

En complément du livret 2, la méthodologie ci-dessous détaille les différentes étapes qui ont conduit au développement de l'outil cartographique d'alerte. Sa lecture n'est pas nécessaire pour utiliser l'outil mais permet une bonne compréhension de son fonctionnement.



Méthodologie employée pour la construction de l'outil cartographique

Étendue et résolution spatiale

En France, l'aire de répartition du Desman des Pyrénées se limite au massif des Pyrénées [3]. L'outil cartographique a donc été construit sur l'ensemble de ce territoire. Les milieux aquatiques présentent une configuration spatiale spécifique (bassins versants imbriqués les uns dans les autres) [4]. Dans cette logique, la BD Carthage (Base de Données sur la CARTographie THématique des AGences de l'eau et du ministère chargé de l'environnement, www.sandre.eaufrance.fr) découpe les bassins hydrographiques en éléments de plus en plus fins, emboîtés à

différents niveaux spatiaux. Le niveau de la zone hydrographique est l'élément le plus fin disponible. Ses limites sont définies à partir des bassins versants topographiques. C'est ce niveau de résolution qui a été choisi afin de (1) disposer d'un outil avec une résolution spatiale suffisamment fine et de (2) considérer l'écologie de l'espèce qui est fortement dépendante du milieu aquatique. En effet, le Desman des Pyrénées étant semi-aquatique, la structure hydrographique des cours d'eau joue un rôle important pour la dispersion et le déplacement des individus [5].

➤ Que retenir ?

L'outil cartographique a été construit sur l'ensemble de l'aire de répartition française du Desman des Pyrénées, en prenant comme résolution spatiale les zones hydrographiques de la BD Carthage.

Prise en compte d'une diversité de critères

Complémentarité des données de détection et de non détection et des modèles de favorabilité d'habitat

L'expertise des prospecteurs de terrain permet d'obtenir des données fiables de détection et de non détection de l'espèce, et doit donc être absolument prise en compte. Ces données sont issues entre autres d'un travail de terrain conséquent (prospections pour la détection de fèces) réalisé dans le

cadre du Plan National d'Actions et du Life+ Desman, où les données ont été validées génétiquement ou *a minima* vérifiées par des experts. Cependant, ces données ne sont disponibles que pour des localisations très précises. Elles demeurent ainsi incomplètes puisqu'il reste toujours des zones non prospectées, sans connaissance sur la présence ou non de l'espèce. Afin de remédier à ce problème, il apparaît nécessaire de

coupler ces données avec celles issues de modèles statistiques prédictifs, estimant une probabilité de présence de l'espèce (ou sa favorabilité d'habitat), pour avoir une information spatialisée la plus complète possible. A titre d'exemple, la Figure 1 illustre l'intérêt de la complémentarité des deux

approches : les données issues des observations naturalistes sont discontinues tandis que la favorabilité d'habitat, modélisée selon un gradient allant du rouge (favorabilité faible) au vert (favorabilité forte), est disponible partout dans la zone.

