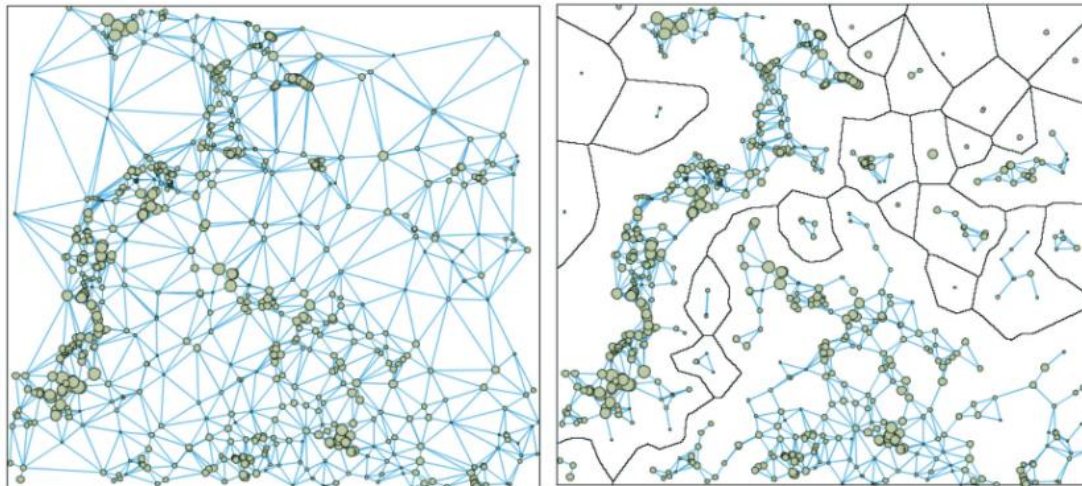


Figure 11 : Les types de graphes avec Graphab (à gauche : un graphe connexe où tous les nœuds sont connectés ensemble ; à droite : un graphe non connexe constitué de plusieurs sous-graphes indépendants (appelés composantes).
Source : Fiche 1. Introduction à Graphab (Céline Clauzel, Carole Gaber, Claire Godet)

Graphab travaille en deux étapes. La première permet d'identifier les patchs d'habitat et les chemins de moindre coût. La seconde permet via les calculs de métriques de connectivité de hiérarchiser les éléments en fonction de leur importance dans le milieu.

c. Les nœuds du graphe :

Un nœud dans un graphe identifie un patch d'habitat (ou tâche d'habitat). Les populations, les communautés, les écosystèmes et les paysages peuvent être étudiés comme des mosaïques de patchs qui diffèrent par leur taille, leur forme, leur composition et les caractéristiques de leurs limites. Dans un graphe, les nœuds sont associés à un indicateur démographique appelé « capacité » interprétant la qualité et l'aptitude d'accueil d'une population.

Par défaut, Graphab est paramétré en mètre pour exprimer la surface d'un patch d'habitat en m².

d. Les liens du graphe :

Pour créer un jeu de données, trois critères fondamentaux doivent être définis :

- La topologie afin de définir la façon dont les liens entre les patchs d'habitat sont définis.
 - Topologie complète : tous les liens sont pris en compte, ce qui peut fortement alourdir les traitements et la lecture des résultats.

- Topologie planaire : seuls les liens entre patchs voisins sont pris en compte. Cela donne ainsi une approximation des résultats.
- La pondération : attribue une valeur de coût de déplacement entre deux patchs. La pondération des liens est liée aux valeurs de résistance données à chaque milieu, c'est-à-dire à la difficulté que peut avoir l'individu à se déplacer dans la sous-trame en question. Les catégories représentant un habitat préférentiel ont une valeur de résistance faible et à l'inverse, les paysages plus difficilement franchissables par les espèces, ont une valeur élevée. Il est important de contraster ces valeurs (ex : 1, 10, 100, 1000, 10000).
- L'élagage du graphe : identifier les chemins de moindre coût pour l'espèce. Le graphe est « élagué » de sorte que les liens de grande distance ou trop coûteux soient supprimés. C'est ainsi à partir de ces résultats que les métriques de connectivité peuvent être calculées.

e. Les paramétrages :

La première étape dans le programme consiste à importer la carte du paysage, soit la couche d'occupation du sol détaillée sous format raster dans laquelle la valeur de chaque pixel correspond à une catégorie d'occupation du sol (DN = Classe). La taille minimale de l'habitat est définie par 0,3ha dans cette étude à dire d'experts.

Ensuite vient la création d'un jeu de liens, en topologie planaire dont les coûts sont décrits à partir de la matrice de résistance suivante :

Valeur du pixel (Code DN = Classe)	Sous-trame	Habitat	Valeur de résistance (= Coût)
1	Milieus urbanisés	Barrière	10000
2	Milieus aquatiques	Très défavorable	1000
3	Milieus boisés	Défavorable	100
4	Milieus herbacés anthropisés	Favorable	10
5	Cultures	Défavorable	100
6	Milieus agropastoraux	Habitat	1

L'étape suivante est la création d'un graphe. C'est à ce moment qu'est identifié les nœuds et chemins de moindre coût retenus.

Enfin, la dernière étape consiste à calculer les métriques de connectivité. Pour cela, il est important de connaître le coût pour le déplacement d'une espèce sur 1000m. L'option « conversion distance » présente dans le menu du jeu de lien sur le programme permet de trouver la valeur du coût pour une distance de déplacement.

Dans cette étude, le coût est de 3 747,59 pour une distance de 1000m (Figure 12).

Cette option permet de préciser un seuil de distance au-delà duquel les liens ne sont plus créés. Elle permet ainsi de limiter le nombre de liens créés et d'accélérer la création des liens. Cette valeur d'élagage de distance maximale permettra de paramétrer correctement les métriques de connectivité dans l'étude suivante.



Figure 12 : Nuage de points résultant de la « conversion distance » de Graphab
Source : A. FABE (ADASEA 32)

Enfin, les métriques de connectivité suivantes sont calculées : (Annexe 2)

- Connectivité équivalente (EC) : métrique globale
- *Indicateur de flux d'interaction (IF) : métrique locale*
- Indice de centralité intermédiaire (BC) : métrique locale

A partir de ces calculs, des nœuds et liens sont créés dans le graphe. L'indicateur démographique « capacité » (représenté par la taille des nœuds) permet d'identifier les zones où l'aptitude d'accueil est la plus importante et la graduation des liens permet d'identifier les chemins de moindres coûts.

Il est également possible de modéliser directement les corridors écologiques via le programme Graphab. Les corridors représentent ici l'espace entre deux patches d'habitat, avec l'ensemble des chemins possibles pour relier les deux tâches et ayant une distance maximale inférieure à la distance établie pour la valeur du coût.

En format raster, le résultat donne pour chaque pixel, le nombre de corridors passant par celui-ci.

4) Modéliser la fragmentation du paysage avec FRAGSCAPE

a. Présentation du logiciel :

FragScape est une extension de QGIS 3 permettant de calculer les indicateurs de fragmentation du paysage définis par Jaeger (Jaeger 2000). La fragmentation d'un espace naturel terrestre ou son morcellement perturbe la libre circulation des espèces qu'il abrite et porte atteinte à leur capacité à s'alimenter et à se reproduire.

FragScape définit une procédure en 4 étapes depuis les données brutes jusqu'au calcul des indicateurs. L'outil a été développé par Mathieu Chailloux au sein d'IRSTEA, pour le centre de ressources Trame Verte et Bleue (pilote par le Ministère de la Transition Écologique et Solidaire).

b. Les indicateurs de fragmentation :

La fragmentation des espaces naturels est évaluée par l'indicateur de « taille effective de maille ». L'indicateur reflète à la fois la surface des espaces naturels dans le territoire et leur degré de découpage. Une faible taille effective de maille dénote un morcellement des espaces naturels du territoire étudié et donc une perturbation des espèces dans leur circulation sur le territoire.

Jaegger définit ainsi dans son article (Jaegger 2000) trois mesures de la fragmentation du paysage :

- Le degré de fragmentation du paysage : probabilité que deux points choisis aléatoirement dans le territoire ne soient pas connectés
- Le nombre effectif de mailles (S) : nombre de patchs obtenus en découpant la superficie totale du territoire par une maille régulière
- La taille effective de maille : taille qu'auraient les fragments d'espaces naturels s'ils avaient tous la même surface au sein du territoire.

c. Les paramétrages :

La première étape dans le programme consiste à choisir le mode de calcul. Il existe deux modes de calculs avec Fragscape, le mode vecteur et le mode raster.

En mode raster, le programme va demander plus de ressources en mémoire vive (RAM) et donc dépendre de la taille des données et de la résolution. De plus, il est important de vérifier le système de projection qui peut empêcher l'exécution en mode raster.

En mode vecteur, les données sont agrégées, c'est-à-dire qu'il n'y aura qu'une seule entité de type multi polygones. Il est possible d'ajouter des données complémentaires pour affiner l'occupation du sol.

L'étape suivante consiste à identifier les sous-trames de la couche d'occupation du sol en « fragmentantes » ou en « naturelles/semi-naturelles ». Dans cette étude, les classes sont catégorisées comme telles :

Valeur du pixel (Code DN = Classe)	Sous-trame	Additional data
1	Milieux urbanisés	Fragmentant
2	Milieux aquatiques	Fragmentant
3	Milieux boisés	Fragmentant
4	Milieux herbacés anthropisés	Naturel/semi-naturel
5	Cultures	Fragmentant
6	Milieux agropastoraux	Naturel/semi-naturel

Enfin, pour lancer la modélisation, le programme demande une couche cartographique de rapportage. Ici, une grille carrée de 500mx500m et une grille hexagonale de 1000mx1000m (« tomettes ») sont testées. Dans cette étude, les tomettes ont été choisies car mieux adaptées à l'analyse :

- Réduisent des déformations d'échantillonnage par la forme la plus « circulaire »,
- Le caractère circulaire permet de représenter plus naturellement les courbes des modèles des données,
- Préférables lorsque l'analyse comprend des aspects de connectivité ou des chemins de déplacement,
- La recherche de voisins est plus simple. Comme la longueur de contact est identique sur chaque côté, le centroïde de chaque voisin est équidistant.
- Comme la distance entre les centroïdes est identique dans les six directions de l'hexagone, davantage de voisins sont inclus dans les calculs

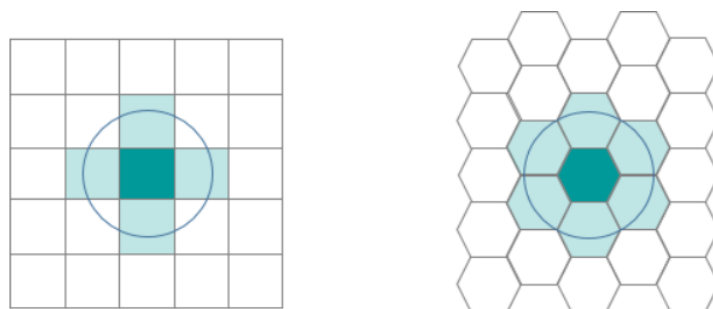


Figure 13 : Comparaison grilles carrée et grille hexagonale
Source : Support ArcGIS ESRI

D'autre part, le calcul des indices peut être biaisé à cause des limites de territoire considérées par défaut comme fragmentantes. Avec la méthode « Cross-Boundary Connections » (CBC), la superficie des patches est prise en compte à l'extérieur des limites territoriales, ce qui ne crée ainsi pas de barrières fragmentantes.

II. RESULTATS

A. ANALYSE DES DONNEES CARTOGRAPHIQUES DES MILIEUX AGROPASTORAUX SUR LE TERRITOIRE

1) Analyse générale

a. Surface totale des MOAP

La couche vectorielle de l'occupation du sol détaillée créée « Occ_sol_generalize_20m_decoupeLIFE » indique les surfaces suivantes :

	Total	Moyenne	Min	Max
Surface MOAP (ha)	82 994,27	2,51	/	995,57

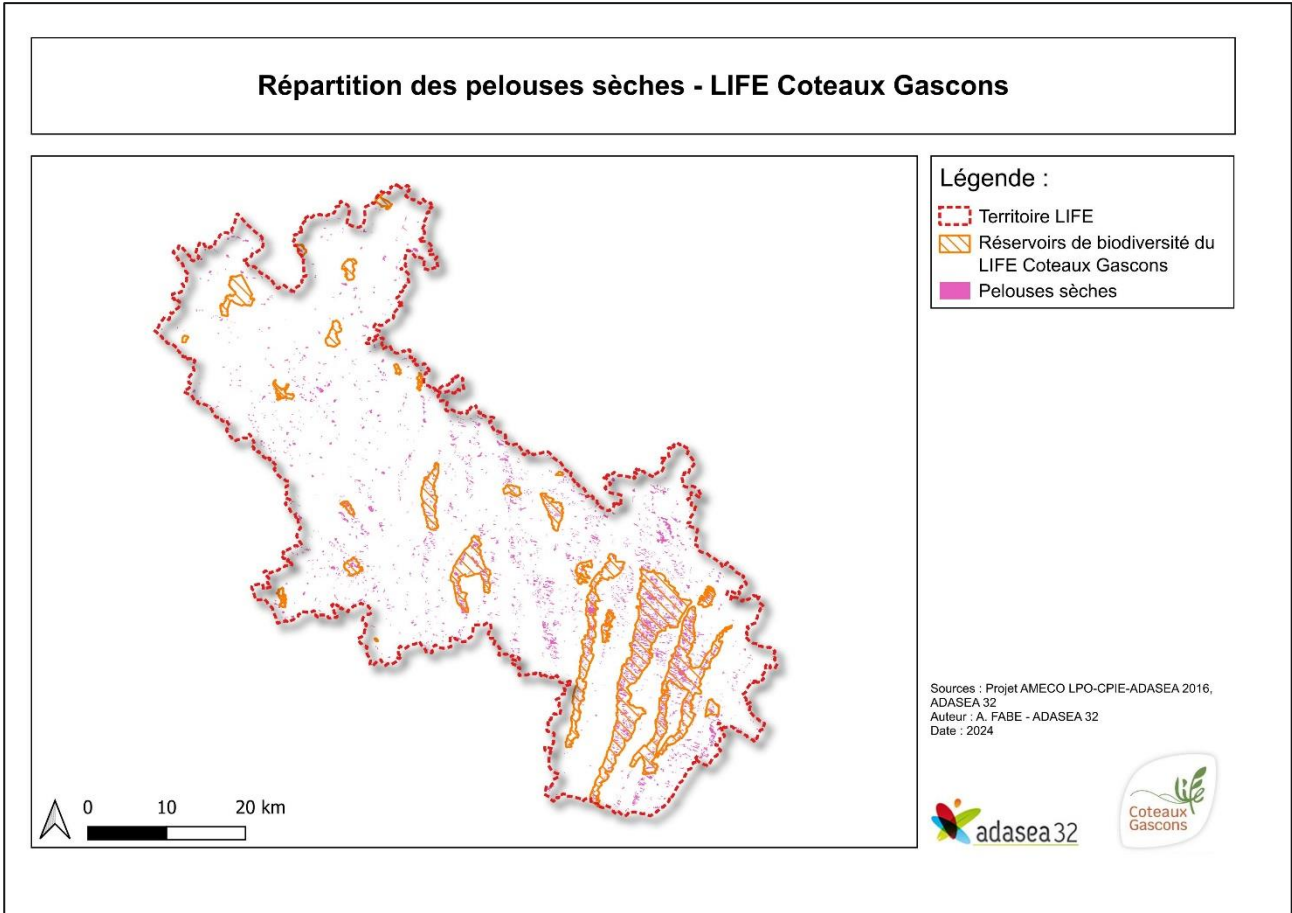
Les vecteurs ont été créés à partir du raster de toutes les données d'occupation du sol fusionnées. La vectorisation est faite à une résolution de 20m pour que les traitements ne soient pas trop lourds mais tout en gardant une certaine précision sur les limites des habitats. La surface totale des MOAP peut donc être différente de celle de la couche vectorielle des MOAP initiale (« moap_life »).

A partir de la couche vectorielle de l'occupation du sol détaillée créée «Occ_sol_generalize_20m_decoupeLIFE », les polygones de MOAP sont découpés en 3 catégories :

- Les pelouses sèches (extraites de la couche « pelouses_sèches_2016_Gers_LB93 » du projet AMECO LPO-CPIE-ADASEA 2016).
- Les prairies inondables (à partir de la cartographie des zones inondables de 2012 (cizi_zi_201203271132)).
- Les prairies humides de la CATZH (Cellule d'Assistance Technique à la Gestion des Zones Humides), données arrêtées à janvier 2024.
- Les prairies sèches seront les polygones restants après les précédents traitements.

b. Surface pelouses sèches

Les pelouses sèches, essentielles pour la biodiversité, occupent une superficie totale de 9 994,14 hectares au sein du périmètre LIFE. Une grande partie de cette étendue se trouve dans le sud de ce territoire. Dans les réservoirs de biodiversité, ces zones précieuses représentent un total de 4 385,59 hectares, ce qui constitue plus de 43% de la surface totale de pelouses sèches dans ces secteurs spécifiques. Cette concentration de pelouses sèches dans les réservoirs de biodiversité souligne leur importance cruciale pour la préservation des écosystèmes fragiles et des habitats naturels précieux dans la région. Ces données mettent en évidence la nécessité de préserver et de gérer attentivement ces zones pour garantir la pérennité de la biodiversité locale.



