

## Évaluation des différentes techniques de suivi de l'ours brun dans les Pyrénées françaises



Université  
de Toulouse



Étudiant :  
Nicolas Bombillon



Équipe Ours



Encadrants :  
Pierre-Yves Quenette  
Olivier Gimenez

## Sommaire

<b>I. Introduction</b>	<b>P 01</b>
<b>II. Matériel et méthodes</b>	<b>P 03</b>
1) Zone d'étude	<b>P 03</b>
2) Caractéristiques de l'ours brun	<b>P 04</b>
3) Le suivi systématique	<b>P 04</b>
3.1) <i>Suivi systématique via les Itinéraires (SI)</i>	<b>P 05</b>
3.2) <i>Suivi systématique via les Stations de Suivi (SS)</i>	<b>P 05</b>
3.3) <i>Suivi systématique via Appareil Photographique (AP)</i>	<b>P 06</b>
3.4) <i>Suivi systématique dit Systématique Autre (SA)</i>	<b>P 06</b>
4) Le suivi opportuniste (OP)	<b>P 07</b>
5) Analyse des indices récoltés	<b>P 07</b>
5.1) <i>Analyse générale des indices</i>	<b>P 07</b>
5.2) <i>Analyse génétique</i>	<b>P 08</b>
6) Période considérée	<b>P 09</b>
7) Base de donnée et méthodes d'analyses	<b>P 09</b>
7.1) <i>Données et premiers tests</i>	<b>P 09</b>
7.2) <i>Modèle de capture-marquage-recapture</i>	<b>P 10</b>
7.3) <i>Modèle de présence</i>	<b>P 12</b>
<b>III. Résultats</b>	<b>P 13</b>
1) Bilan quantitatif des différentes méthodes de suivi	<b>P 13</b>
2) Analyse factorielle des correspondances	<b>P 15</b>
3) Modèle de capture-marquage-recapture	<b>P 16</b>
4) Modèle de présence	<b>P 17</b>
4.1) <i>Suivi Itinéraire</i>	<b>P 17</b>
4.2) <i>Les Stations de Suivi</i>	<b>P 18</b>
4.3) <i>Le Systématique Autre et le suivi Appareils Photos</i>	<b>P 19</b>
4.4) <i>Suivi Opportuniste</i>	<b>P 19</b>
4.5) <i>Cartographie liée aux modèles de présences</i>	<b>P 20</b>
4.6) <i>Période de détection des individus</i>	<b>P 22</b>
<b>IV. Discussion</b>	<b>P 22</b>
1) Les différents types de suivi	<b>P 22</b>
2) Les modèles de capture-marquage-recapture et population fermée	<b>P 24</b>
3) Modèle de présence	<b>P 25</b>
4) Analyse du coût	<b>P 27</b>
<b>V. Conclusion</b>	<b>P 27</b>

### Sommaire des figures

<b>Figure 1</b> : Sous massifs étudiés pour l'ours dans les Pyrénées françaises en 2011 .....	<b>P 03</b>
<b>Figure 2</b> : Arbre avec piège à poils sur les itinéraires pédestres.....	<b>P 06</b>
<b>Figure 3</b> : Station de suivi dans les Pyrénées françaises.....	<b>P 06</b>
<b>Figure 4</b> : Comparaison des 5 types de suivis en fonction de différents critères d'étude en combinant les 3 dernières années de suivi.....	<b>P 13</b>
<b>Figure 5</b> : Analyse factorielle de correspondance pour les différents types de suivi selon 5 caractéristiques importantes pour le suivi de la population.....	<b>P 15</b>
<b>Figure 6</b> : Effectifs obtenus à partir des modèles CMR pour chaque suivi et chaque année en combinant les 8 modèles de capture en population fermée .....	<b>P 17</b>
<b>Figure 7</b> : Comparaison des modèles de présence liés aux apports de chaque modèle pour chaque technique pour estimer l'apport du modèle opportuniste sur le systématique (7a) et l'apport du systématique sur l'opportuniste (7b).....	<b>P 21</b>
<b>Figure 8</b> : Probabilité de détection de l'ours dans les sous massifs étudiés par les techniques OP et SI de 2009 à 2011 en fonction de la période de suivi. (Modèle survey P) pour les Pyrénées centrales et orientales.....	<b>P 22</b>