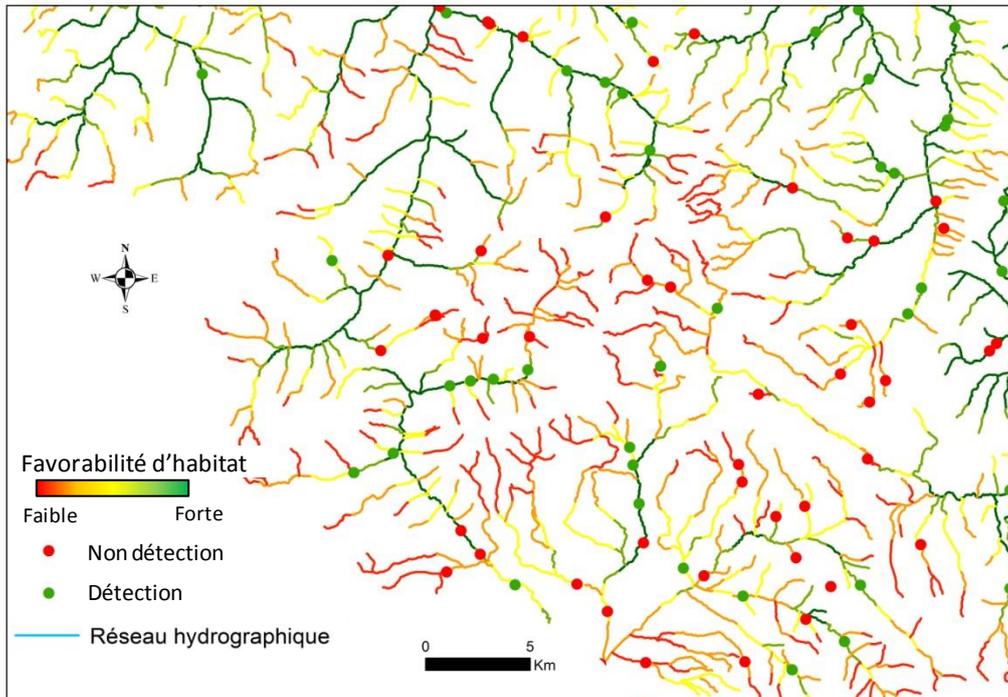


Figure 1 : Carte illustrant l'intérêt d'utiliser à la fois les données localisées de détection et de non détection de l'espèce, issues de l'expertise naturaliste, et celles continues, issues de modèles statistiques prédisant la favorabilité de l'habitat pour l'espèce.

► Pour aller plus loin

La favorabilité d'habitat modélisée a été estimée à partir des données de distribution actuelles (issues du PNAD, 2011-2013) ou historiques (prospections d'Alain Bertrand, 1985-1992) et de facteurs climatiques (précipitations et températures de l'air moyennes annuelles), hydrologiques (débit mensuel moyen), hydrographiques (pente du cours d'eau, nombre d'affluents à proximité), d'occupation du sol (pourcentage de forêts, de zones urbaines, de terres agricoles, d'espaces semi-naturels sans végétation ou à végétation herbacée ou arbustive autour du cours d'eau) et reflétant les perturbations d'origine anthropique (densité de population humaine autour du cours d'eau et densité d'obstacles à l'écoulement en amont du bassin versant) [1, 6]

Complémentarité des données actuelles et historiques

Bien que l'information pour la période actuelle soit indispensable, les données anciennes s'avèrent aussi riches en information et donc importantes à considérer, particulièrement pour une espèce comme le Desman des Pyrénées dont la mise en évidence de la présence est complexe. Ainsi, de par sa détection qui reste difficile d'une part et la nécessité d'œuvrer pour un rétablissement de son aire de répartition ancienne d'autre part, il apparaît judicieux de garder la totalité de l'information disponible en considérant aussi les données historiques de l'espèce. Cela est d'autant plus important pour cette espèce qui semble avoir connu au cours des 30 dernières années, une forte contraction de son aire de répartition sur l'ensemble des Pyrénées françaises [1]. La considération de l'information historique peut permettre, par exemple, d'identifier des secteurs où la répartition de l'espèce ne semble pas avoir changé au cours du temps. Il est notamment possible de distinguer des zones hydrographiques où l'espèce est détectée depuis longtemps, de celles où l'espèce n'a jamais été détectée. A l'inverse, les zones hydrographiques où la répartition de l'espèce semble avoir changé peuvent être mises en évidence, telles que celles où l'espèce semble avoir disparu.

Prise en compte de la connectivité hydrographique

Pour une zone hydrographique donnée, l'information locale (*i.e.* au sein de la zone) est primordiale. Cependant, la présence de l'espèce dans les zones hydrographiques connectées en amont et en aval suffit à rendre potentielle la présence de l'espèce dans la zone concernée. En effet, bien que les études par radiopistage indiquent un domaine vital d'environ 500 m de linéaire le long des cours d'eau pour le Desman des Pyrénées, celles-ci, pour des raisons techniques, n'ont été effectuées que sur de courtes durées (34 jours maximum) [7, 8]. Ainsi, la longueur du linéaire utilisé au cours d'une année n'est, à ce jour, pas connue. Par ailleurs, des déplacements de près de 18 km au sein d'un bassin versant ont été observés en l'espace d'une année [2, 9]. A titre d'exemple, les deux zones hydrographiques délimitées en bleu sur la Figure 2, où la présence du Desman n'a pas été mise en évidence localement, ne présentent pas le même intérêt en termes de connectivité. En effet, la zone hydrographique A étant entourée de zones hydrographiques en amont et en aval où le Desman des Pyrénées semble absent (en rouge) présente un intérêt plus faible que la zone hydrographique B. Celle-ci, bien que la présence du Desman des Pyrénées n'ait pas pu être mise en évidence localement, est connectée à des zones hydrographiques amont et aval où la présence de l'espèce est avérée (en vert), ce qui lui confère un rôle majeur en termes de connectivité. La zone B présente donc une probabilité plus forte d'être utilisée par l'espèce, au moins pour ses déplacements, que la zone A.