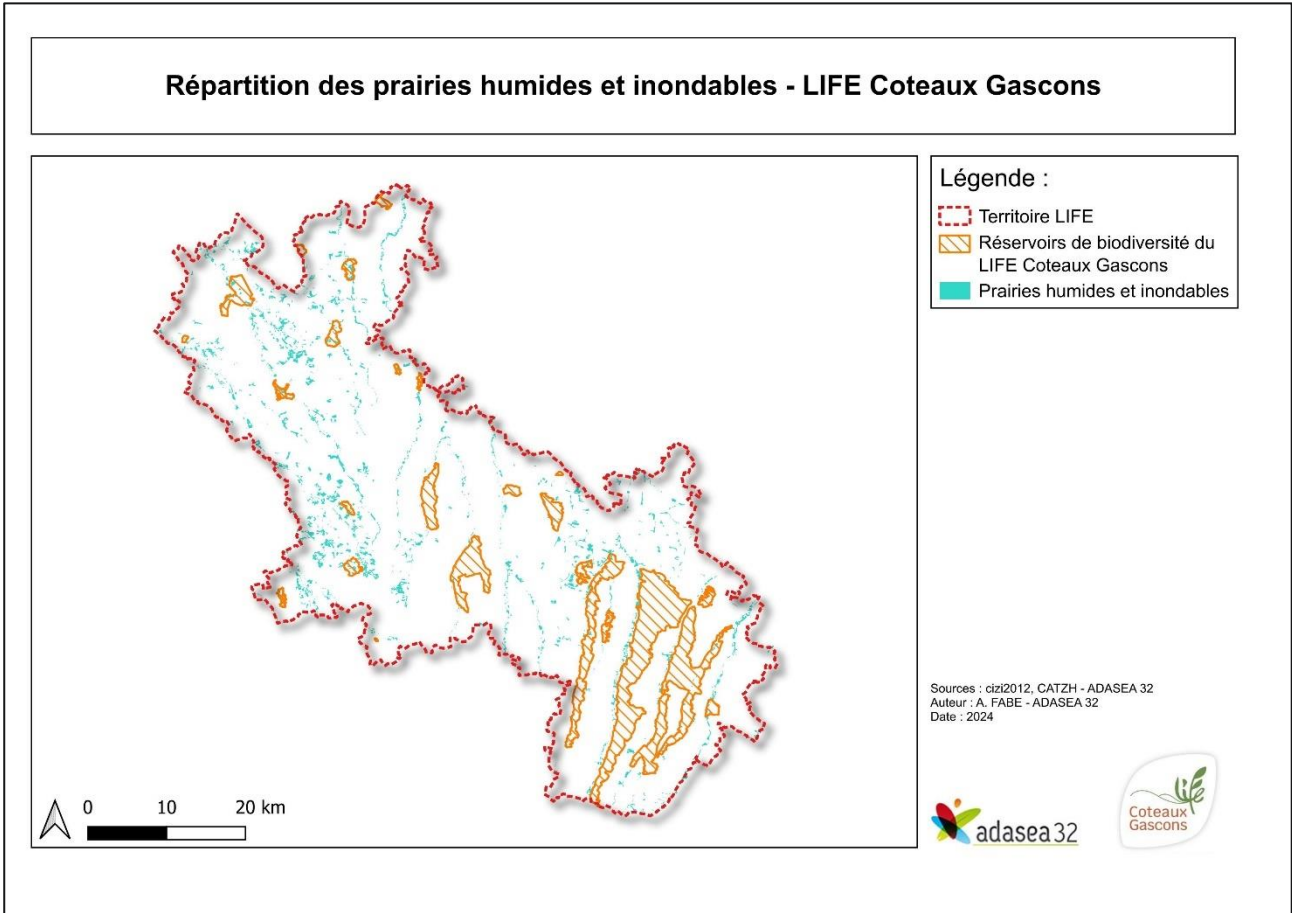
Carte 7 : Répartition des pelouses sèches
Source : A. FABE (ADASEA 32)

	Total	Moyenne	Min	Max	% par rapport à la surface totale des MOAP
Surface (ha)	9 994,14	2,66	/	98,16	12,04

c. Surface prairies humides et inondables

Les prairies humides et inondables jouent un rôle crucial dans l'équilibre écologique du périmètre LIFE Coteaux Gascons, totalisant une superficie de 9 732,3 hectares. Une faible part de ces précieux écosystèmes est prise en compte dans les réservoirs de biodiversité du LIFE. En effet, sur l'ensemble du territoire LIFE, 1 541,72 hectares de prairies humides et inondables sont inclus dans ces

zones protégées, représentant ainsi seulement 15% de la superficie totale de ces habitats fragiles. Cette constatation souligne l'urgence de prendre des mesures de conservation et de gestion appropriées pour préserver ces prairies humides, essentielles pour la biodiversité locale et le maintien des écosystèmes aquatiques.



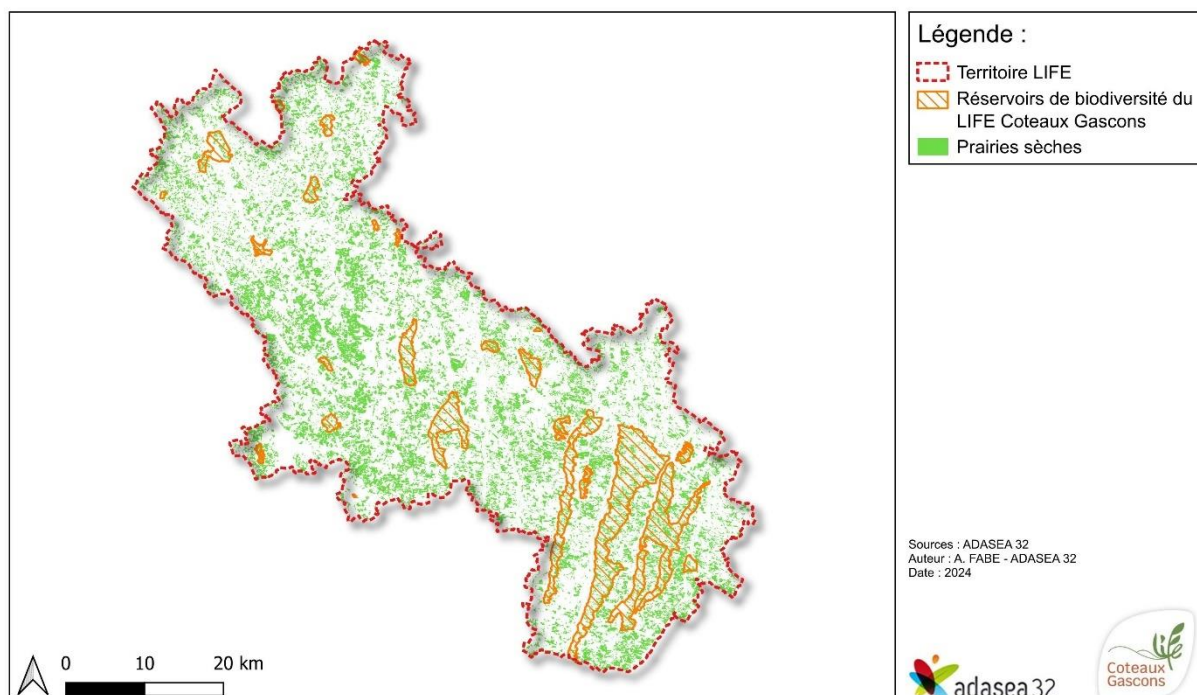
Carte 8 : Répartition des prairies humides et inondables
Source : A. FABE (ADASEA 32)

	Total	Moyenne	Min	Max	% par rapport à la surface totale des MOAP
Surface (ha)	9 732,3	3,37	/	121,28	11

d. Surface prairies sèches

Les prairies sèches occupent une place prépondérante au sein du périmètre LIFE Coteaux Gascons, représentant une superficie impressionnante de 63 267,83 hectares, soit environ 76% de la surface totale. Parmi ces prairies, un total de 13 381 hectares est comptabilisé dans les réservoirs de biodiversité, ce qui équivaut à un peu plus de 21% de la superficie totale de ces secteurs spécifiques. Cette concentration significative de prairies sèches dans les réservoirs de biodiversité souligne leur importance capitale pour la préservation des écosystèmes locaux et la conservation de la biodiversité dans la région du LIFE Coteaux Gascons. Ces données soulignent la nécessité de protéger activement et de gérer judicieusement ces prairies sèches afin de garantir la pérennité des habitats naturels et la diversité biologique dans cette région.

Répartition des prairies sèches - LIFE Coteaux Gascons



Carte 9 : Répartition des prairies sèches
Source : A. FABE (ADASEA 32)

	Total	Moyenne	Min	Max	% par rapport à la surface totale des MOAP
Surface (ha)	63 267,83	2,39	/	995,57	73,23

2) La Politique Agricole Commune (PAC)

La politique agricole commune est une politique mise en œuvre par l'Union européenne dans le but de développer et soutenir les agricultures des Etats membres. Les objectifs sont les suivants :

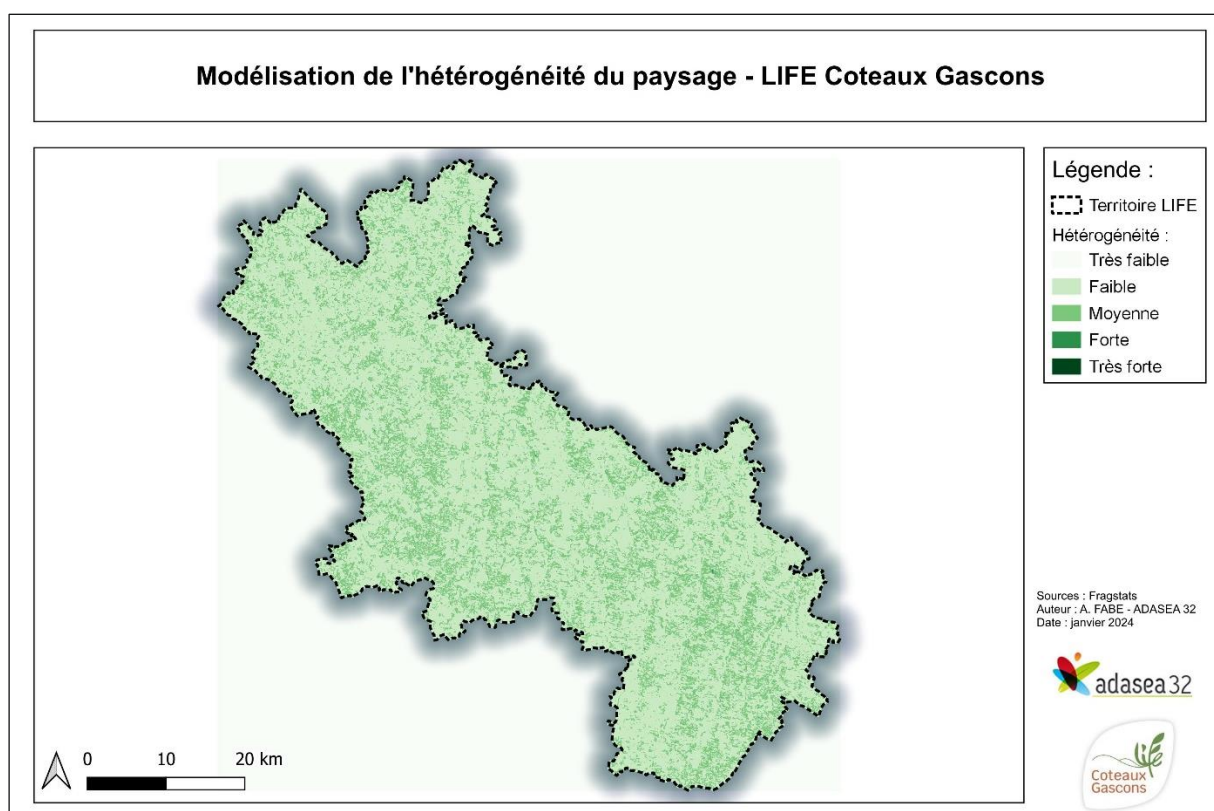
- Accroître la productivité de l'agriculture
- Assurer un niveau de vie équitable à la population agricole
- Stabiliser les marchés
- Garantir la sécurité des approvisionnements
- Assurer des prix raisonnables aux consommateurs
- Respecter l'environnement, la sécurité sanitaire et le développement rural

La PAC est financée par le fonds européen agricole de garantie (FEAGA) et le fonds européen agricole pour le développement rural (FEADER). En répondant aux objectifs, les agriculteurs bénéficient ainsi d'aides directes ou indirectes visant à compenser les actions mises en œuvre.

Afin d'identifier les parcelles de MOAP non déclarées à la PAC, une sélection par localisation en intersection via le RPG 2022 a été réalisée. Dans cette étude, on note ainsi 92% des parcelles MOAP qui sont déclarées à la PAC, il reste ainsi 8,2% de parcelles non déclarées sur le territoire LIFE Coteaux Gascons.

B. ANALYSE DE L'HÉTÉROGÉNÉITÉ DU PAYSAGE

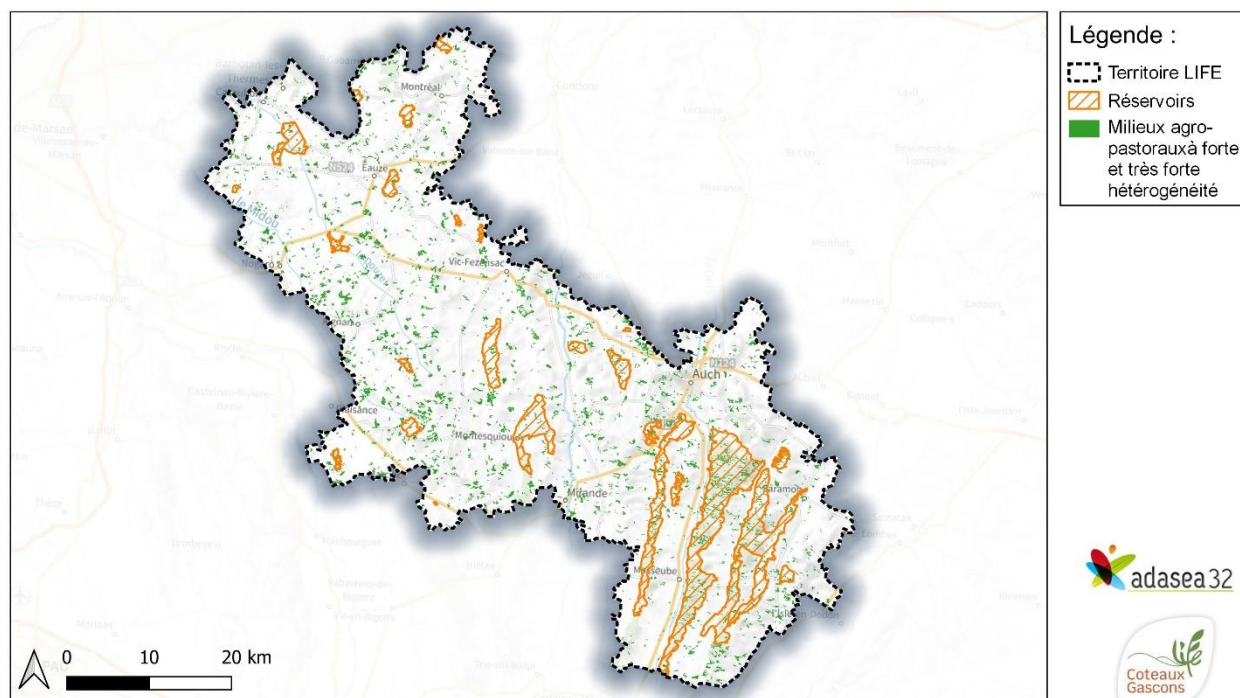
La méthode sélectionnée avec l'analyse par fenêtres coulissantes et à l'échelle de la sous-trame (classe) a permis d'identifier des zones à forte hétérogénéité sur le territoire LIFE Coteaux Gascons. Certains secteurs étaient déjà au préalable connus avec les réservoirs de biodiversité du SRCE mais d'autres zones, notamment au Centre-Ouest et au Nord, méritent une attention particulière.



Carte 10 : Modélisation de l'hétérogénéité du paysage
Source : A. FABE (ADASEA 32)

A partir des pixels de forte à très forte hétérogénéité, les MOAP sont sélectionnés pour donner la carte suivante. On compte ainsi 14 038,9 ha, soit 20% des MOAP qui sont propices à une biodiversité riche où les espèces peuvent effectuer tout ou en partie leur cycle de vie et qui peuvent abriter des noyaux de populations d'espèces à partir desquels les individus se dispersent ou sont susceptibles d'accueillir de nouvelles populations d'espèces.

Modélisation de l'hétérogénéité du paysage - LIFE Coteaux Gascons



Carte 11 : Les milieux agropastoraux à forte et très forte hétérogénéité

Source : A. FABE (ADASEA 32)

D'autre part, des indices ont également été analysés individuellement. Le tableau ci-dessous indique les caractéristiques et les valeurs des indices pour la couche des MOAP avant restauration. Il sera intéressant de refaire cette étude avec la nouvelle couche des MOAP après le travail effectué dans le cadre du programme LIFE.