### Sommaire des tableaux

<b>Tableau 1</b> : Période de sortie des collectes d'indices pour le suivi SS, SI et AP.....	<b>P 07</b>
<b>Tableau 2</b> : Bilan des caractéristiques pour chaque technique de suivi et pourcentage de ces différents paramètres par rapport au nombre d'indices récoltés.....	<b>P 14</b>
<b>Tableau 3</b> : Caractéristique du suivi opportuniste entre les indices liés aux attaques et les indices opportunistes autres pour l'année 2011.....	<b>P 15</b>
<b>Tableau 4</b> : Résultats des modèles de présence pour les itinéraires pour les 2 zones pyrénéennes pour le modèle P variant en fonction du temps.....	<b>P 18</b>
<b>Tableau 5</b> : Résultat des modèles de présence pour le suivi par les stations pour les 2 zones pyrénéennes pour le modèle P variant en fonction du temps.....	<b>P 19</b>
<b>Tableau 6</b> : Résultats des modèles de présence pour le suivi opportuniste pour les 2 zones pyrénéennes pour le modèle P variant en fonction du temps.....	<b>P 20</b>

## Lexique

**AP** : Suivi systématique à l'aide d'appareil photographique.

**CMR** : Modèle de capture-marquage-recapture utilisé pour détecter l'abondance de la zone.

**IC** : Intervalle de confiance utilisé dans les modèles de capture et de présence. Les bornes correspondent au minimum et au maximum.

**ONCFS** : Office national de la chasse et de la faune sauvage.

**OP** : Suivi Opportuniste, récolté sans plan d'échantillonnages (Observation visuelle, attaque sur troupeau).

**Pyr\_Cen** : Pyrénées centraux-orientales.

**Pyr\_Occ** : Zone des Pyrénées occidentales.

**ROB** : Réseau Ours Brun, caractérise les personnes travaillant sur le suivi de l'ours (professionnels et bénévoles).

**SA** : Suivi systématique autre, indices récoltés avec plan d'échantillonnages précis mais non prévu au début de l'année.

**SI** : Suivi systématique via des itinéraires où sont récoltés des poils, des empreintes, des crottes ou d'autres indices d'ours. Arbre à térébenthine et revoir réalisé sur le transect.

**SS** : Suivi systématique via station de suivi avec appât dans la station.

## Nomenclature

Pour parler de certaines techniques, on emploiera souvent l'abréviation de la technique vue précédemment ainsi que de l'année de l'étude. Exemple :

- SI09 : Suivi Itinéraire de 2009
- OP11 : Suivi Opportuniste en 2011

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mes maîtres de stages Pierre-Yves Quenette et Olivier Gimenez de m'avoir laissé travailler sur le suivi des ours dans les Pyrénées françaises en m'ayant donné l'opportunité de travailler avec eux sur ce sujet si polémique mais si intéressant.

Je remercie aussi tout l'équipe ours basée à la fois à Villeneuve de Rivière et Pau, qui m'ont intégré avec joie à leur équipe et sans qui je n'aurais jamais pu apprendre autant de chose sur les ours. Pour cela je remercie nominativement Frédéric Delacuwe, Jérôme Sentilles, Etienne Dubarry, Loïg Le Run, Frédérick Diard, Philippe Labal, Jean-Jacques Camarra, Françoise de Pablos, Cathy de Latour, Pierre Gonzalez et Dominique Bibal. Merci encore de leur aide pour leurs réponses à mes questions parfois naïves sur le suivi de l'ours et pour leur aide pour comprendre le logiciel ArcGis ainsi que les différents enjeux souvent politiques de la zone, mais aussi pour leur histoire sur les différentes situations qu'ils ont vécu dans les Pyrénées.