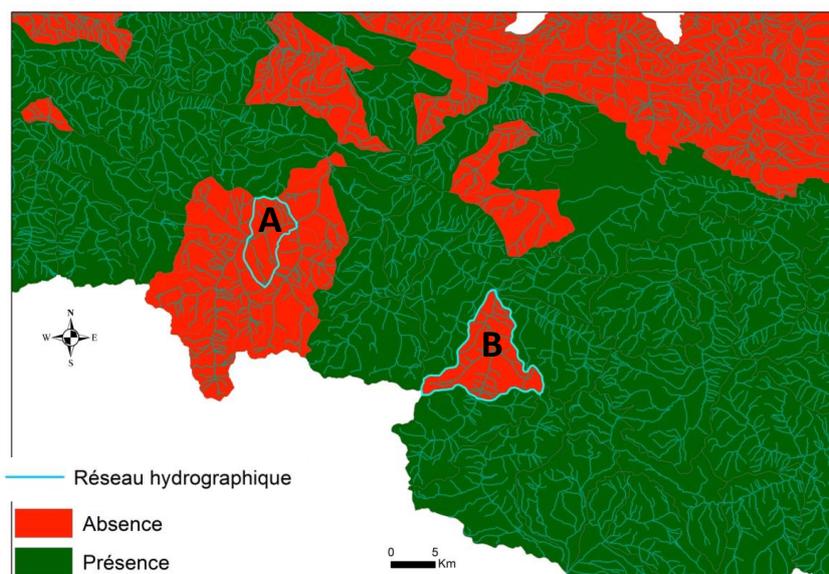


Figure 2 : Cartes illustrant l'intérêt d'utiliser, en plus de l'information locale, celle des zones hydrographiques adjacentes, et plus précisément les zones hydrographiques connectées en amont et en aval. La zone hydrographique A présente un intérêt plus faible que la zone B en terme de connectivité.

Présentation des critères choisis

Quatre critères ont donc été retenus pour élaborer l'outil cartographique. Ils sont résumés dans le Tableau 1.

		Échelle temporelle	
		Actuelle	Historique
Échelle spatiale	Locale	Critère 1 <i>Information actuelle à l'échelle de la zone hydrographique</i>	Critère 3 <i>Information historique à l'échelle de la zone hydrographique</i>
	Connectivité	Critère 2 <i>Information actuelle à l'échelle des zones hydrographiques connectées</i>	Critère 4 <i>Information historique à l'échelle des zones hydrographiques connectées</i>

Tableau 1. Présentation des quatre critères choisis et de leurs caractéristiques compte tenu de la période temporelle (actuelle ou historique) et de l'échelle spatiale (locale ou connectivité).

Concernant la période temporelle, la date des données de détection et de non détection utilisées en tant que telles sont présentées dans le Tableau 2. La période des données de détection et non détection utilisées pour modéliser la favorabilité d'habitat est aussi précisée.

Tableau 2 : Date des données utilisées en fonction de la période temporelle

Période	Données de détection/non détection	Favorabilité d'habitat
Actuelle	≥2005	2011-2013
Historique	<2005	1985-1992