Indices	Caractéristiques	min	max	Classe dont le % est le plus élevé sur le territoire (sur 5 classes)	Conclusion
Mean Proximity index (PROX_MN)	étudie la connectivité avec l'occupation moyenne de l'espace par les plus proches voisins dans un rayon prédéfini. PROX _{MN} ≥ 0. La valeur est élevée quand les unités paysagères de la sous-trame étudiée sont globalement grandes, nombreuses et proches les unes des autres.	0	28	Classe 1 (0-5) : 62,8% Classe 2 (6-11) : 26,3% Classe 3 (12-17) : 6,4% Classe 4 (18-23) : 4,5% Classe 5 (24-28) : 0,03%	<i>L'ensemble des éléments de la sous-trame MOAP est de moyenne ou faible taille. Ils sont éloignés les uns des autres</i>
Mean euclidean nearest neighbor distance (ENN_MN)	étudie la connectivité avec la distance moyenne au plus proche voisin. ENN_MN > 0. Est élevé quand les unités paysagères de la sous-trame étudiée sont plutôt éloignées les unes des autres (dispersion/fragmentation des habitats du même type).	0	4	Classe 1 (0) : 0,2% Classe 2 (1) : 53,4% Classe 3 (2) : 32,5% Classe 4 (3) : 12,4% Classe 5 (4) : 1,5%	<i>La sous-trame MOAP est marquée par une dispersion homogène des entités sur l'ensemble du territoire, qui traduit une fragmentation du paysage</i>

Indices	Caractéristiques	min	max	Classe dont le % est le plus élevé sur le territoire (sur 5 classes)	Conclusion
Patch density (PD)	étudie la connectivité avec la densité des unités paysagères. PD>0. Plus la valeur est élevée, plus le paysage comprend un grand nombre de réservoirs de biodiversité pour la sous-trame étudiée.	0	4	Classe 1 (0) : 7,1% Classe 2 (1) : 91,8% Classe 3 (2) : 1,1% Classe 4 (3) : 0,01% Classe 5 (4) : 0,0001%	<i>Le territoire est marqué par un grand nombre de petits réservoirs dispersés</i>
Patch size Standard deviation (AREA_SD)	variabilité de la taille des unités paysagères. AREA_SD>0. Augmente avec l'augmentation de la variabilité de la surface des unités paysagères de la sous-trame étudiée.	0	21	Classe 1 (0-3) : 44,6% Classe 2 (4-7) : 27,8% Classe 3 (8-11) : 15,2% Classe 4 (12-16) : 9,3% Classe 5 (17-21) : 3,1%	<i>La variabilité des surfaces de la sous-trame MOAP est faible puisque le territoire est représenté par de nombreuses petites entités</i>

En conclusion, l'analyse des indices de la sous-trame des milieux agropastoraux révèle la complexité du territoire du LIFE Coteaux Gascons qui est composé par un grand nombre de réservoirs de taille moyenne ou faible. Ces réservoirs sont dispersés de façon homogène et peuvent être éloignés les uns des autres, qui traduit une fragmentation du paysage.

La connectivité est donc principalement assurée par des corridors en pas japonais.

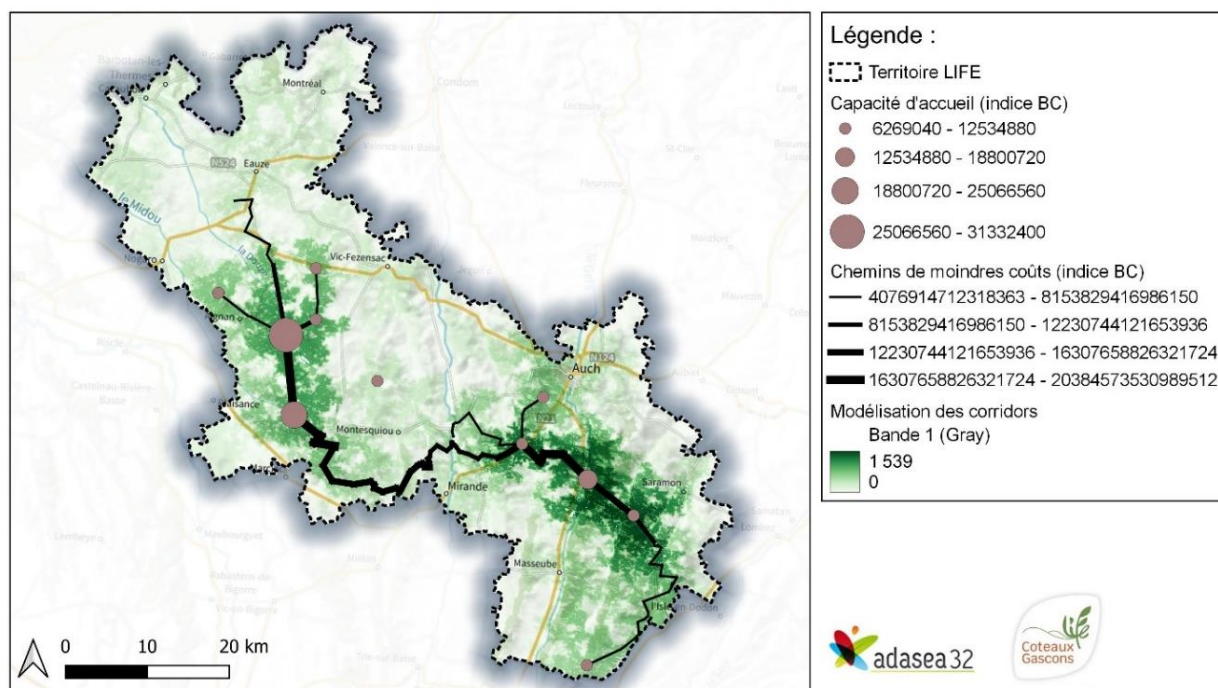
La prise en compte de ces éléments est cruciale pour élaborer des stratégies efficaces de gestion et de préservation de la diversité biologique dans le LIFE Coteaux Gascons.

C. ANALYSE DE LA CAPACITE D'ACCUEIL ET DES CHEMINS DE MOINDRES COUTS

En complément de la méthode précédemment évoquée, le programme Graphab a permis d'identifier plusieurs zones présentant une grande capacité d'accueil pour la biodiversité, avec une attention particulière portée sur deux secteurs situés au Centre-Ouest. Cette démarche s'avère précieuse pour cibler les efforts de conservation et de gestion des habitats naturels dans ces zones à fort potentiel écologique.

Par ailleurs, la modélisation réalisée grâce à Graphab a également permis de mettre en lumière les chemins de moindres coûts à travers le territoire. On observe la présence d'un axe prédominant qui traverse la région, s'étendant de l'Isle en Dodon jusqu'à Aignan. Cette identification des chemins les plus efficaces et les moins coûteux offre des orientations précieuses pour la mise en œuvre de mesures visant à préserver et à restaurer la biodiversité dans la région du LIFE Coteaux Gascons.

Capacité d'accueil et chemins de moindres coûts - LIFE Coteaux Gascons



Carte 12 : Capacité d'accueil et chemins de moindres coûts
Source : A. FABE (ADASEA 32)

Dans le Nord du territoire, une sensation d'isolement semble prédominer, marquée par des particularités géographiques et des pressions exercées par l'activité humaine. Les sols présentent d'une part, l'acidité caractéristique des terres d'Armagnac, et d'autre part, la présence de calcaire dans la région d'Astarac.

L'activité humaine, notamment dans la zone d'Armagnac, exerce des pressions significatives sur l'écosystème local. Les prairies humides et inondables subissent des transformations sévères, avec la plantation massive de peupliers et de maïs, altérant ainsi leur équilibre naturel. De même, les prairies sèches sont sujettes à une conversion en vignobles ou à une utilisation pour de grandes cultures, modifiant profondément le paysage agricole traditionnel.

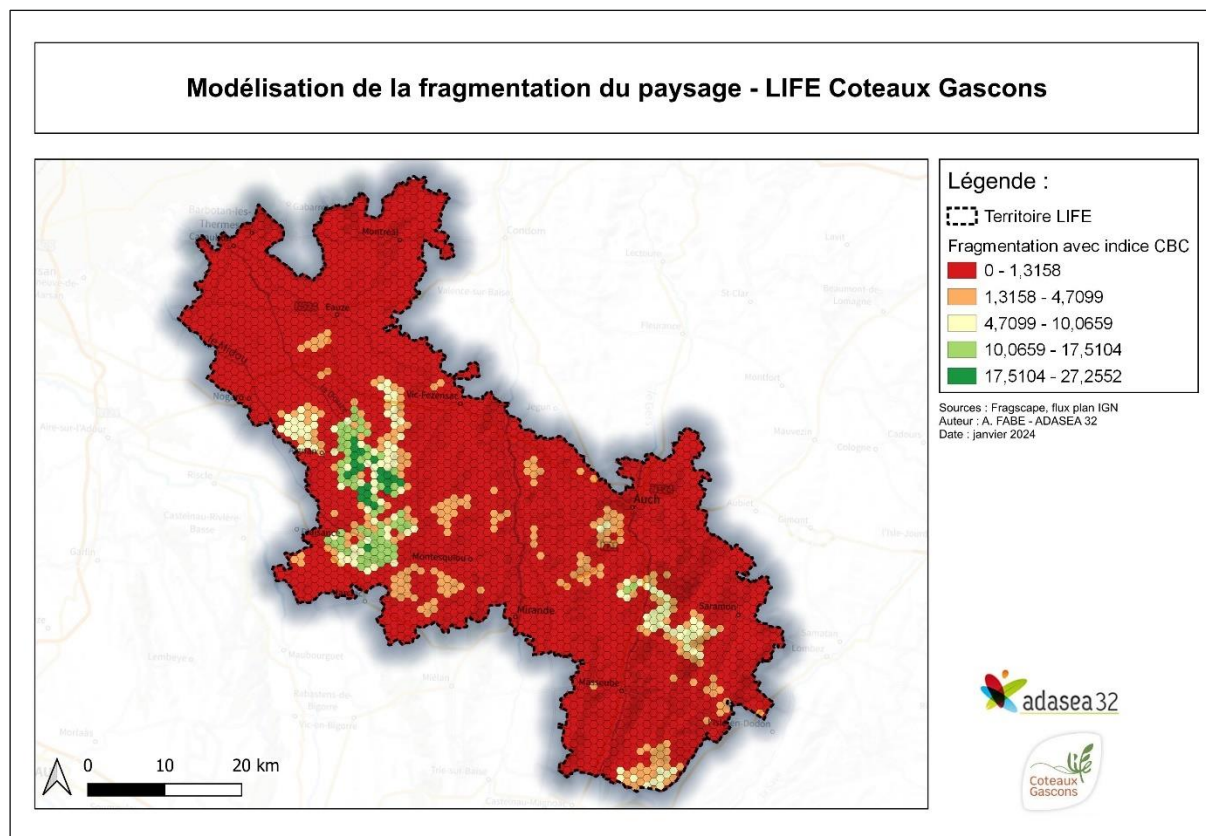
Les reliefs plus doux ont facilité de tout temps l'installation de voies de circulations (exemple la Route Nationale 124) qui s'étend d'Auch à Nogaro. Sur ce secteur et au nord de celui-ci, la mise en cultures des coteaux a été réalisée car plus facilement mécanisables que sur d'autres zones du territoire LIFE.

Au nord de cette artère routière, où les grandes cultures sont prédominantes depuis de nombreuses années, la question de la diminution des milieux ouverts agropastoraux (MOAP) se pose. La présence de vastes étendues de terres cultivées peut réduire les habitats propices à la biodiversité.

Une étude approfondie de la fragmentation du paysage permet de mieux comprendre les dynamiques écologiques et les défis associés à la conservation de la biodiversité dans cette zone géographique particulière.

D. ANALYSE DE LA FRAGMENTATION DU PAYSAGE

La fragmentation du paysage a été analysée avec le logiciel Fragscape à partir d'une grille hexagonale de 1000mx1000m dite « tomettes ». D'autre part, pour ne pas biaiser le calcul des indices à cause des limites de territoire considérées par défaut comme fragmentantes, la méthode « Cross-Boundary Connections » (CBC) est utilisée.



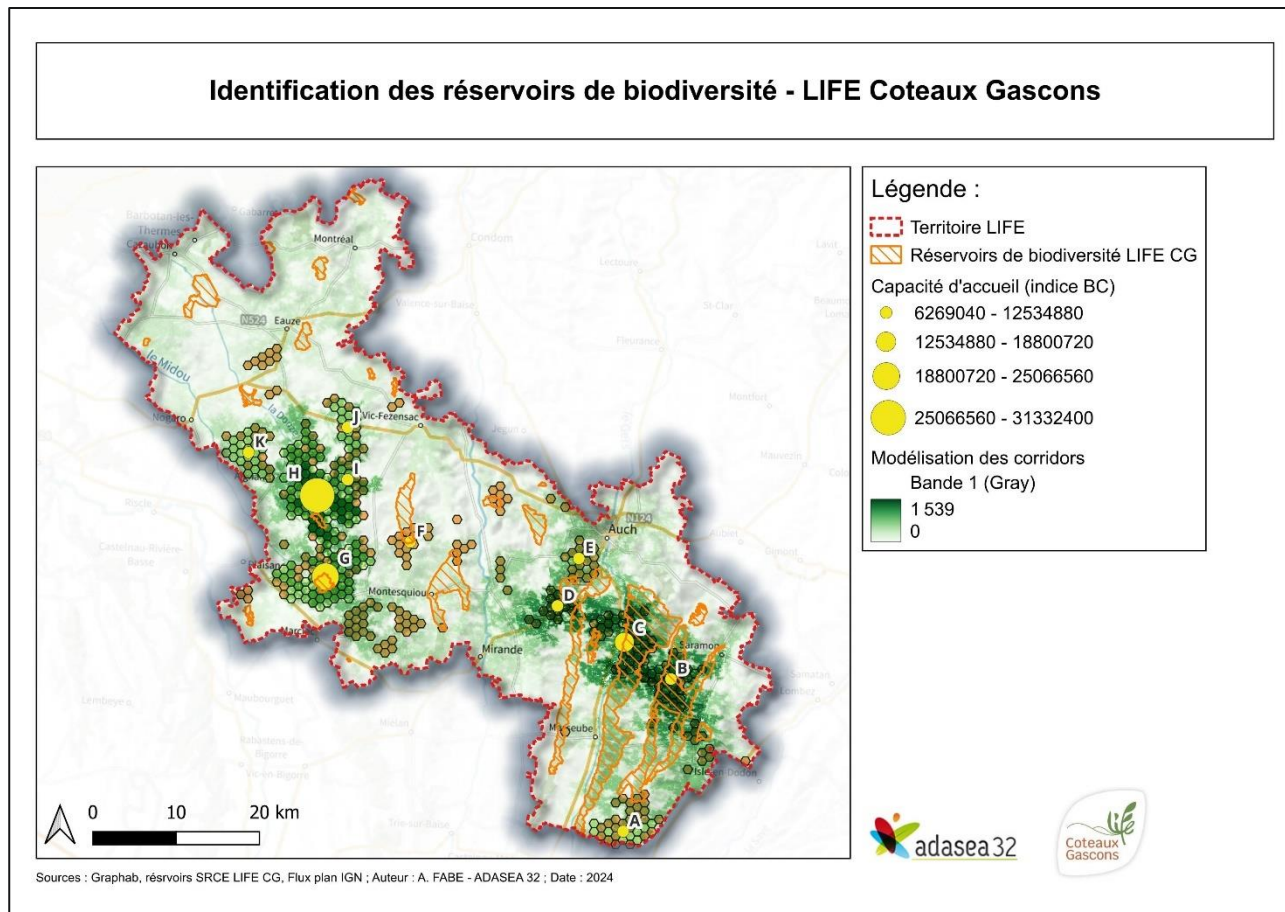
Carte 13 : Modélisation de la fragmentation du paysage
Source : A. FABE (ADASEA 32)

La modélisation réalisée révèle une multitude de secteurs fortement fragmentés, mis en évidence par la coloration rouge sur la carte. Parallèlement, elle souligne l'importance de préserver certaines zones où les milieux ouverts agropastoraux demeurent relativement préservés. La région Centre-Ouest, déjà identifiée dans les précédentes analyses (hétérogénéité et capacité d'accueil), ressort également comme une zone clé grâce à cet outil d'analyse de la fragmentation. Il est impératif d'accorder une attention particulière à cette zone dans l'élaboration de stratégies de gestion et de conservation de la biodiversité au sein du LIFE Coteaux Gascons.

En outre, d'autres zones requièrent également une attention spéciale, notamment à l'ouest de Saramon et aux abords du lac de la Gimone, également identifiées dans les analyses. Ces régions identifiées comme étant sensibles à la fragmentation présentent des enjeux importants en termes de préservation des écosystèmes et de maintien de la biodiversité. Leur intégration dans les plans de gestion et de conservation s'avère donc primordiale pour assurer la protection des habitats naturels et la pérennité des espèces dans le cadre du LIFE Coteaux Gascons.

E. IDENTIFICATION DES RESERVOIRS DE BIODIVERSITE COMPLEMENTAIRES

L'analyse de l'hétérogénéité des paysages, l'étude sur la fragmentation des habitats et l'utilisation de la théorie des graphes pour modéliser les capacités d'accueil ont été des outils essentiels dans l'identification des secteurs clés pour le développement de la biodiversité dans le cadre du projet LIFE Coteaux Gascons. Ces secteurs ont été cartographiés et numérotés de 1 à 11 sur la carte fournie.