Je tiens aussi à remercier la fédération de chasse du 31 partageant les locaux avec l'équipe ours et qui m'ont permis de voir un ours directement dans son milieu de vie en ces beaux matins de début de juin sur les montagnes Pyrénéennes. Merci pour cela à Cédric Cabal, Florent Arroyo et Sébastien Dejean qui même s'ils m'ont fait lever de bonne heure, me permettront de garder ce magnifique souvenir toute la vie en moi.

Je veux aussi remercier Jérôme Sentilles et son stagiaire Alexandre de m'avoir permis d'effectuer des sorties sur le terrain et ce malgré mon inexpérience à la marche en montagne et m'avoir soutenu jusqu'au sommet. Merci aussi à eux pour m'avoir permis de travailler sur les photographies automatiques et aux moyens pouvant être mis en place pour l'individualisation à l'aide des ces clichés.

Je tiens aussi à remercier tout le réseau ours brun sans qui ce suivi ne serait pas possible que ce soit les personnes travaillant de manière professionnelle comme les membres des différents SD, de l'ONF, du Parc national des Pyrénées, mais aussi de tous les particuliers qui prennent sur leur temps libre pour aider l'équipe dans la recherche d'indice.

Je remercie aussi ma famille et mes amis qui n'ont pas cessé de m'encourager tout le long de ce merveilleux périple et qui m'ont aidés pour la relecture du rapport.

Et enfin je tiens à remercier les ours sans qui ce rêve n'aurait jamais été possible : Aspe ouest, Balou, Bambou, Bonabe, Boutxy, Caramelle, Caramellita, Cannelitto, Fadeta, Floreta, Hvala, Moonboots, Nere, Nhéu, Noisette, Plume, Pelut, Pollen, Pyros et Sarousse ainsi que les 3 nouveaux oursons de 2011 et en espérant des nouveaux en 2012.

Merci encore à tous pour votre aide, et à bientôt en terre ours.

Un proverbe indien dit "Lorsque une plume tombe du ciel, l'aigle la voit, le cerf l'entend et l'ours la sent".

## **I.Introduction**

Depuis le début du siècle dernier, de nombreuses études ont montré une diminution de la plupart des populations de grands carnivores à travers le monde (**Boitani 2000**). Les causes de ces disparitions sont nombreuses et souvent liées à l'homme. La déforestation entraînant la fragmentation ou la perte d'habitat mais aussi les différentes persécutions subies par ces espèces en sont les raisons majeures (**Swenson et al 1995, Gese 2001**). Les grands prédateurs jouent pourtant un rôle primordial dans le maintien de la chaîne trophique en ayant un rôle de contrôle « top predator effects » sur les populations d'herbivores (**Schmitz et al 1997, Ripple et Beschta 2003**) d'où l'importance de leur maintien dans les milieux.

L'union européenne dans le cadre de la directive habitat faune-flore ainsi que de la convention de Berne, qui concerne la conservation, la protection et la gestion des habitats naturels et des espèces sauvages, ont mis en place différents lâchers de grands carnivores pour pallier à ces disparitions, avec notamment des plans de réintroductions effectuées au travers l'Europe comme par exemple, pour le lynx (**Breitenmoser et al. 1998**) ou le vautour fauve (**Bagnolini 2006**). Ces réintroductions sont des outils pour la gestion des populations et leur succès dépend de multiples facteurs (nombre d'individus transférés, sex-ratio, taux de survie des jeunes, habitat...) (**Smith et Clark 1994**). Elles permettent de favoriser le maintien et la survie de population à effectif restreint (**Zedrosser et al. 2001**).