La démarche employée est similaire pour chacun des critères (Figure 3). Deux cartes initiales sont considérées avec des valeurs comprises entre 0 et 1 : 1) une première carte binaire de détection (valeur égale à 1) et de non détection (valeur égale à 0) du Desman des Pyrénées et 2) une carte issue de la modélisation de la favorabilité d'habitat du Desman des Pyrénées avec une probabilité de

présence exprimée par une valeur continue de 0 (non favorable) à 1 (très favorable) (Figure 3). Ces deux cartes ont ensuite été additionnées afin de produire une nouvelle carte, avec un indice variant par conséquent de 0 à 2. Celle-ci a ensuite été re-catégorisée en valeur binaire (0/1) à partir du seuil 0.5 (qui représente la valeur centrale de l'intervalle 0-1). En choisissant ce seuil, une zone hydrographique sans présence avérée de Desman (carte initiale de détection/ non détection égale à 0) mais pour laquelle la favorabilité d'habitat est bonne (carte initiale de favorabilité d'habitat ≥ à 0.5) aura une valeur de 1 sur la carte binaire finale. L'ensemble de la démarche est présentée ci-après de manière plus détaillée pour chacun des critères.

Quatre cartes (*i.e.* cartes binaires finales), pour chacun des critères servant par la suite à la définition de l'indicateur, sont produites et combinées (voir le paragraphe « Agrégation des critères pour créer un indicateur de présence »).

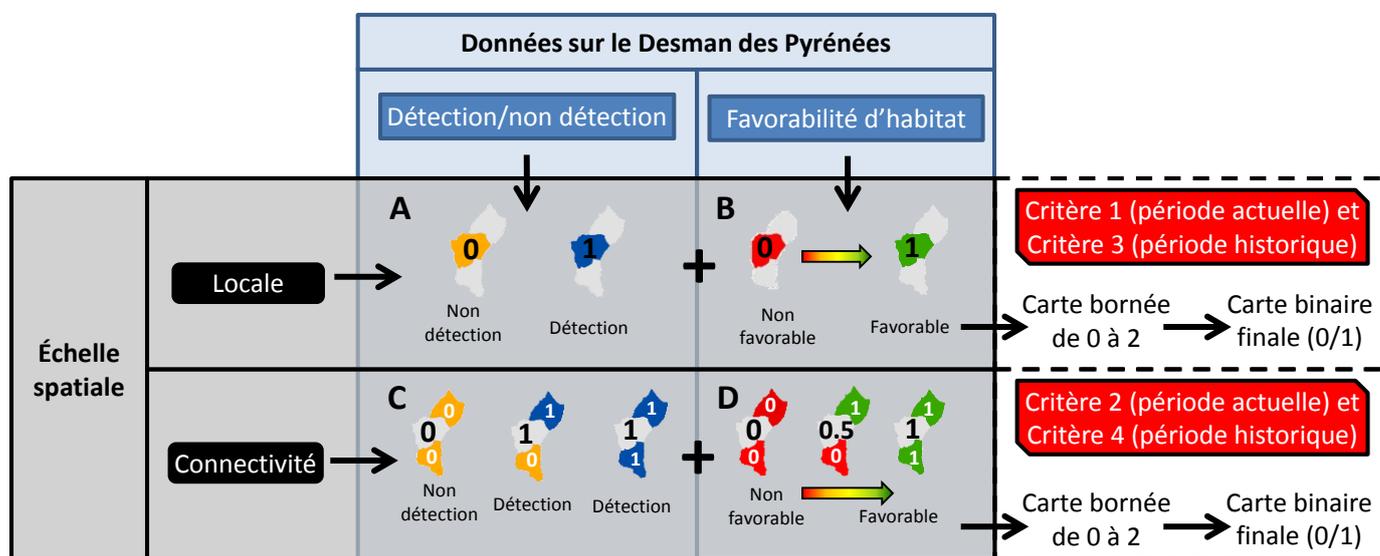


Figure 3 : Schémas illustratifs des méthodes utilisées pour créer les différents critères. La zone hydrographique centrale représente la zone d'intérêt, pour laquelle la note est calculée. Les zones hydrographiques en gris ne sont pas prises en compte pour calculer la note. Pour les critères 1 et 3, il s'agit de l'information locale, à l'échelle de la zone hydrographique considérée, qui est prise en compte à la fois pour les données de distribution (A) et la favorabilité d'habitat (B). Pour les critères 2 et 4, pour la zone hydrographique d'intérêt, il s'agit de l'information au niveau des zones hydrographiques connectées en amont et/ou aval qui est prise en compte à la fois pour les données de distribution (C) et la favorabilité d'habitat (D).