Carte 14 : Identification des réservoirs de biodiversité
Source : A. FABE (ADASEA 32)

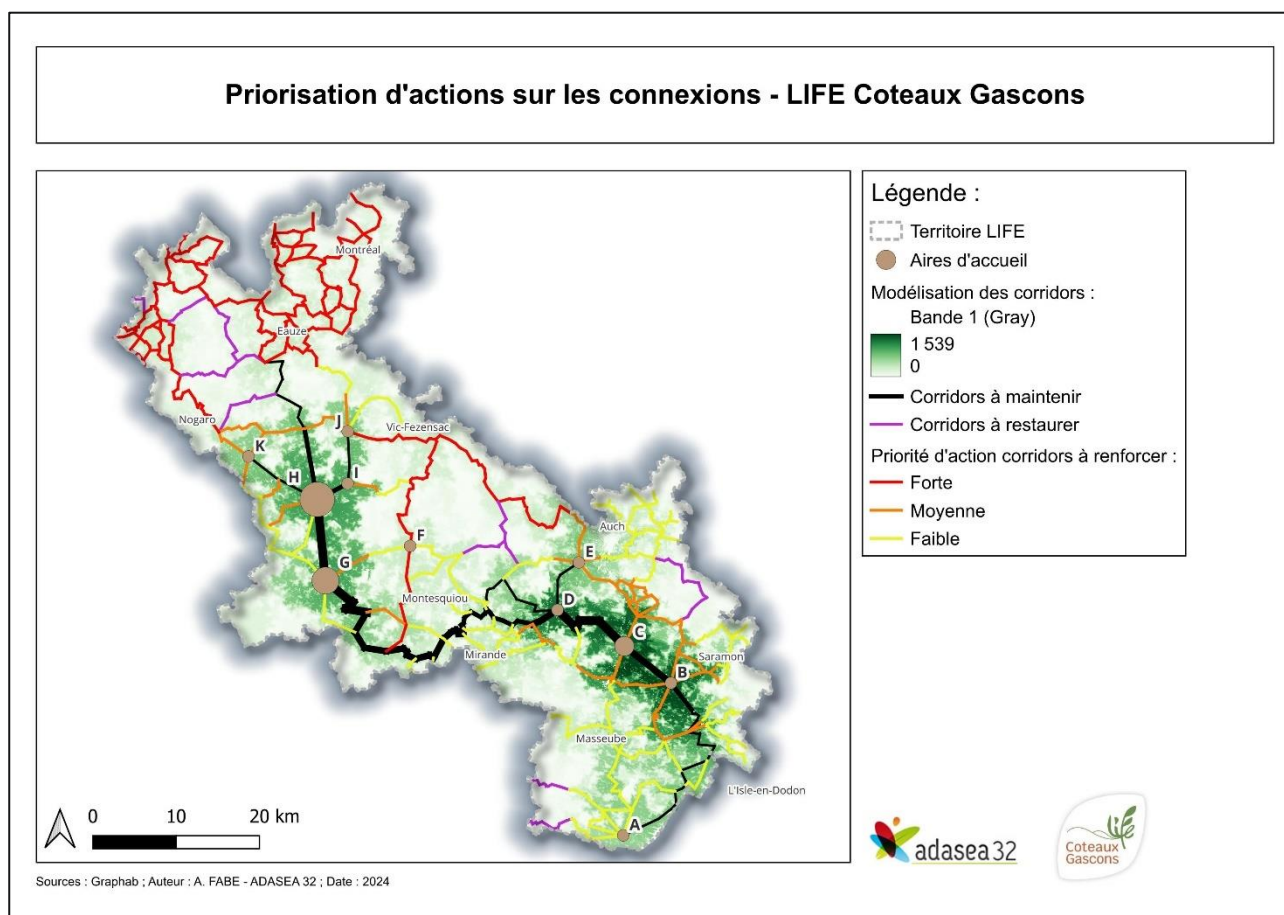
Parmi ces secteurs, les points H et G se distinguent par leur importance prédominante. Ils ont déjà été reconnus comme des réservoirs de biodiversité dans la couche de données du projet LIFE Coteaux Gascons, et ils nécessitent donc une attention particulière dans leur gestion future pour garantir leur préservation et leur développement.

D'autre part, les points F, D, C et B ont été identifiés soit dans les réservoirs de biodiversité existants, soit à proximité selon les données du Schéma Régional de Cohérence Écologique (SRCE). Ils jouent un rôle essentiel dans le maintien de la biodiversité locale et doivent donc être pris en compte dans les stratégies de gestion, en veillant à ce que leurs caractéristiques uniques et leur intégration dans les écosystèmes environnants soient préservées.

Enfin, les points I, J, K, E et A, bien qu'ils n'aient pas été précédemment identifiés dans la couche de réservoirs de biodiversité, se révèlent être des points stratégiques de connexion dans le territoire du projet LIFE. Leur importance dans la préservation de la connectivité écologique en fait des éléments cruciaux à protéger et à intégrer dans les plans de gestion de la biodiversité.

F. IDENTIFICATION DES CORRIDORS COMPLEMENTAIRES

Dans nos analyses précédentes, nous avons identifié un axe de déplacement transversal allant de l'Isle en Dodon (hors zone LIFE) à Aignan. Cependant, le nord du territoire semble être isolé en raison du développement de certaines activités humaines, notamment les grandes cultures et les vignobles, ainsi que des particularités des sols (acides dans la région de l'Armagnac et calcaires dans l'Astarac). C'est pourquoi nos recommandations d'actions se concentrent particulièrement sur cette région, comme indiqué par les tracés rouges sur la carte suivante.



Carte 15 : Identification des priorités d'action de connexion
Source : A. FABE (ADASEA 32)

Dans le cadre du projet LIFE Coteaux Gascons, une approche stratégique a été adoptée pour cibler les interventions nécessaires afin de préserver les écosystèmes fragiles et la biodiversité dans les régions déterminantes. Trois niveaux de priorité ont été établis. L'utilisation de Graphab a permis d'identifier les corridors prioritaires forts, en sélectionnant les chemins de moindre coût dans les zones qui n'ont pas été modélisées par les corridors (tracé rouge et violet sur la carte). Cette approche met en évidence la nécessité d'intervenir dans ces régions, dont l'état de dégradation ne lui a pas permis d'être pris en compte dans la modélisation de l'état actuel du territoire. Par conséquent, une action prioritaire est nécessaire pour restaurer ces zones fortement dégradées et pour garantir la préservation des écosystèmes fragiles et de la biodiversité dans le cadre du LIFE Coteaux Gascons.

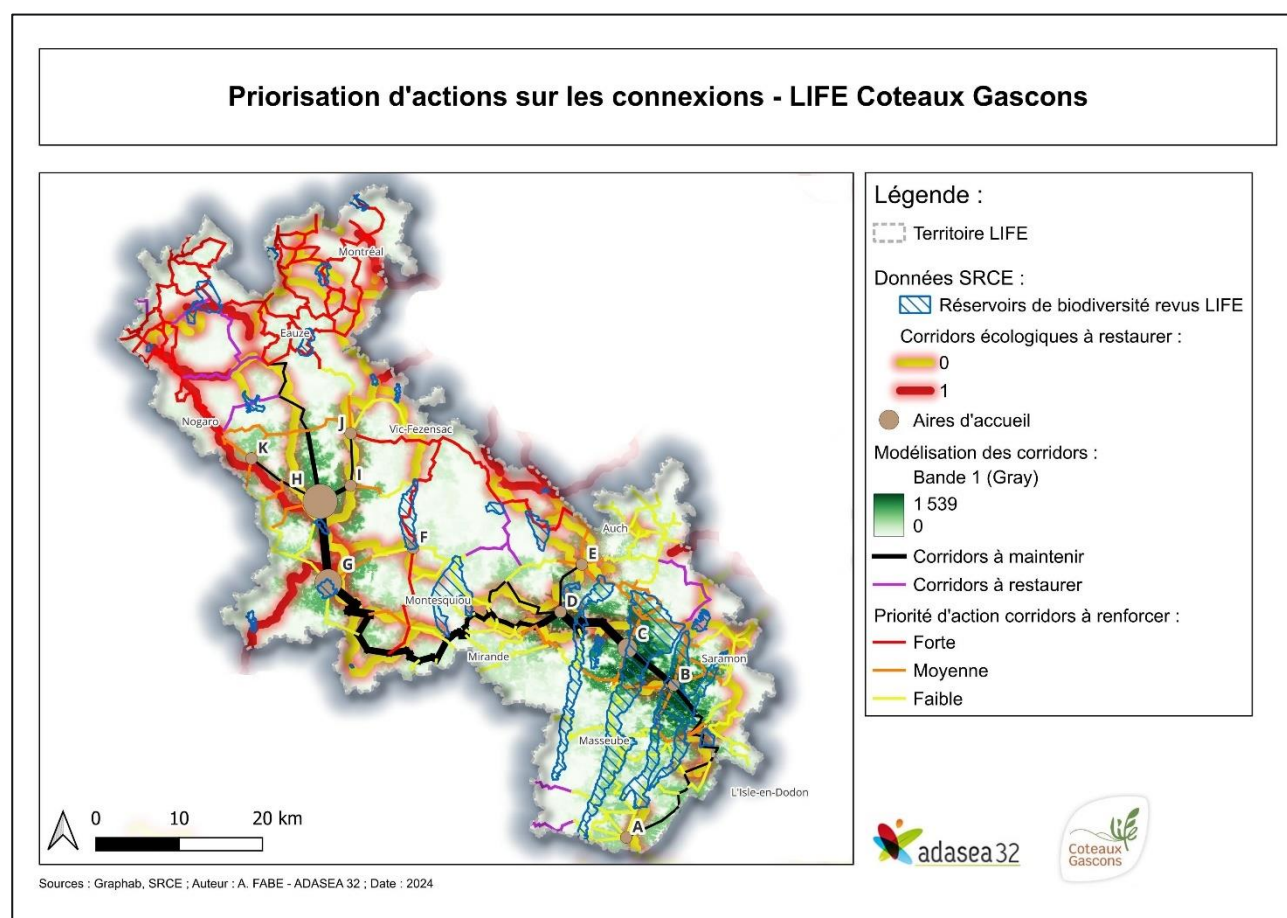
Le deuxième niveau de priorité moyenne est établi par la sélection des chemins de moindre coût situés dans les zones modélisées fortes dans les corridors via Graphab (tracé orange sur la carte reliant la modélisation des corridors). Ensuite, ceux situés dans les zones modélisées faibles bénéficient d'une priorité faible (tracé jaune). Cette stratégie permet de concentrer les ressources et les efforts là où ils

sont le plus nécessaires, maximisant ainsi l'impact positif du projet LIFE Coteaux Gascons sur la préservation de la nature et la durabilité des écosystèmes locaux.

Les corridors établis dans cette étude viennent compléter le travail effectué dans le cadre du SRCE. On note que certains tracés identifiés par le LIFE sont identiques à ceux du SRCE (exemple corridor de Mirande à Nogaro).

Le LIFE propose les secteurs complémentaires suivants :

- Sud de Masseube
- Autour d'Auch
- Sud de Mirande
- Entre le Nord de Montesquiou et Vic-Fezensac
- Dans l'Armagnac



Carte 16 : Identification des priorités d'action de connexion avec les données du SRCE
Source : A. FABE (ADASEA 32)

III. BIBLIOGRAPHIE

GRAPHAB : Foltête J.-C., Vuidel G., Savary P., Clauzel C., Sahraoui Y., Girardet X. & Bourgeois M. , 2021. Graphab: an application for modeling and managing ecological habitat networks Software Impacts, 8: 100065.

FRAGSTATS : Guide utilisateur et formation MR Environnement

FRAGSCAPE : Guide utilisateur de Mathieu Chailloux (outils TETIS)

Choix d'une grille hexagonale : Support ArcGIS ESRI

IV. ANNEXES

Annexe 1 : Principales caractéristiques de quelques indices quantitatifs à l'échelle de l'unité paysagère et de la sous-trame (Source MR Environnement)

Indice	Paramètre mesuré	Critère	Interprétation	Sens	Unité	Commentaire sur l'interprétation
Related circumscribing circle (CIRCLE)	Forme de l'unité paysagère	Compacité	$0 \leq \text{CIRCLE} \leq 1$. Est égal à 0 quand le patch est circulaire et à 1 quand il est allongé avec une largeur de 1 cellule.	-	N/A	Cet indice mesure l'allongement général de l'unité paysagère; il est indépendant de la surface de l'unité paysagère.
Euclidean nearest neighbor distance (ENN)	Distance au plus proche voisin	Connectivité	$0 < \text{ENN}$. La valeur est faible quand l'unité paysagère la plus proche de la même sous-trame est proche, elle augmente avec l'éloignement de l'unité paysagère de la même sous-trame la plus proche.	-	m	Mesure la plus courte distance entre l'unité paysagère focus et l'unité paysagère la plus proche appartenant à la même sous-trame dans le paysage.
Proximity index (PROX)	Occupation de l'espace par les plus proches voisins dans un rayon prédéfini	Connectivité	$\text{PROX} \geq 0$. Est égal à 0 quand aucune unité paysagère du même type n'est présente dans le rayon de recherche spécifié. Augmente avec l'augmentation du nombre d'unités paysagères du même type et avec leur agrégation dans le rayon de recherche.	+	N/A	Prend aussi en compte la taille des unités paysagères dans un rayon de recherche défini. Plus le nombre d'unités paysagères dans le rayon de recherche est élevé et avec une grande taille, plus l'indice est élevé (agrégation).
Core area (CORE)	Surface de zone « cœur » au-delà de la profondeur de lisière prédéfinie	Qualité	$\text{CORE} \geq 0$. Est égal à 0 quand il n'y a pas de zone cœur (en tout point de l'unité paysagère, on se trouve dans des conditions de lisière). La valeur augmente avec l'accroissement de la zone cœur située au-delà de la largeur de lisière définie au départ : plus l'unité est compacte et de grande taille; plus la valeur de l'indice s'approche de la valeur de sa surface.	+	ha	Pour le calcul de cet indice, il faut définir une largeur de lisière : soit une valeur fixe quel que soit le type de lisière ; soit il est possible de définir des profondeurs de lisières différentes en fonction du type de sous-trame.
Patch size (AREA)	Surface de l'unité paysagère	Surface	$\text{AREA} > 0$. Augmente avec l'augmentation de la surface de l'unité paysagère.	+	ha	
Shape index (SHAPE)	Complexité de la lisière	Hétérogénéité	$\text{SHAPE} \geq 1$. Est égal à 1 quand l'unité paysagère est de forme carrée et augmente sans limite lorsque la forme de l'unité paysagère se complexifie.	+	N/A	Mesure la forme d'une unité paysagère en la comparant à une unité paysagère de même surface mais de forme carrée. Cet indice est indépendant de la surface de l'unité paysagère.
Edge contrast index (ECON)	Contraste des lisières	Hétérogénéité	$0 \leq \text{ECON} \leq 100$. ECON est égal à 0 si le paysage est constitué d'une seule unité paysagère. ECON est aussi égal à 0 quand toutes les lisières sont complètement "transparentes" pour la biodiversité (contraste nul). ECON est égal à 100 quand toutes les lisières ont un contraste maximal.	-	%	Le calcul de cet indice nécessite la création d'une matrice de contraste qui définit la transparence de la lisière pour la biodiversité pour chaque paire de sous-trames.
Similarity index	Similarité avec les unités paysagères environnantes	Hétérogénéité	$\text{SIMI} \geq 0$. SIMI est égal à 0 si l'ensemble des unités paysagères dans l'environnement de l'unité focus (définie sur la base d'un rayon de recherche) ont une similarité nulle avec cette dernière (ils sont très différents). SIMI augmente si le nombre d'unités paysagères et leur similarité avec l'unité focus augmentent dans son environnement.	+	N/A	Le calcul de cet indice nécessite d'une part de définir un rayon de recherche autour des unités paysagères mais également de préparer une matrice de similarité entre toutes les sous-trames deux à deux.

Indice	Paramètre mesuré	Critère	Interprétation	Sens	Unité	Commentaire sur l'interprétation
Area-Weighted mean patch radius of gyration (GYRATE_AM)	Compacité / surface "moyenne" pondérée par la surface	Compacité / surface	$0 \leq \text{GYRATE_AM} < \infty$. GYRATE_AM est élevé quand les unités paysagères de la sous-trame étudiée sont globalement grandes et compactes dans le paysage étudié; la valeur est faible quand les unités paysagères sont globalement petites et de forme allongée.	+	m	Cet indice dépend à la fois de la surface des unités paysagères et de leur compacité : une unité paysagère compacte de grande taille sera caractérisée par une valeur plus élevée qu'une unité compacte de petite taille.
Mean euclidean nearest neighbor distance (ENN_MN)	Distance moyenne au plus proche voisin	Connectivité	$0 < \text{ENN_MN}$. ENN_MN est faible quand les unités paysagères de la sous-trame étudiée sont globalement proches les unes des autres dans le paysage étudié; elle est élevée quand les unités paysagères de la sous-trame étudiée sont plutôt éloignées les unes des autres (dispersion / fragmentation des habitats du même type).	-	m	Mesure la moyenne de la plus courte distance entre chaque paire d'unités paysagères de la même sous-trame dans le paysage.
Mean Proximity index (PROX_MN)	Occupation moyenne de l'espace par les plus proches voisins dans un rayon prédéfini	Connectivité	$\text{PROX} \geq 0$. La valeur est élevée quand les unités paysagères de la sous-trame étudiée sont globalement grandes, nombreuses et proches les unes des autres dans le paysage étudié ; elle est faible quand les unités paysagères sont globalement éloignées les unes des autres et de petite taille.	+	N/A	Le calcul de cet indice demande de définir un rayon de recherche. Cet indice recherche toutes les unités paysagères de la même sous-trame que l'unité paysagère "focus" qui ont une lisière dans le rayon de recherche donné.
Patch density (PD)	Densité des unités paysagères	Connectivité	$\text{PD} > 0$. La valeur maximale est atteinte quand chaque cellule du paysage étudié est une unité paysagère différente. Plus la valeur est élevée, plus le paysage comprend un grand nombre de réservoirs de biodiversité pour la sous-trame étudiée.	+	Nb pour 100 ha	
Patch size Standard deviation (AREA_SD)	Écart-type (variabilité) de la surface des unités paysagères	Hétérogénéité	$\text{AREA_SD} > 0$. Augmente avec l'augmentation de la variabilité de la surface des unités paysagères de la sous-trame étudiée.	+	ha	

Indice	Paramètre mesuré	Critère	Interprétation	Sens	Unité	Commentaire sur l'interprétation
Edge density (ED)	Densité de lisières	Hétérogénéité / fragmentation	$\text{ED} \geq 0$. Est égal à 0 quand il n'y a pas de lisières pour la sous-trame étudiée dans le paysage considéré; c'est-à-dire quand l'ensemble du paysage est constitué de la même sous-trame. Augmente avec l'augmentation de la longueur totale de lisière par unités de surface.	+ / -	m/ha	Cet indice est indépendant de la surface totale du paysage étudié. Son interprétation est ambivalente : si la sous-trame étudiée est minoritaire dans le paysage, une augmentation de l'indice peut être considérée comme positive puisqu'elle signifie qu'on a un grand nombre d'unités paysagères appartenant à cette sous-trame et/ou que les lisières correspondantes sont complexes ; si la sous-trame étudiée est dominante ou bien représentée, une valeur élevée montre une grande fragmentation des habitats naturels correspondants et doit donc être interprétée négativement.
Percentage of Landscape (PLAND)	Proportion du paysage occupé par le type d'unité paysagère concerné	Connectivité	$0 < \text{PLAND} \leq 100$. PLAND est égal à 0 quand la sous-trame étudiée est absente dans le paysage; il est égal à 100 quand le paysage est composé d'une seule unité paysagère.	+	%	Cet indice permet de mesurer l'occupation globale d'une sous-trame dans le paysage
Area-Weighted mean related circumscribing circle (CIRCLE_AM)	Compacité "moyenne" pondérée par la surface	Compacité / surface	$0 \leq \text{CIRCLE_AM} \leq 1$. CIRCLE_AM est élevé quand les unités paysagères de la sous-trame étudiée sont globalement de forme allongée; il est proche de 0 quand les unités paysagères sont globalement de forme circulaire.	-	N/A	Cet indice est indépendant de la taille des unités paysagères.
Connectance index (CONNECT)	Connectivité	Connectivité	$0 < \text{CONNECT} \leq 100$. CONNECT est égal à 0 quand il y a une seule unité paysagère de la sous-trame étudiée dans le paysage ou si aucune de ces unités n'est "connectée". Il est égal à 100 quand toutes les unités de la sous-trame étudiée sont "connectées".	+	%	Cet indice demande de définir une distance de "connection" entre les unités paysagères. Il compare le nombre de connections avec d'autres unités de la même sous-trame dans le rayon défini avec le nombre total de connexions possibles entre unités deux à deux dans le paysage.