Ces réintroductions sont souvent couplées avec des méthodes de suivi de la population ou d'individus (**Taberlet et al. 1997, De Barba et al. 2010ab**) permettant ainsi d'analyser les déplacements des animaux (**Quenette et al. 2006**), d'évaluer le domaine vital utilisé par chaque individu (**Zedrosser et al. 2007**) mais aussi d'estimer la densité et les effectifs de l'espèce dans la zone d'étude au cours des différentes années (**Sorensen et al 1990, Kohn et al. 1999, Zimmerman et al. 2007**). Ces différents suivis contribuent à la gestion et à la conservation de l'espèce et des habitats qu'elle occupe (**Barea-Azcon et al. 2006**). Ce suivi peut reposer sur les captures, le suivi télémétrique des individus à l'aide d'équipement spécialisé ou sur des méthodes non-invasives sans capture physique des individus à partir de recueil d'indice de présence de l'espèce (**Clark et al. 2006, Henschel et Ray 2003**). Pour les grands carnivores, les méthodes non-invasives sont souvent utilisées car ces populations se caractérisent par des faibles densités sur de vastes domaines vitaux souvent isolés (**Karanth et Nichols 1998, Bellemain et al. 2007**), des modes de vie discrets (solitaire, nocturne) (**Parde et Camarra 1992, Trolle et Kéry 2003**) avec des individus se déplaçant sur de longues distances (**Smith et Clark 1994**) et vivant dans des zones difficilement observables comme les jungles, les forêts denses ou les chaînes de montagnes (**Woods et al. 1999, Gervasi et al. 2008**). Le plus souvent, les caractéristiques physiques des carnivores ne permettent pas d'identifier l'individu, le sexe ou l'âge de l'animal excepté pour certains félidés.

Ces différentes caractéristiques rendent les espèces difficilement observables de manière directe (**MacKenzie et al. 2003, Sanderson et Trolle 2005, Karamanlidis et al. 2010**). L'utilisation du suivi indirect, en détectant les indices pouvant être laissés par l'animal comme des crottes, des empreintes, des poils ou des plumes et plus rarement des traces d'urine, de peau ou de salive, est donc primordial pour déceler la présence de l'espèce. Ces techniques de suivi indirect sont utilisées sur de nombreuses espèces de carnivores comme le tigre (**Karanth et Nichols 1998**), le lynx (**Zimmerman et al. 2007**), le cougar (**Beier et Cuppingham 1996**), le coyote (**Kohn et al. 1999**) ou l'ours (**Woods et al. 1999, Martorello et al. 2001**) mais aussi chez d'autres espèces animales comme la martre (**Barea-Azcon et al. 2006**) ou des espèces d'oiseaux (**Ebert et al. 2010**).

La question de l'efficacité d'un protocole de suivi pour une espèce donnée est devenue un objectif primordial pour le suivi de population animale (**De Barba et al. 2010**). Ces études permettent de recentrer et d'améliorer les techniques pour avoir un meilleur suivi, ce qui va entraîner une meilleure gestion des populations de grands carnivores. Le travail présenté s'inscrit dans ce cadre de recherche et a pour objectif de comparer cinq méthodes de suivis entre elles, chacune ayant des objectifs communs et entraînant un coût niveau temps pour l'équipe de suivis, et de permettre de mieux évaluer les avantages et les inconvénients de chaque protocole, et ainsi de pouvoir contribuer à la gestion de l'espèce. La détection de l'abondance, l'aire de présence mais aussi le nombre d'indices vrais, la qualité des indices détectés et le nombre de portées observées sont des paramètres utilisés pour la comparaison des différents protocoles.