Critères 1 et 3

Le premier critère se focalise sur les données de la période actuelle et considère les zones hydrographiques localement (Tableau 1). La première carte (Figure 4A) permet de distinguer les zones hydrographiques à l'intérieur desquelles le Desman des Pyrénées a été détecté au moins une fois (en bleu) et celles où aucune détection n'a été faite (en orange). La seconde carte (Figure 4B) illustre la favorabilité d'habitat moyenne du Desman des Pyrénées pour chacune des zones hydrographiques. Plus on s'approche de la valeur 1, représentée par la couleur verte, et plus la zone hydrographique est favorable à la

présence de l'espèce compte tenu de ses caractéristiques environnementales (voir encadré « en savoir plus »). Ces deux cartes ont ensuite été sommées afin de produire une nouvelle carte (Figure 4C) qui a été ensuite re-catégorisée de façon binaire à partir du seuil 0.5 (Figure 4D ; somme < 0.5 donne 0 et somme ≥ 0.5 donne 1).

Le troisième critère suit la même démarche mais se focalise sur la période historique (Tableau 1). Au final, une carte binaire finale pour le critère 1 et une pour le critère 3 sont constituées.

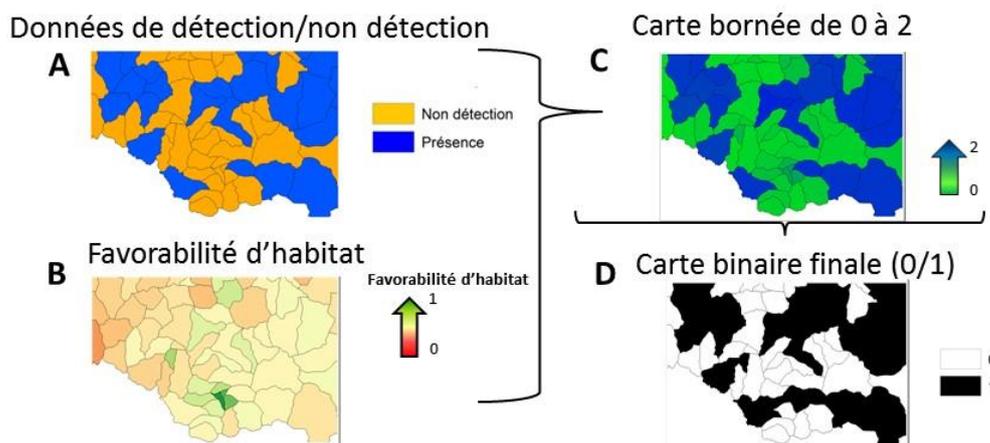


Figure 4 : Illustrations, pour une période donnée, de la méthode utilisée pour créer les critères 1 et 3. Ces critères utilisent uniquement l'information locale des zones hydrographiques, à la fois pour les données de distribution (A) et la favorabilité d'habitat (B).

➤ Que retenir ?

Sur la Figure 4D, les zones hydrographiques représentées en noir sont soit a) des zones hydrographiques où le Desman des Pyrénées a été détecté depuis 2005 (critère 1) ou avant 2005 (critère 3), soit b) des zones hydrographiques où la favorabilité d'habitat actuelle (critère 1) ou historique (critère 3) est importante (≥ 0.5).

Critères 2 et 4

Le second critère concerne aussi la période actuelle mais considère cette fois-ci, pour une zone hydrographique donnée, uniquement l'information des zones hydrographiques qui sont connectées à celle-ci soit en amont, soit en aval, soit des deux côtés en amont et en aval (Figure 5). Les zones hydrographiques localisées en tête de bassin n'ont ainsi que des zones hydrographiques connectées en aval, et inversement, les zones hydrographiques localisées aux extrémités aval de la zone d'étude ne peuvent avoir que des zones hydrographiques connectées en amont. Ainsi, sur la Figure 5A, les zones hydrographiques en bleu correspondent à celles où le Desman des Pyrénées a été détecté dans les zones hydrographiques adjacentes connectées,

tandis que celles en orange représentent celles où aucune détection du Desman des Pyrénées n'a été faite dans les zones hydrographiques adjacentes connectées. La Figure 5B illustre, pour une zone hydrographique donnée, la favorabilité d'habitat moyenne actuelle dans les zones hydrographiques adjacentes connectées. Ces deux cartes ont ensuite été sommées afin de produire une nouvelle carte (Figure 5C) qui a été ensuite re-catégorisée en données binaires (0-1) selon le seuil 0.5 (Figure 5D ; *i.e.* carte binaire finale).