Total Edge (TE)	Longueur totale de lisière	Fragmentation	TE ≥ 0 . TE est égal à 0 quand il n'y a pas de lisière dans le paysage, c'est-à-dire qu'il est constitué d'une seule unité paysagère; il augmente ensuite avec l'augmentation de la longueur totale de lisière cumulée pour la sous-trame considérée dans le paysage.	+/-	m	Complètement identique à ED pour comparer des paysages de même surface (c'est le cas par exemple avec l'analyse en fenêtres coulissantes). Son interprétation est ambivalente : si la sous-trame étudiée est minoritaire dans le paysage, une augmentation de l'indice peut être considérée comme positive puisqu'elle signifie qu'on a un grand nombre d'unités paysagères appartenant à cette sous-trame et/ou que les lisières correspondantes sont complexes ; si la sous-trame étudiée est dominante ou bien représentée, une valeur élevée montre une grande fragmentation des habitats naturels correspondants et doit donc être interprétée négativement.
Total Edge contrast index (TECI)	Contraste des lisières	Hétérogénéité / fragmentation	$0 < \text{TECI} \leq 100$. TECI est égal à 0 quand il n'y a pas de lisière dans le paysage considéré, c'est-à-dire quand le paysage est constitué d'une seule unité paysagère. Il approche aussi 0 quand le contraste entre les lisières présentes est faible. TECI est égal à 100 quand toutes les lisières présentent un contraste maximum. Il augmente donc avec la longueur totale de lisière de la sous-trame considérée et avec leur niveau de contraste avec les unités paysagères adjacentes.	-	%	

Annexe 2 : Liste des métriques de connectivité et leur niveau de calcul présentes dans Graphab
(Sourcesup par RENATER)

Famille	Métrique de connectivité	Code	Niveau de calcul			Delta métriques
			Global	Comp.	Local	
Métriques pondérées	Flux	F	×	×	×	
	Connectivité équivalente	EC	×	×		×
	Probabilité de Connectivité	PC	×	×		×
	Flux d'interaction (remplace FPC)	IF			×	
	Fractions de delta Probabilité de Connectivité	dPC				×
	Indice de centralité intermédiaire	BC			×	
	Indice Intégral de Connectivité	IIC	×	×		×
	Flux circuit	CF			×	
Métriques de surface	Taille moyenne des composantes	MSC	×			
	Taille de la plus grande composante	SLC	×			
	Probabilité de coïncidence de classe	CCP	×			
	Taille de composante attendue	ECS	×			
Métriques topologiques	Degré du noeud	Dg			×	
	Coefficient de groupement	CC			×	
	Centralité de proximité	CCe			×	
	Excentricité	Ec			×	
	Corrélation de connectivité	CCor			×	
	Nombre de composantes	NC	×			
	Diamètre	GD	×	×		×
	Indice d'Harary	H	×	×		×
	Lambda de Wilks	W	×			

Terme	Signification
n	Nombre de taches
nc	Nombre de composantes
n_k	Nombre de taches de la composante k
N_i	Ensemble des taches voisines de la tache i
a_i	Capacité de la tache i (en général sa surface)
ac_k	Capacité de la composante k (somme des capacités des taches qui la composent)
A	Surface de la zone d'étude
d_{ij}	distance entre les taches i et j (en général la distance de moindre coût qui les sépare)
$e^{-\alpha d_{ij}}$	Probabilité de déplacement entre les taches i et j
α	Frein de la distance vis-à-vis des déplacements
β	Exposant permettant de pondérer plus ou moins la capacité

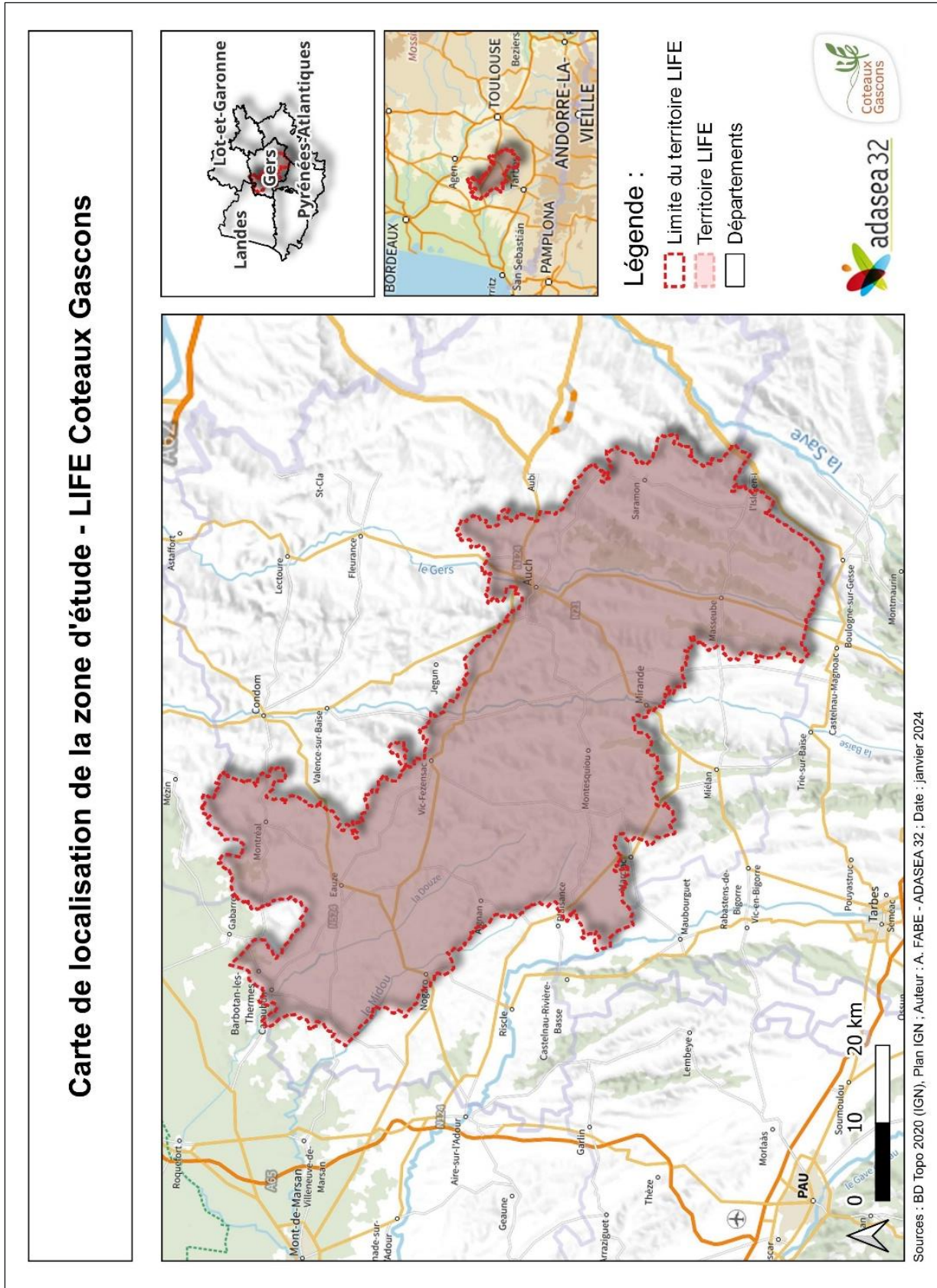
Connectivité équivalente (<i>EC</i>)	Formule	Signification
Niveau global Niveau composante Delta	$EC = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j e^{-\alpha d_{ij}}}$	Racine carrée de la somme des produits de la capacité de tous les couples de tâches pondérées par leur probabilité d'interaction.
Valeurs	L'unité correspond à l'unité des capacités des tâches. Valeur minimale : 0 Valeur maximale : capacité totale des tâches	
Commentaire	Pour chaque couple de tâches, le chemin du graphe utilisé est celui qui maximise $e^{-\alpha d}$, c'est-à-dire celui qui minimise la distance d (ou le coût) entre les tâches i et j .	
Référence	[Saura et al.(2011)]	

Flux d'interaction (<i>IF</i>)		
	Formule	Signification
Niveau local	$IF_i = \sum_{j=1}^n a_i^\beta a_j^\beta e^{-\alpha d_{ij}}$	Somme des produits de la capacité de la tâche focale avec toutes les autres tâches, pondérées par leur probabilité d'interaction. Cette métrique remplace l'ancienne métrique <i>FPC</i> nommée <i>PC_{flux}</i> dans les articles.
Valeurs	Valeur minimale : 0 Valeur maximale : somme des capacités	
Commentaire	Pour chaque couple de tâches, le chemin du graphe utilisé est celui qui maximise $e^{-\alpha d}$, c'est-à-dire celui qui minimise la distance d (ou le coût) entre les tâches i et j . Cette métrique correspond à la contribution locale d'une tâche à l'indice <i>PC</i> : $PC = \frac{1}{A^2} \sum_i IF_i$ avec $\beta = 1$. Elle équivaut à $dPC_{flux} + dPC_{area}$ non divisé par la valeur globale du <i>PC</i> . Cependant la métrique <i>IF</i> est obtenue plus rapidement car son calcul n'est pas fondé sur la suppression itérative des tâches (mode delta).	
Références	[Foltête et al.(2014)],[Sahraoui et al.(2017)]	

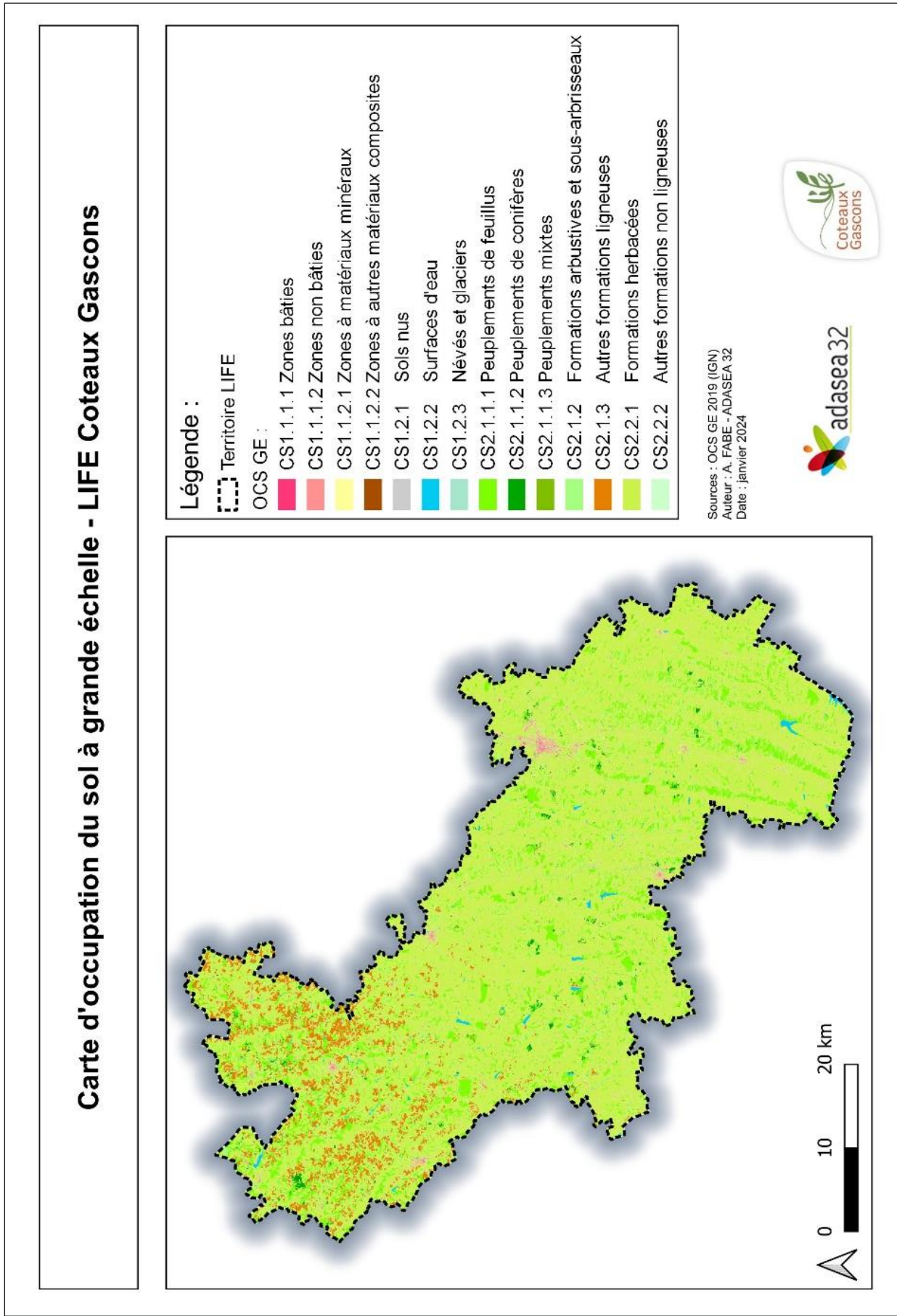
Indice de centralité intermédiaire (BC)	Formule	Signification
Niveau local	$BC_i = \sum_j \sum_k a_j^\beta a_k^\beta e^{-\alpha d_{jk}}$ $j, k \in \{1..n\}, k < j, i \in P_{jk}$	Somme des plus courts chemins passant par la tache focale i, chaque chemin étant pondéré par le produit des capacités des taches reliées et de leur probabilité d'interaction. P_{jk} représente l'ensemble des taches traversées par le plus court chemin entre les taches j et k.
Valeurs	Les valeurs dépendent du paramétrage. Elles correspondent à un poids de transit potentiel. Valeur minimale : 0 Valeur maximale : surface totale de l'habitat au carré.	
Commentaire	Avec un paramétrage de $\alpha = 0$ et $\beta = 0$ (pondération uniforme des chemins), on retrouve l'indice BC tel qu'il est utilisé dans d'autres types de graphes. Un paramétrage de $\alpha = 0$ et $\beta = 1$ donne aux chemins un poids égal au produit des capacités des taches qu'ils relient, quelle que soit leur distance. Dans [Foltête et al.(2012a), Foltête et al.(2012b)], l'indice BC_l a été proposé pour pondérer plus fortement les chemins supérieurs au critère choisi (distance de dispersion par exemple). Mais des tests ont ensuite montré que cet indice était très fortement corrélé au BC pondéré avec $\alpha = 0$. Dans [Bodin and Saura(2010)], le BC_{pc} correspond au BC pondéré avec d égal à la distance de dispersion, α tel que $e^{-\alpha d} = 0.05$ et $\beta = 1$.	
Références	[Bodin and Saura(2010)] [Foltête et al.(2012a)]	