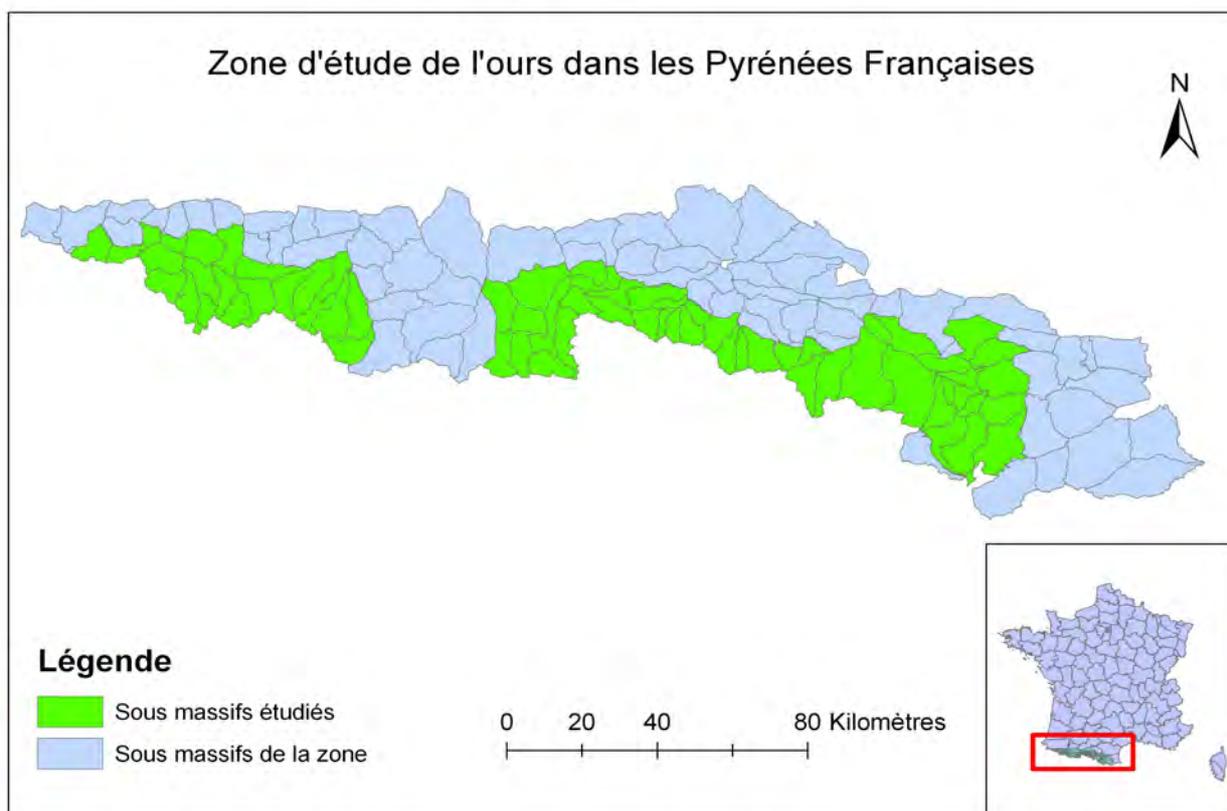
Des plans de gestion ont aussi été mis en place pour les population d'ours brun du fait que de nombreux territoires abritant l'espèce ont subi une diminution flagrante de leur population au cours du siècle dernier (**Taberlet et al. 1993, Serhveen et al. 1999, Gervasi et al. 2008**). En Europe, on ne compte plus que 50000 ours en 2001 dont seulement 14000 en dehors de la Russie répartis sur 12 territoires (**Zedrosser et al. 2001**). En France, il ne reste plus que 5-6 ours détectés en 1995 alors qu'ils étaient plus de 72 en 1950 (**Couturier 1954**). Dès 1993, des plans de sauvegarde de l'ours brun ont été effectués dans les Pyrénées pour pallier à cette chute démographique avec le lâcher de 3 ours en 1996-1997 (**Quenette 2001ab**), puis de 5 nouveaux individus en 2006 (**Quenette et al. 2006**). D'autres pays comme l'Autriche en 1989 (**Rauer 1992**) et l'Italie en 1999 (**Dupré et al. 1998 via Quenette et al 2006**) ont aussi mis en place des plans de réintroduction de l'ours sur leur territoire. Dans les Pyrénées, le suivi de la population d'ours s'effectue à l'aide de différentes techniques de suivi chacune liée à un protocole bien précis mis en place depuis plusieurs années. L'objectif du suivi fixé par l'ONCFS (Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage) est double, il s'agit d'évaluer chaque année la dynamique de la population (effectif, taux de natalité et de

survie des ours) et d'évaluer l'aire de présence de l'ours dans les Pyrénées. Cette étude devrait permettre de mieux recentrer les techniques sur les objectifs où elles sont le plus optimales et ainsi d'améliorer le suivi de la population d'ours bruns en France.