Le quatrième critère suit la même démarche mais se focalise sur les données de la période historique (Tableau 1).

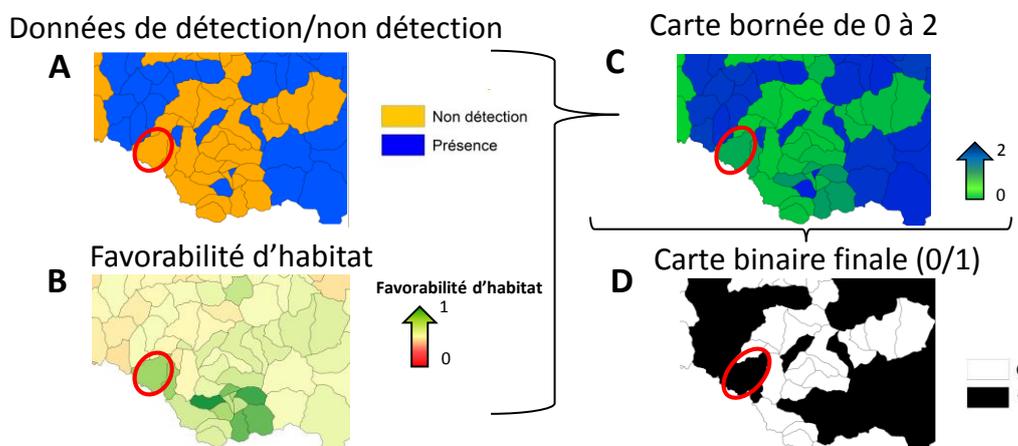


Figure 5 : Illustrations, pour une période donnée, de la méthode utilisée pour créer les critères 2 et 4. Ces critères utilisent uniquement l'information au niveau des zones hydrographiques connectées en amont et/ou en aval à la fois pour les données de distribution (A) et la favorabilité d'habitat (B).

➤ Que retenir ?

Sur la Figure 5D, les zones hydrographiques représentées en noir sont soit a) des zones hydrographiques où le Desman des Pyrénées a été détecté depuis 2005 (critère 2) ou avant 2005 (critère 4) dans les zones hydrographiques adjacentes connectées, soit b) des zones hydrographiques où la favorabilité d'habitat actuelle (critère 2) ou historique (critère 4) est importante (≥ 0.5) dans les zones hydrographiques adjacentes connectées.

Agrégation des critères pour créer un indicateur de présence

Une carte binaire finale est ainsi obtenue pour chacun des critères (Figures 4D & 5D). Un ordre d'importance a été donné aux critères avec un indice de pondération selon une suite de 2^n . Cet ordre a été défini en considérant que :

- 1) au niveau temporel, l'information actuelle apparaît comme plus importante que l'information historique ;
- 2) au niveau spatial, l'information locale est plus importante que l'information dans les zones adjacentes connectées.

Ainsi, la carte binaire finale du critère 1 a été pondérée par 2^4 , celle du critère 2 par 2^3 , du critère 3 par 2^2 , et celle du critère 4 par 2^1 . Une fois pondérées, ces quatre cartes ont ensuite été additionnées pour obtenir une carte finale synthétique hiérarchisant les zones hydrographiques, selon un indicateur de présence allant de 0 à 30. Chaque valeur est ainsi associée à un scénario bien précis au regard des quatre critères utilisés (échelle temporelle historique ou actuelle, échelle spatiale locale ou connectivité). Tous ces scénarii sont présentés dans le Tableau 3. A titre d'exemple, une zone hydrographique ayant un indicateur de présence d'une valeur de 14 signifie que la présence du Desman des Pyrénées n'est actuellement pas mise en évidence à l'échelle de la zone hydrographique considérée (*i.e.* critère 1), mais qu'il est présent dans la(les) zone(s) hydrographique(s) connectée(s) (*i.e.* critère 2)

et qu'il était présent historiquement, à la fois dans la zone hydrographique considérée (*i.e.* critère 3), mais aussi dans la(les) zone(s) hydrographique(s) connectée(s) (*i.e.* critère 4).