V. ATLAS CARTOGRAPHIQUE

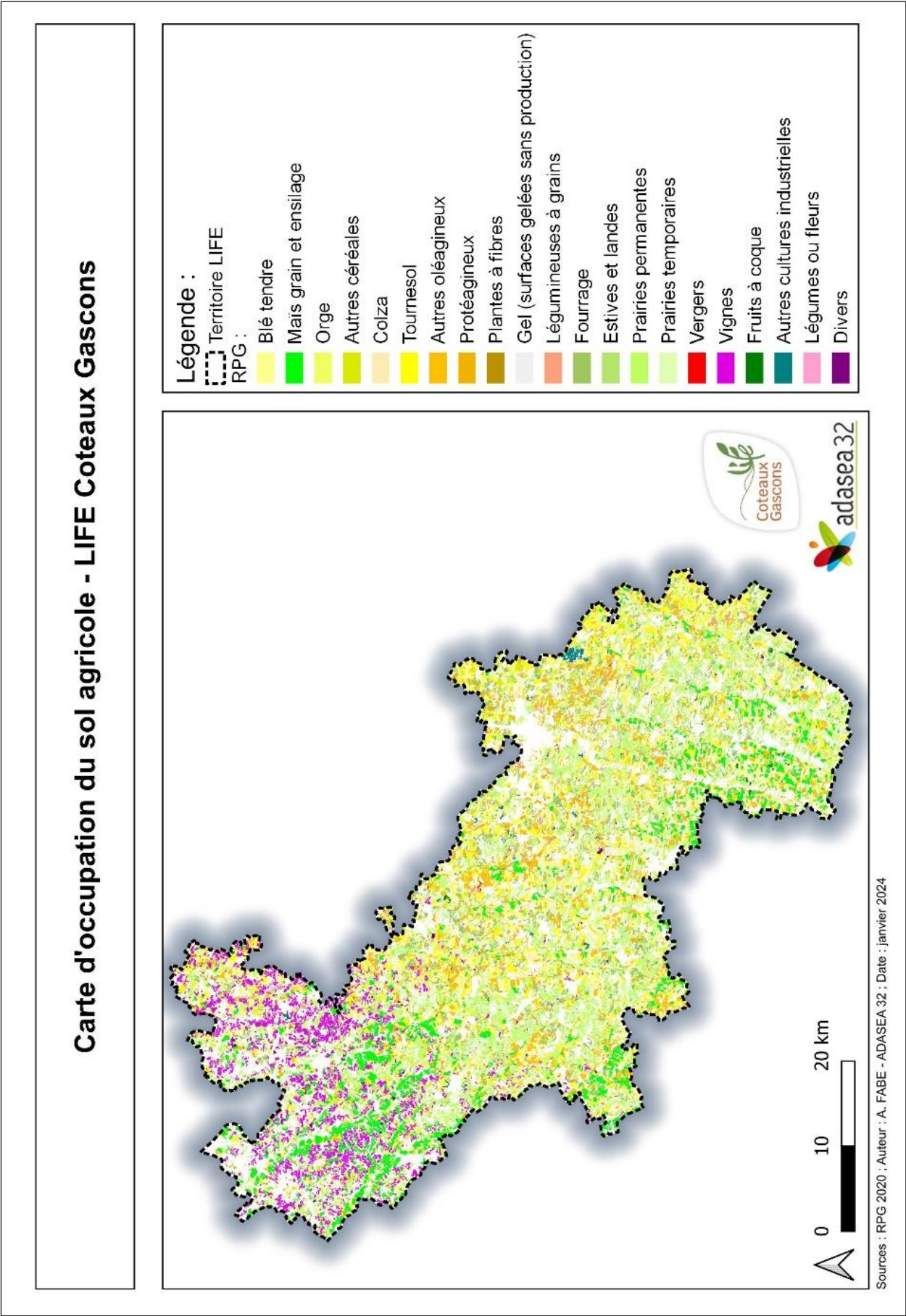
Carte 1 : Localisation de la zone d'étude



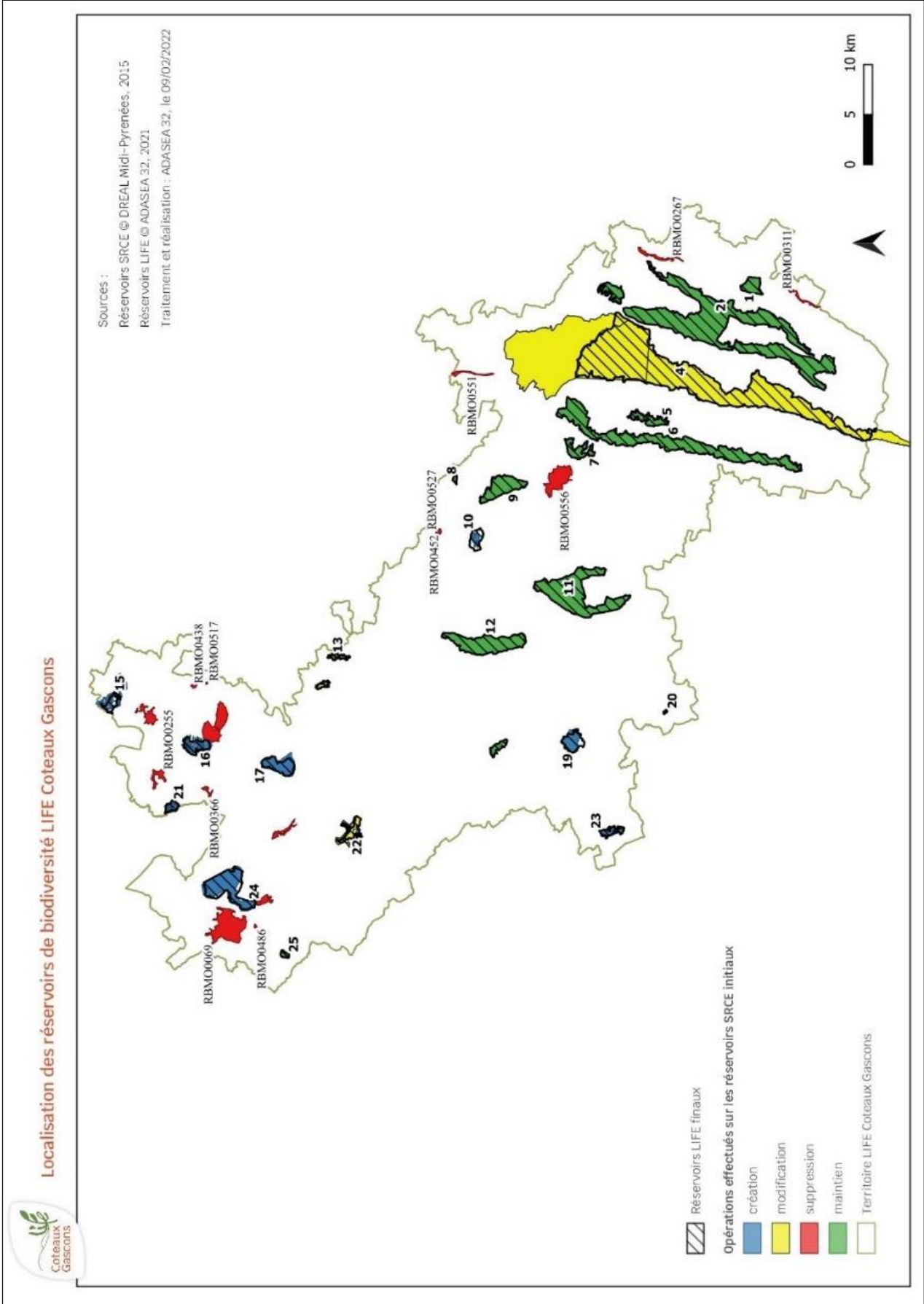
Carte 2 : L'occupation du sol à grande échelle



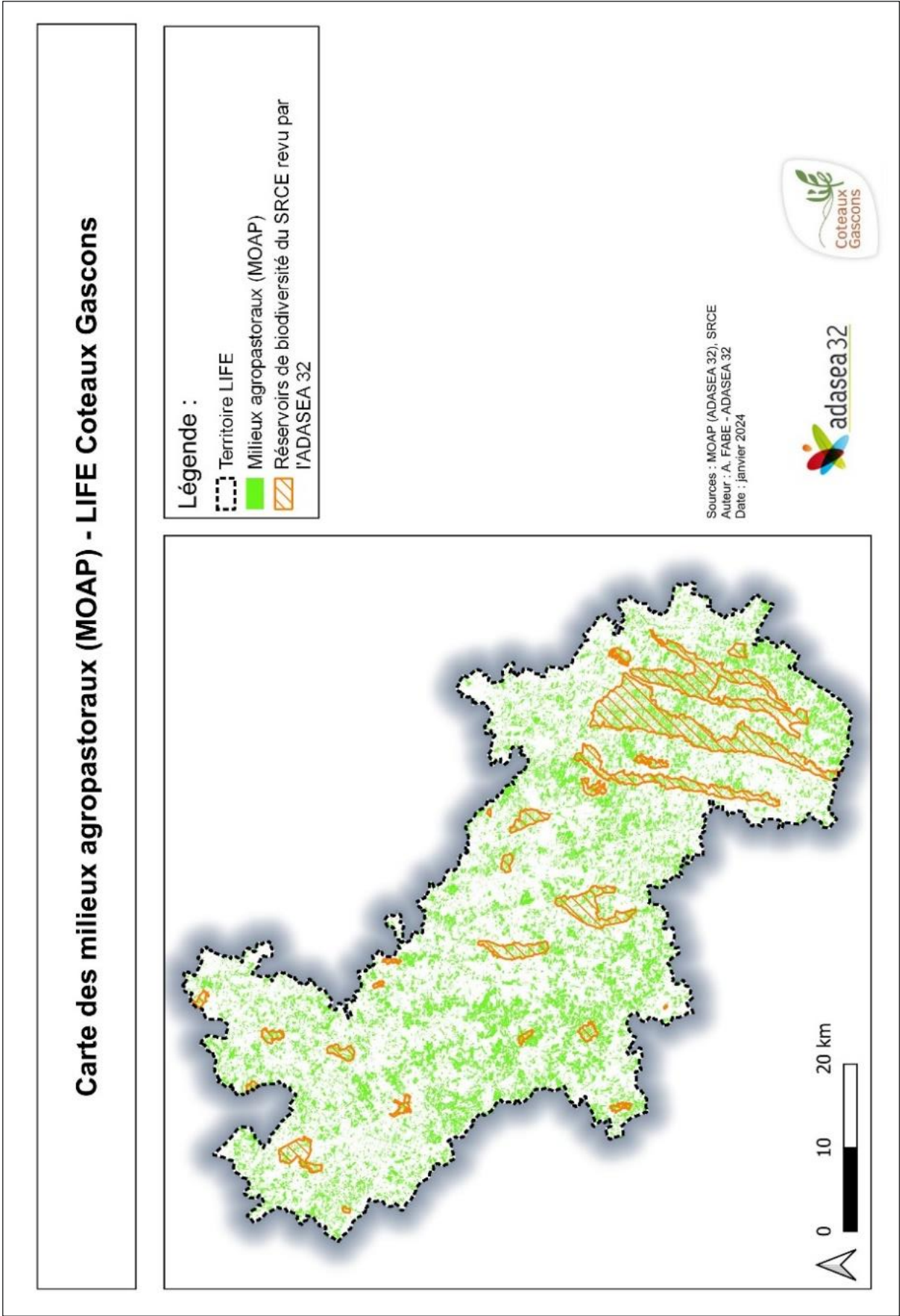
Carte 3 : L'occupation du sol agricole



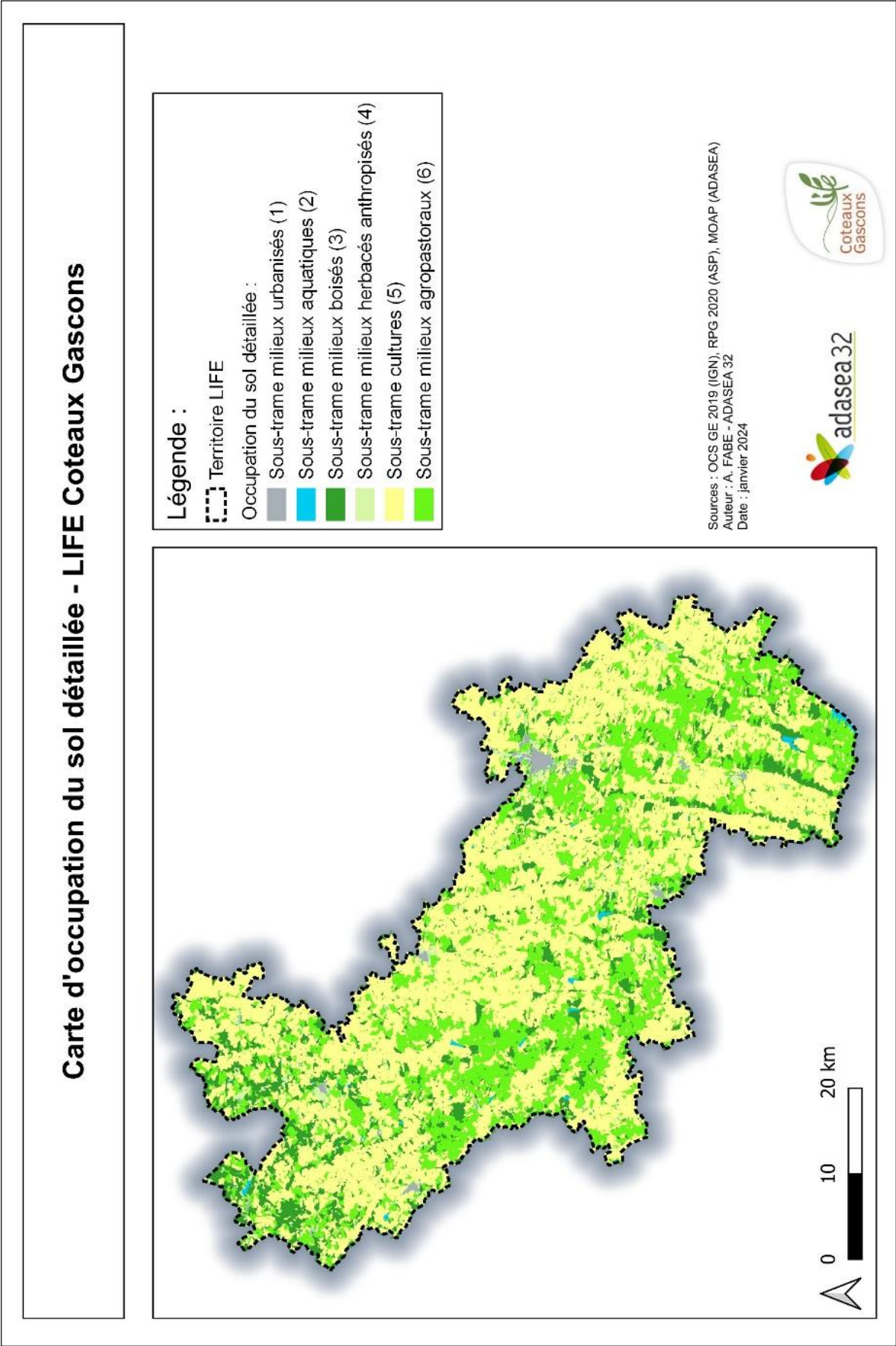
Carte 4 : Localisation des réservoirs de biodiversité LIFE Coteaux Gascons



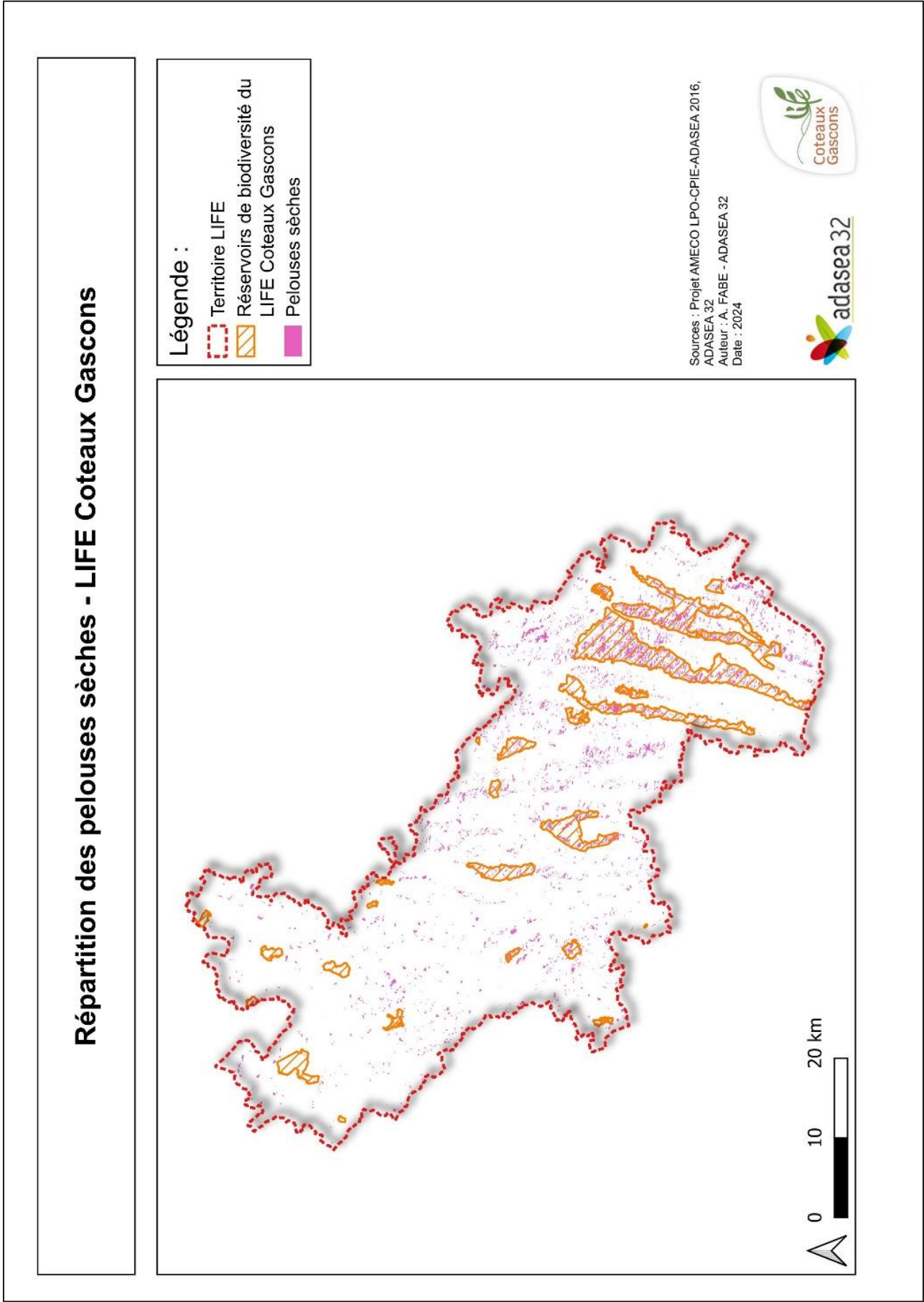
Carte 5 : Les milieux agropastoraux (MOAP)