## II. Matériel et méthodes

### 1) Zone d'étude

La zone d'étude côté français des Pyrénées est divisée en deux parties distantes d'environ 50 km qui correspondent à la zone pyrénéenne occidentale, ancien berceau des ours Pyrénéens (**Parde et Camarra 1992**) et à la zone centre-orientale, lieu où se sont déroulés les lâchers (**Quenette 2001**). Chaque zone est découpée en sous massif, versant d'un massif montagneux d'une superficie variant de 100 à 700 km<sup>2</sup> où l'ours peut trouver tout ce qui est nécessaire à sa survie. La zone occidentale s'étend sur 21 sous massifs répartis sur 2 départements (Pyrénées-Atlantiques et Hautes-Pyrénées) et s'étendant sur une surface de 1276 km<sup>2</sup>. La zone centrale-orientale est composée de 44 sous massifs s'étendant sur 5 départements (Hautes-Pyrénées, Haute-Garonne, Ariège, Aude et Pyrénées-Orientales) et dont la surface correspond à 2948 km<sup>2</sup> (Figure 1). Il n'existe quasiment aucun échange entre ces 2 populations d'ours (1 cas avéré en 15 ans). Il existe également un suivi de l'ours en Espagne et en Andorre. Les données espagnoles ne seront pas présentées dans ce rapport du fait de leurs non disponibilités pendant le stage.



## 2) Caractéristiques de l'ours brun

L'ours brun (*Ursus arctos*, Linne 1758) est l'un des seuls représentants du genre *ursus* encore vivant en Europe avec l'ours blanc. Il se caractérise par des membres antérieurs de type digitigrade tandis que ses membres postérieurs sont de type plantigrade, par une ouïe, mais surtout un odorat surdéveloppé, mais d'une vision très réduite, d'un comportement d'hibernation, d'un fort dimorphisme de taille entre les sexes et d'un régime alimentaire principalement omnivore a contrario d'autres carnivores comme le loup (**Couturier 1954**). En effet, la nourriture consommée par l'ours est composée d'environ 70 % de matière végétale (herbes, fleurs, fruits, baies) et de 30 % de part animale (mammifères, insectes, charognes) (**Berduco 1990**). En comparaison, les régimes alimentaires du loup et du lynx sont composés à quasiment 100 % de matière animale (**Stahl et Vandel 1998**). Le régime alimentaire de l'ours varie en fonction des saisons et de la nourriture disponible dans son aire de vie. Le domaine vital de l'ours varie lui aussi en fonction de la saison mais aussi du sexe de l'animal. Les mâles ont un domaine beaucoup plus important que celui des femelles entraînant des déplacements plus importants dans le milieu. Les femelles suitées quant à elles, limiteront encore plus leurs déplacements que les autres femelles tant qu'elles seront accompagnées de leurs oursons (**Servheen et al. 1999, Mertzanis et al. 2005**). Toutes ces caractéristiques imposent que la détection de l'animal va varier en fonction de la saison, des années, du sexe et de l'âge de l'animal (**Nelleman et al. 2007**).

Dans les Pyrénées, deux grands types de suivis bien distincts sont mis en place pour le suivi de la population d'ours brun : le suivi systématique et le suivi opportuniste. Le suivi systématique impose un protocole avec des visites programmées dans l'année d'un dispositif expérimental tandis que le suivi opportuniste repose sur le recueil de tous types de témoignages rencontrés dans l'année de façon non programmée ainsi que toutes les attaques imputables à l'ours (troupeaux, ruches...) (**De Barba et al. 2010a, Quenette 2001a**).