Trois « zones de présence » (Tableau 3) ont été définies à partir de cet indicateur :

► **Zone blanche** : le Desman des Pyrénées est considéré comme absent historiquement et actuellement car aucune donnée de présence locale n'a été collectée jusqu'à ce jour.

► **Zone grise** : le Desman des Pyrénées est considéré comme présent *a minima* historiquement. La présence historique de l'espèce a été mise en évidence, soit localement (*i.e.* critère 3) ou soit en amont ou en aval dans les zones hydrographiques adjacentes connectées (*i.e.* critère 4). La présence de l'espèce n'a pas été mise en évidence au cours de la période actuelle (*i.e.* critères 1&2).

► **Zone noire** : le Desman des Pyrénées est considéré comme présent actuellement. Sa présence a été mise en évidence récemment, localement (*i.e.* critère 1) ou dans les zones hydrographiques adjacentes connectées (*i.e.* critère 2).

C'est sur cette classification de chacune des zones hydrographiques que l'outil cartographique d'alerte présenté en Figure 6 a été élaboré.

Tableau 3 : Présentation des différentes valeurs possibles de l'indicateur de présence, et des scénarii associés compte tenu des quatre critères utilisés. Les cellules en orange représentent la période actuelle tandis que les cellules vertes représentent la période historique.

Critère 1 : Information actuelle à l'échelle de la zone hydrographique

Critère 2 : Information actuelle à l'échelle des zones hydrographiques connectées

Critère 3 : Information historique à l'échelle de la zone hydrographique

Critère 4 : Information historique à l'échelle des zones hydrographiques connectées

Critère 1	Critère 2	Critère 3	Critère 4	Indicateur de présence	Détails des scénarii		
0	0	0	0	0	Absence de scénario		Hors aire de répartition du Desman
0	0	0	2	2	Connectivité		
0	0	4	0	4	Local		Desman considéré comme présent historiquement
0	0	4	2	6	Local + connectivité		
0	8	0	0	8	Connectivité		Desman considéré comme présent actuellement
0	8	0	2	10	Connectivité	Connectivité	
0	8	4	0	12	Connectivité	Local	
0	8	4	2	14	Connectivité	Local + connectivité	
16	0	0	0	16	Local		
16	0	0	2	18	Local	Connectivité	
16	0	4	0	20	Local	Local	
16	0	4	2	22	Local	Local + connectivité	
16	8	0	0	24	Local + connectivité		
16	8	0	2	26	Local + connectivité	Connectivité	
16	8	4	0	28	Local + connectivité	Local	
16	8	4	2	30	Local + connectivité	Local + connectivité	