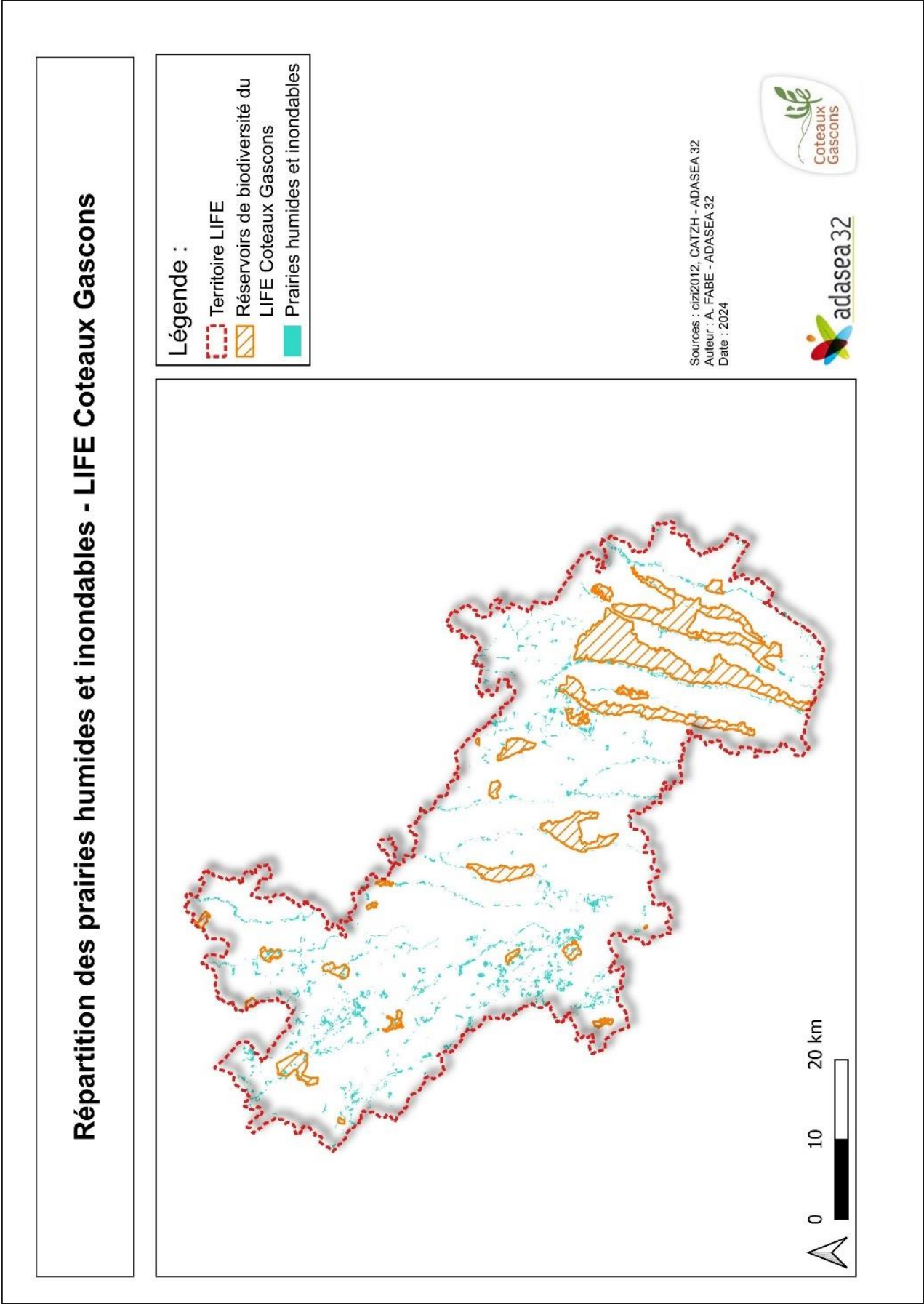
Carte 6 : L'occupation du sol détaillée



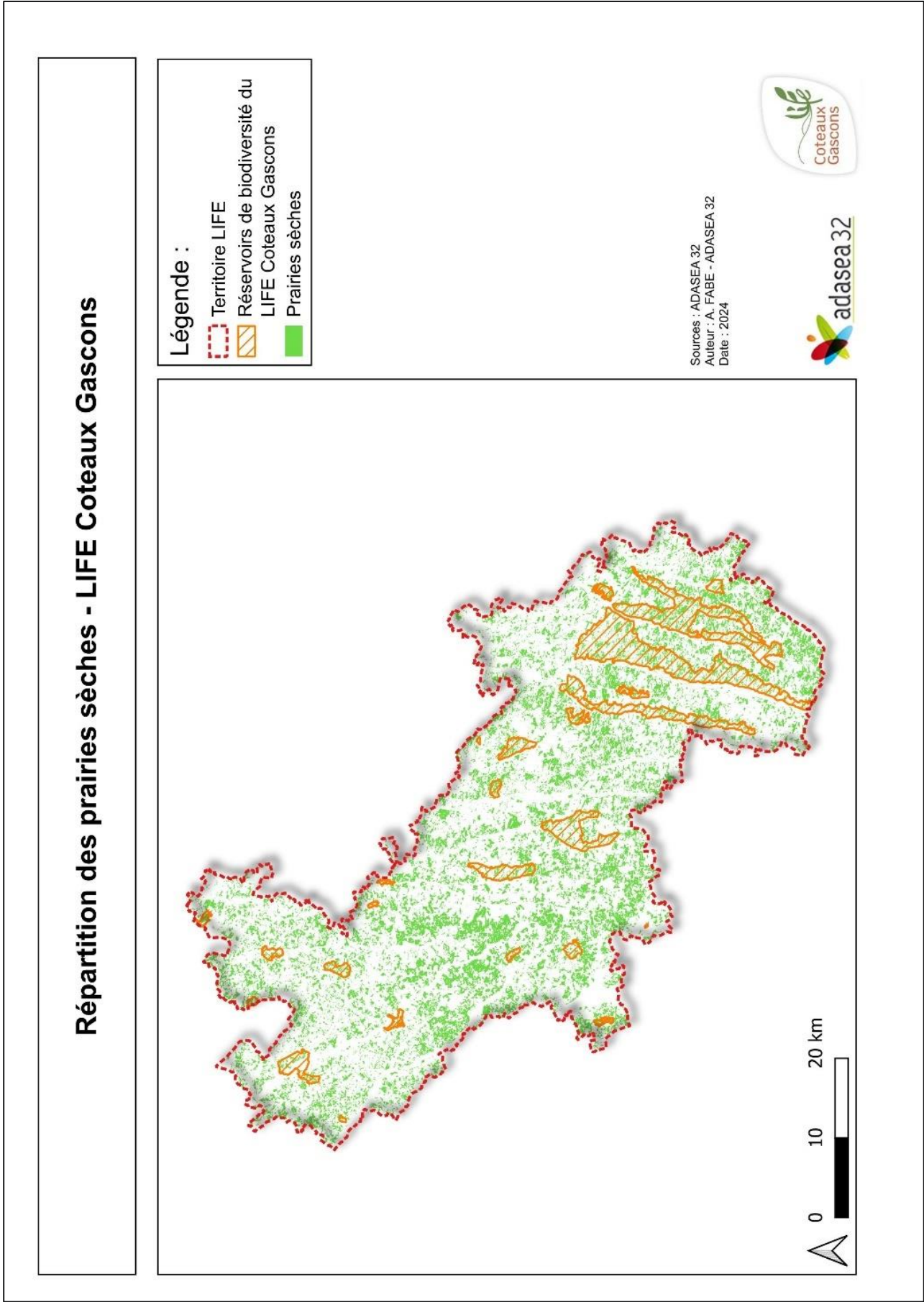
Carte 7 : Répartition des pelouses sèches



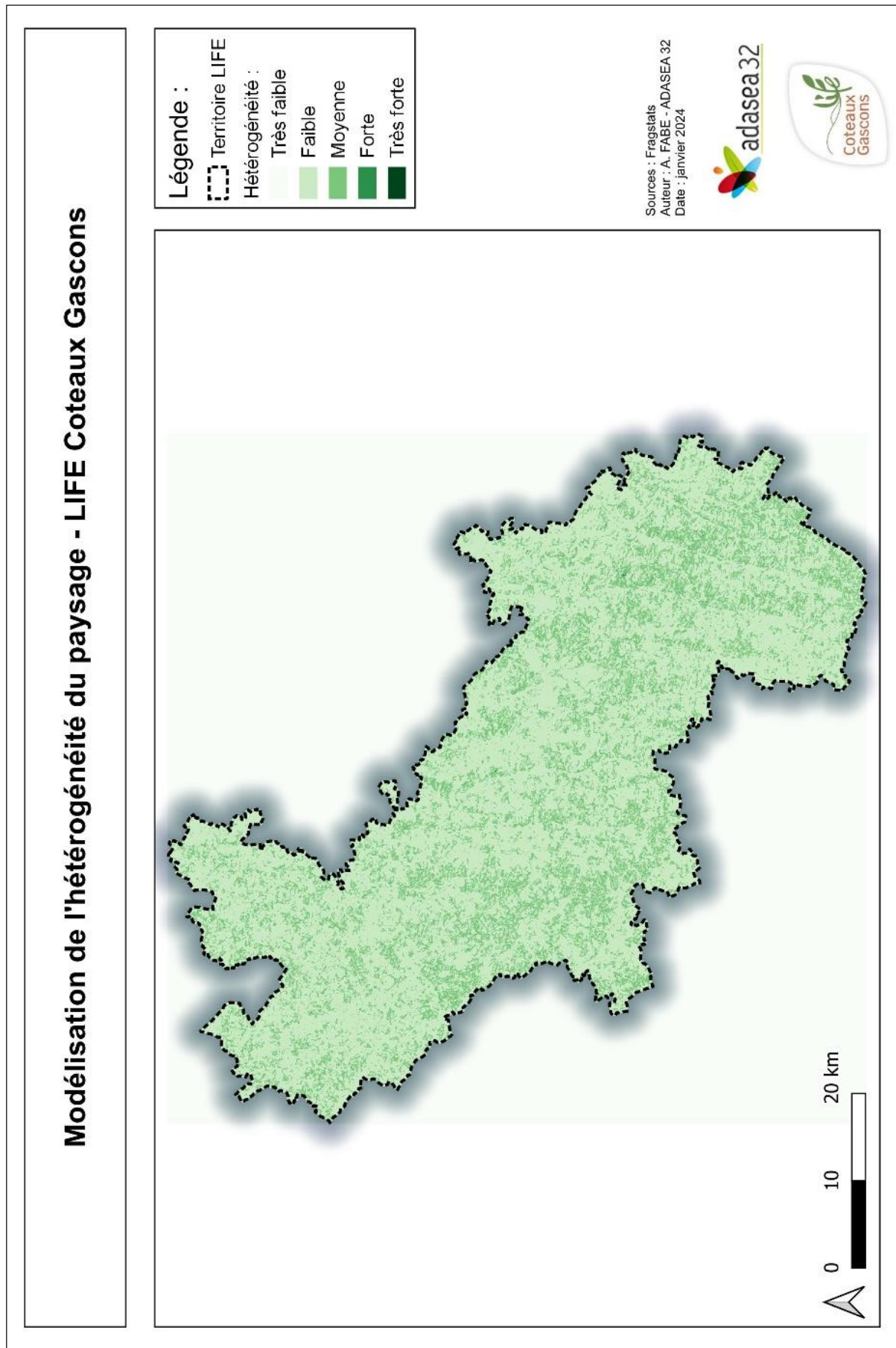
Carte 8 : Répartition des prairies humides et inondables



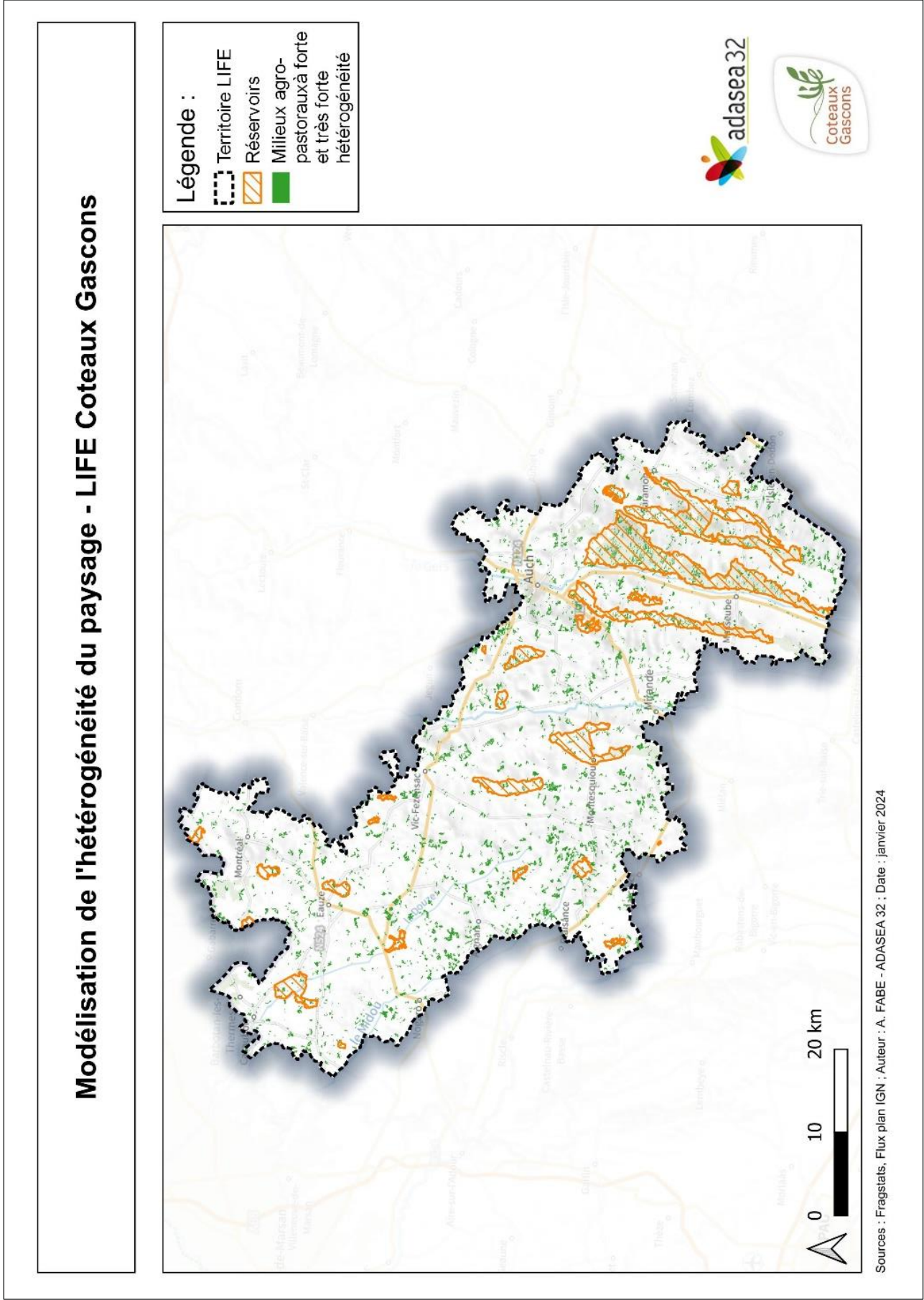
Carte 9 : Répartition des prairies sèches



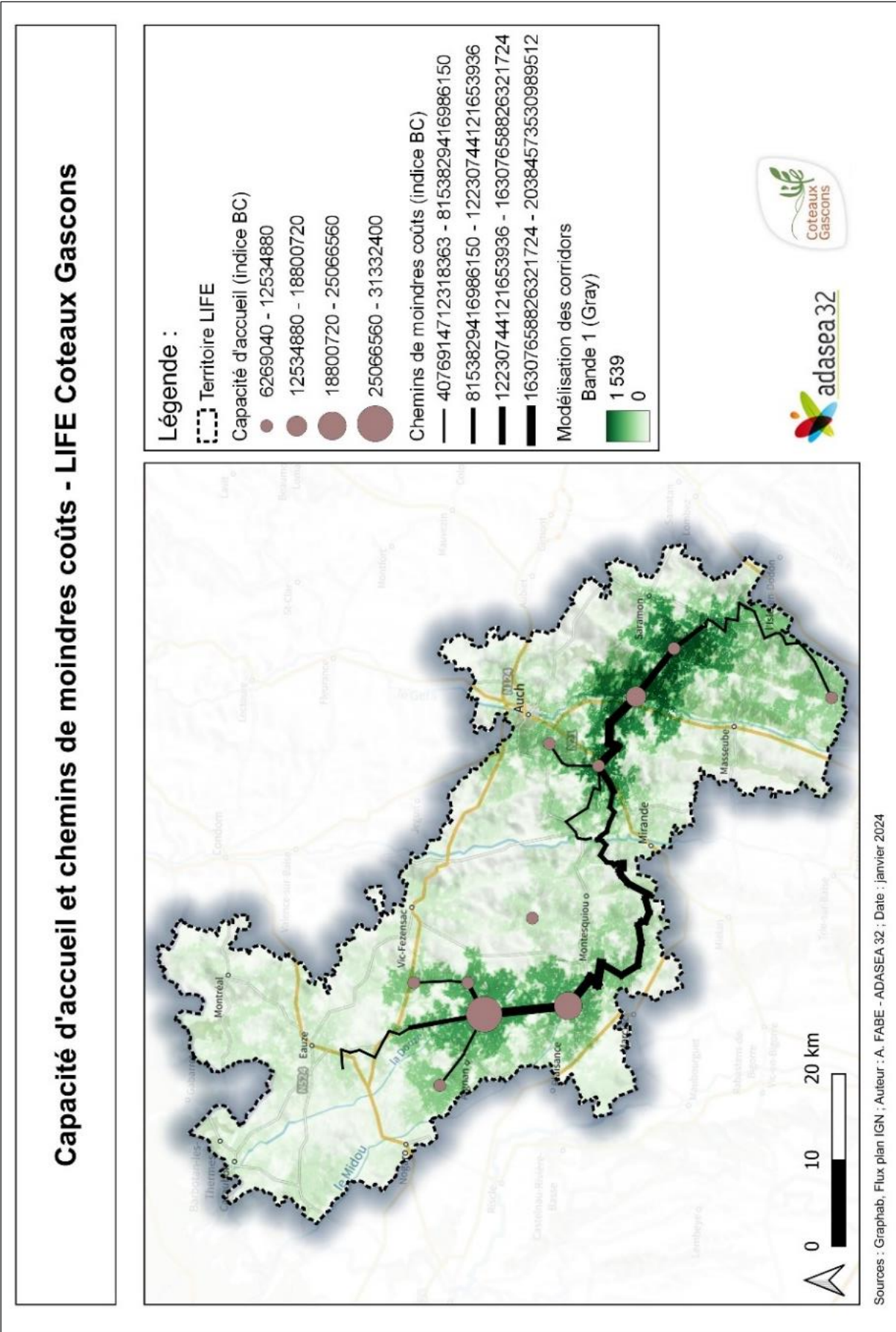
Carte 10 : Modélisation de l'hétérogénéité du paysage