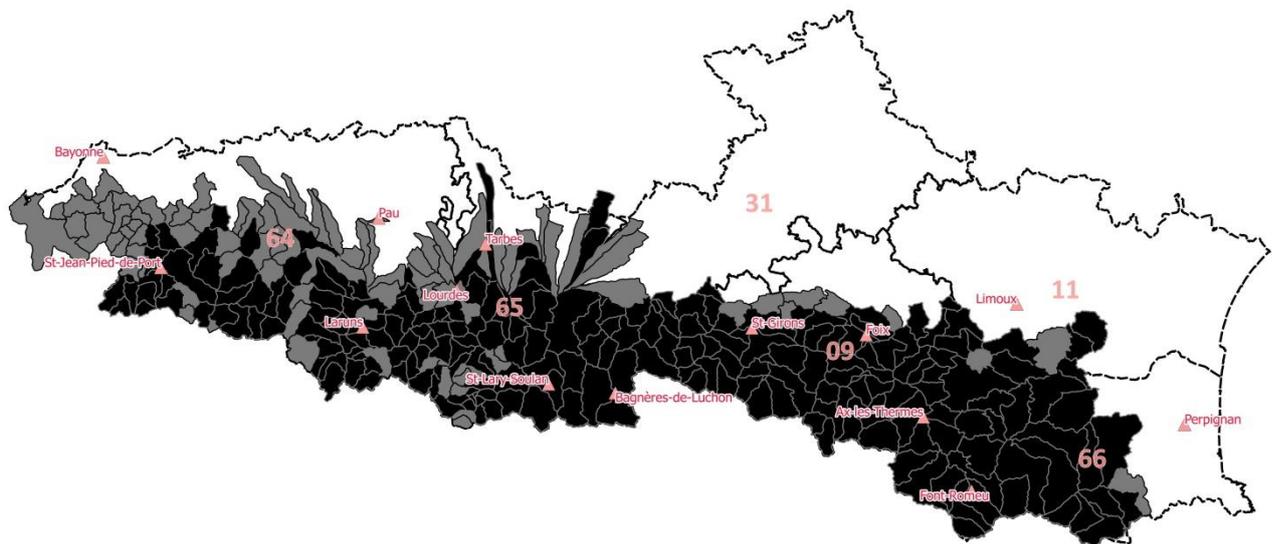


Figure 6 : Outil cartographique d'alerte (export du 7 mars 2017). Cette carte est consultable et téléchargeable (couche SIG) en ligne sur www.picto-occitanie.fr.

Bibliographie

1. Charbonnel A. (2015) Influence multi-échelle des facteurs environnementaux dans la répartition du Desman des Pyrénées en France. Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse (France), 245p.
2. Gillet F. (2015) Génétique et biologie de la conservation du Desman des Pyrénées (*Galemys pyrenaicus*) en France. Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse (France), 228p.
3. Bertrand A. (1994) Répartition géographique et écologie alimentaire du Desman des Pyrénées *Galemys pyrenaicus* (Geoffroy, 1811) dans les Pyrénées françaises. Diplôme universitaire de recherche, Université de Toulouse, France.
4. Domisch S., Jähnig S.C., Simaika J.P., Kuemmerlen M., & Stoll S. (2015) Application of species distribution models in stream ecosystems: the challenges of spatial and temporal scale, environmental predictors and species occurrence data. *Fundamental and Applied Limnology*, 186, 45–61.
5. Charbonnel A., Buisson L., Biffi M., D'Amico F., Besnard A., Aulagnier S., Blanc F., Gillet F., Lacaze V., Michaux R., Johan, Némoz M., Pagé C., Sanchez-Perez J. M., Sauvage S. & Laffaille P. (2015). Integrating hydrological features and genetically validated occurrence data in occupancy modeling of an endemic and endangered semi-aquatic mammal species, *Galemys pyrenaicus*. *Biological Conservation*, 184, 182-192.
6. Charbonnel A., Laffaille P., Biffi M., Blanc F., Maire A., Némoz M., Sanchez-Perez J., Sauvage S. & Buisson L. (2016) Can recent global changes explain the dramatic range contraction of an endangered semi-aquatic mammal species in the French Pyrenees? *PLoS ONE*, 11(7): e0159941.
7. Melero Y, Aymerich P, Luque-Larena JJ, Gosàlbez J. (2012) New insights into social and space use behaviour of the endangered Pyrenean desman (*Galemys pyrenaicus*). *European Journal of Wildlife Research*, 58: 185–193.
8. Lim M. (2015) Rapport de l'Action A4 du Life+ Desman : Étude de l'incidence des lâchers d'eau sur le comportement et la survie du Desman des Pyrénées (*Galemys pyrenaicus*), en période de reproduction par la méthode de suivi par radiopistage. 90p
9. Gillet, F., Le Roux, B., Blanc, F., Bodo, A., Fournier-Chambrillon, C., Fournier, P., Jacob, F., Lacaze, V., Nemoz, M., Aulagnier, S., Michaux, J. R. (2016). Genetic monitoring of the endangered Pyrenean desman (*Galemys pyrenaicus*) in the Aude River, France. *Belgian Journal Of Zoology*, 146 (1), 44-52.

Citation du document :

Charbonnel A., Blanc F., Némoz M., Buisson L., Laffaille P., Bodo A., Fournier C., Fournier P., Fropier N., Lacaze V., Le Roux B., Poncet E., Pontcharraud L. & L. Tribolet (2017). *Méthodologie associée à l'outil cartographique d'alerte pour la prise en compte du Desman des Pyrénées dans les procédures d'évaluations environnementales*. CEN MP, 10 p.