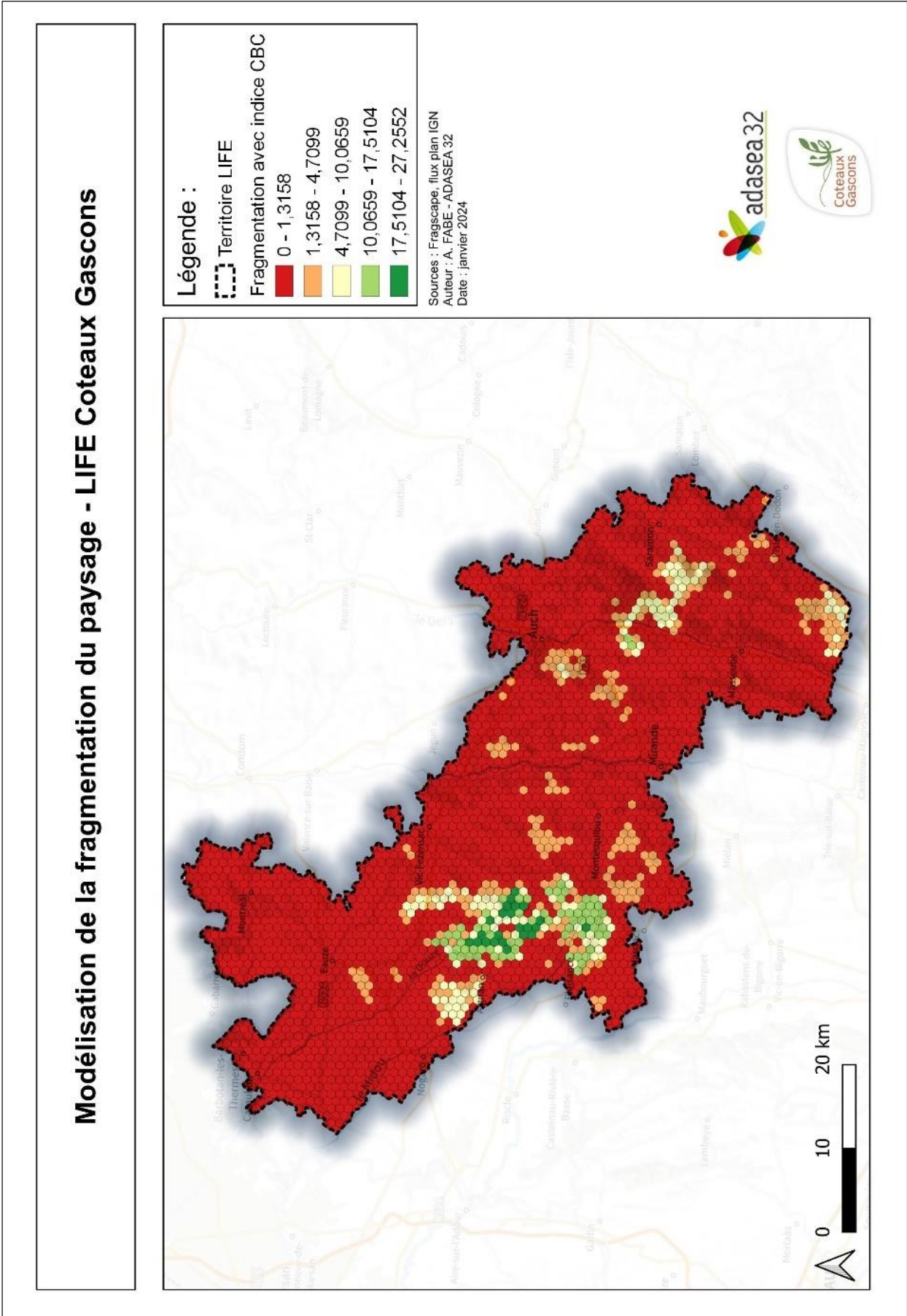
Carte 11 : Les milieux agropastoraux à forte et très forte hétérogénéité



Carte 12 : Capacité d'accueil et chemins de moindres coûts

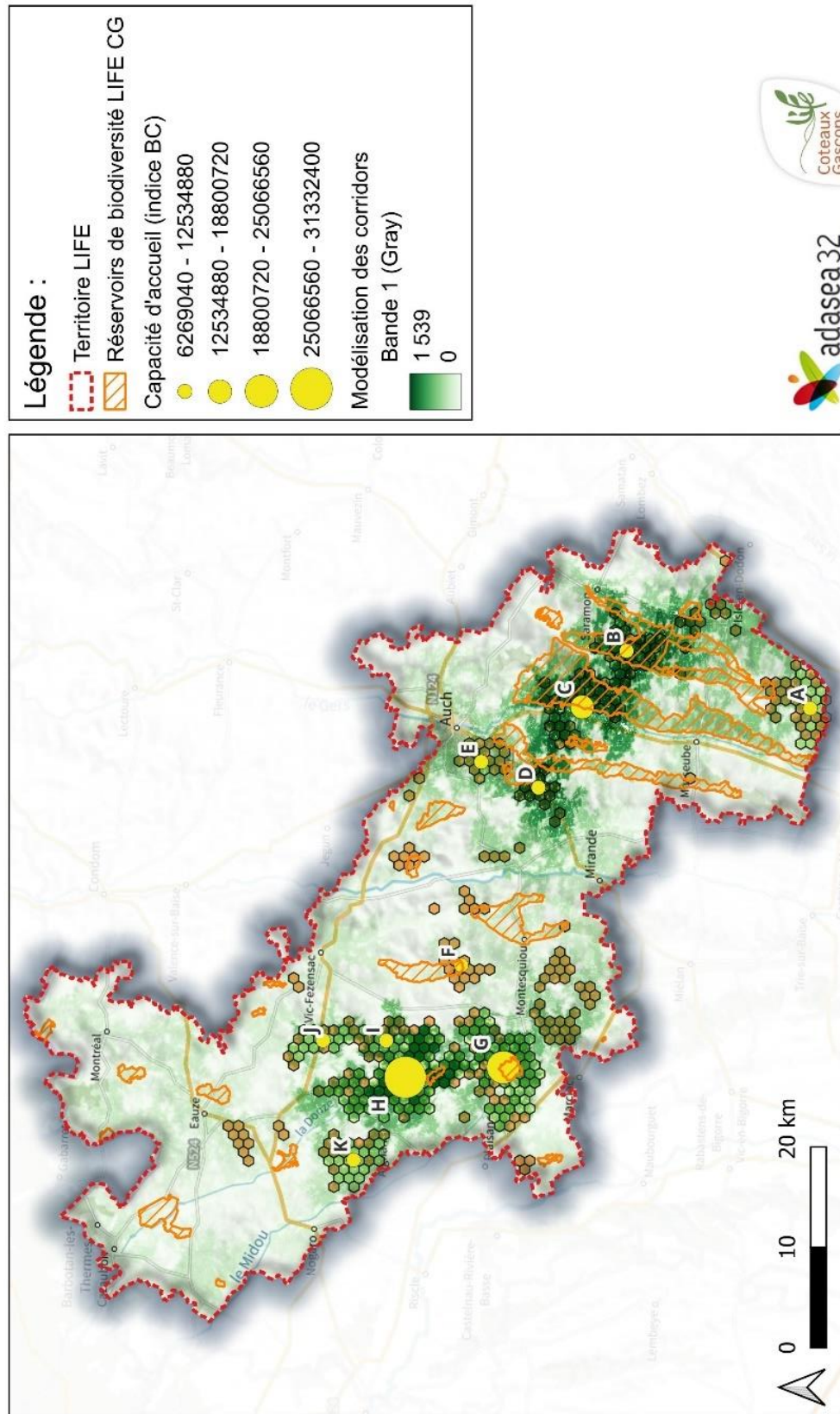


Carte 13 : Modélisation de la fragmentation du paysage



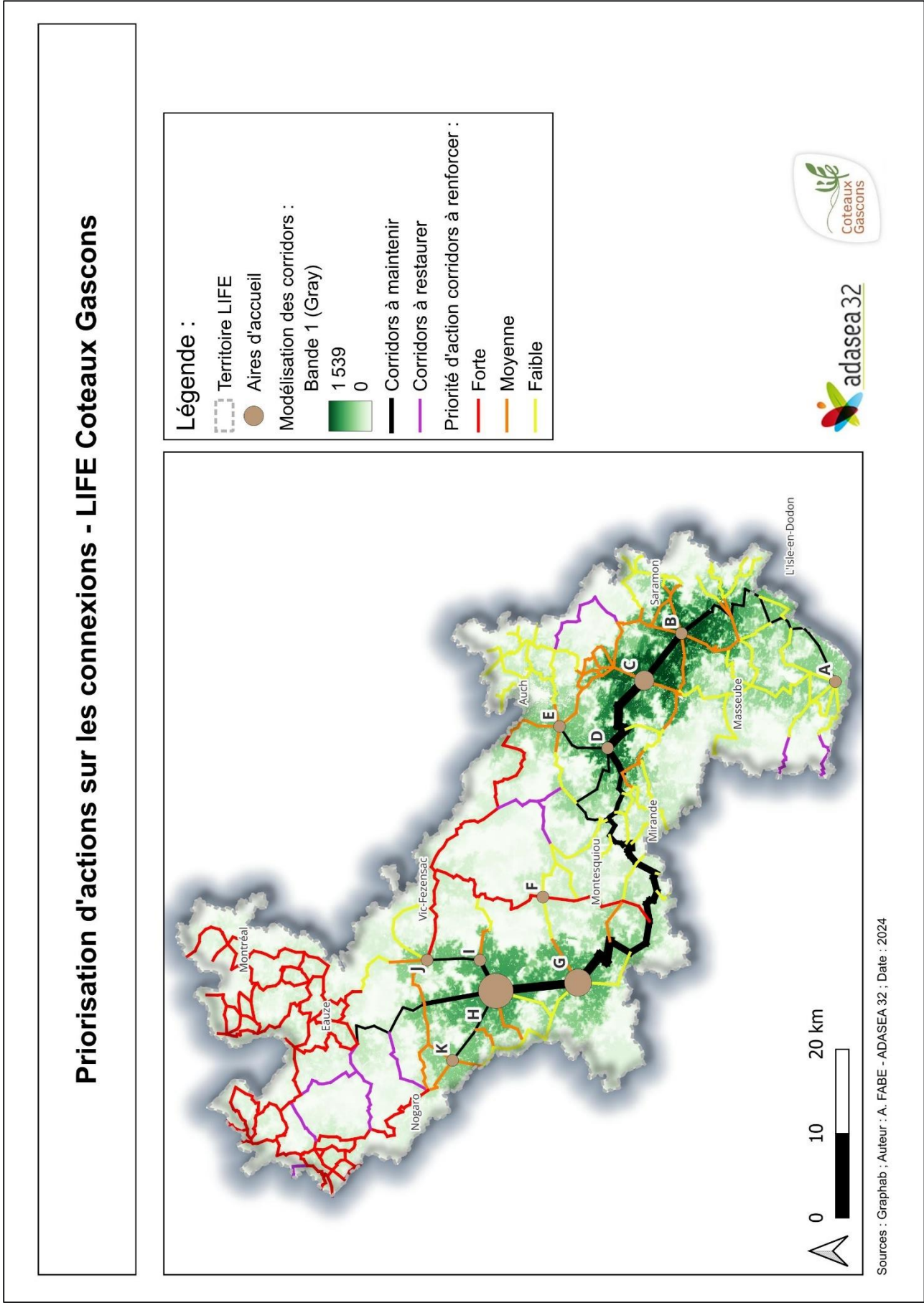
Carte 14 : Identification des réservoirs de biodiversité

Identification des réservoirs de biodiversité - LIFE Coteaux Gascons



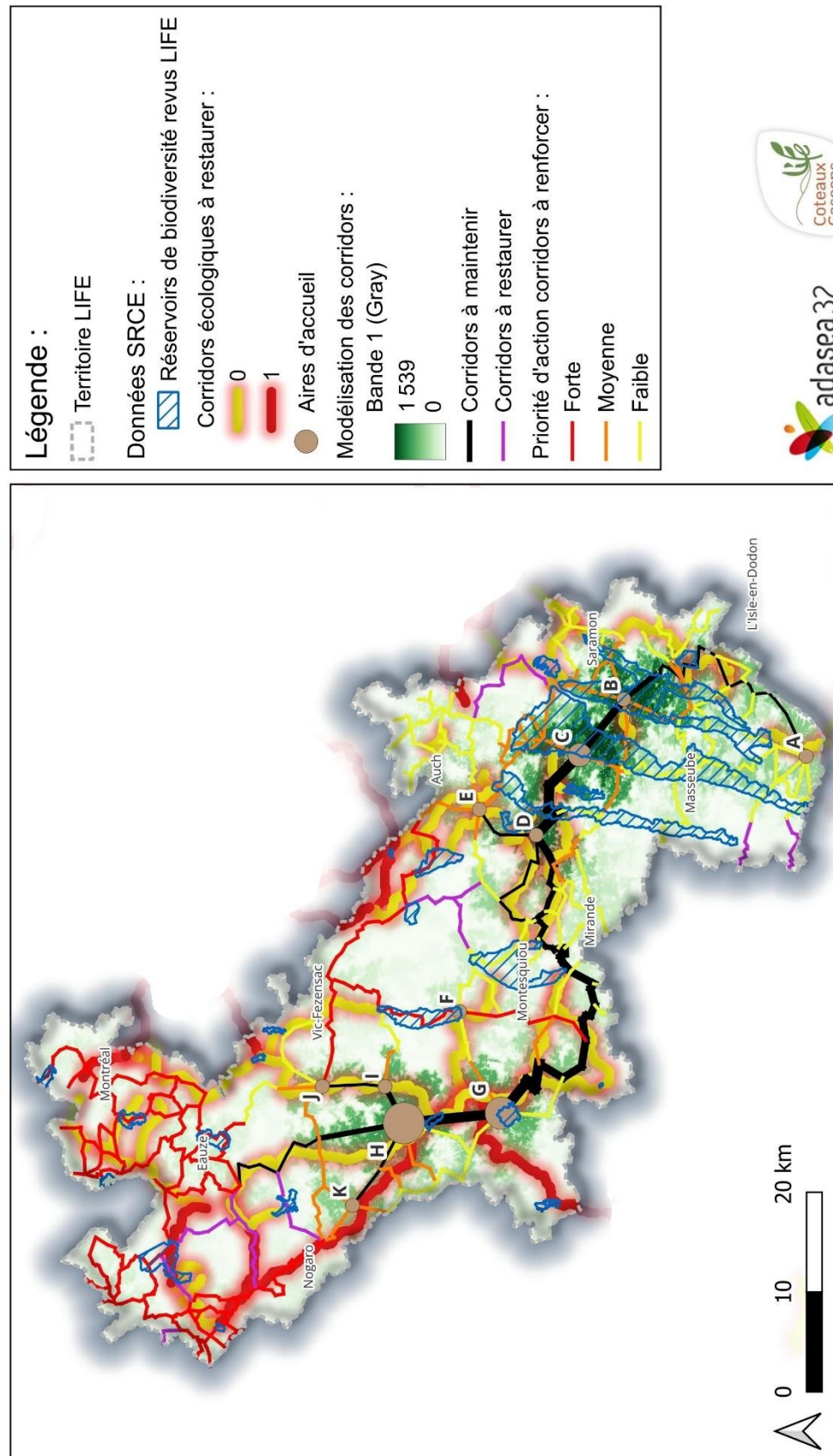
Sources : Graphab, réservoirs SRCE LIFE CG. Flux plan IGN ; Auteur : A. FABE - ADASEA 32 ; Date : 2024

Carte 15 : Identification des priorités d'action de connexion



Carte 16 : Identification des priorités d'action de connexion avec les données du SRCE

Priorisation d'actions sur les connexions - LIFE Coteaux Gascons



Sources : Graphab, SRCE ; Auteur : A. FABI - ADASEA 32 ; Date : 2024



PORTÉ PAR



FINANCÉ PAR