## 3) Le suivi systématique

Ce type de suivi correspond à des protocoles spécifiques s'appliquant sur une zone d'étude précise avec pour objectif des sorties sur le terrain pour rechercher des indices indirects de présence tels que des crottes (**Kendall et al. 1992**), des poils (**Waits et Paetkau 2005**), des empreintes (**Camarra 1995**) ou d'autres indices rares comme des griffures sur arbres, des pierres retournées ou des couches (**Stander 1998, Gese 2001**) ou des photographies (**Ebert et al. 2010**). Dans les Pyrénées françaises, 4 types de suivi systématiques ont été mis en place.

### *3.1) Suivi systématique via les itinéraires (SI)*

Le suivi par itinéraire consiste à parcourir un itinéraire pédestre dix fois dans l'année de Mai à Novembre selon un calendrier prédéterminé à l'avance (Tableau 1). Le nombre de sorties en début d'année est beaucoup plus important que lors de la fin de l'année du fait que la probabilité de détection d'indices laissés par l'animal est plus forte en mai-juin que pendant les autres mois du fait du déplacement de l'animal (**Mertzanis et al. 2005**). La longueur des itinéraires est corrélée avec la taille du sous massif sur lequel se trouve l'itinéraire à raison de 0,2 km de transect par km<sup>2</sup> de sous massif. Ces techniques sont déjà utilisées dans de nombreuses études sur l'ours (**Bellemain et al. 2007, Gervasi et al. 2010**). La zone d'étude pour le suivi itinéraire a varié entre les trois dernières années avec 19 sous massifs étudiés en 2009, 55 en 2010 et 63 en 2011 (Annexe 1). Dans la nature, il est assez difficile de récolter certains indices comme des poils. Ainsi pour maximiser leurs chances de récoltes, le long de l'itinéraire sont installés des pièges à poils constitués d'un arbre sur lequel se trouvent 3 petits morceaux de fil barbelé situés à différentes hauteurs et ayant pour rôle la récolte de poils (Figure 2). Pour maximiser le piège, un peu de térébenthine est ajouté sur l'arbre. Ainsi l'ours attiré par l'odeur aura comme comportement de se frotter contre l'arbre et laissera un peu de poils sur le fil barbelé. D'autres études ont montré que ce système de récolte avait une certaine efficacité que ce soit à l'aide de zone de frottement naturel (**Quenette et al. 2001ab**) ou artificiel (**Karamanlidis et al. 2010**). On compte environ 4 à 5 arbres avec piège à poils par itinéraire. A certains endroits, des revoirs seront placés (terre travaillée) permettant ainsi de maximiser la récolte d'empreintes. (Annexe 2).

### *3.2) Suivi systématique via les Stations de Suivi (SS)*

Les stations de suivi consistent en un enclos en fil de fer barbelé disposé à 50 cm de hauteur, entourant une zone déterminée de 20 à 30 m<sup>2</sup> au milieu de laquelle se trouve un appât, ici constitué d'une substance composée de poisson fermenté mélangé à du sang de bœuf auquel a été ajouté une récompense sous la forme de grains de maïs (Figure 3). Ce dispositif permet d'attirer l'ours par l'odeur fermenté, et de récupérer des poils lorsque celui-ci tente de franchir le barbelé (**Quenette et al 2001a, Barea-Azcon et al. 2006**). Une station de suivi est placée par cellule de 4 km de côté pour les zones avec forte présence d'ours et de femelle suitée permettant de maximiser la capture des oursons de l'année, tandis qu'une station sera placée tous les 8 km sur les zones avec faible présence d'ours composé exclusivement de mâles. Elles sont positionnées dans des lieux faciles d'accès, près de voie ou de passage d'animaux (**Gervasi et al. 2010**) et sont visitées 10 fois dans l'année de fin mai à fin septembre pour une visite tous les 15 jours environ (Tableau 1). Elles couvrent respectivement 44, 49 et 40 sous massifs pour les années 2009, 2010 et 2011 (Annexe 3). Ces techniques de

piégeage à l'aide de station sont souvent utilisées pour la collecte de poils (**Castro-Arellano et al. 2008**).

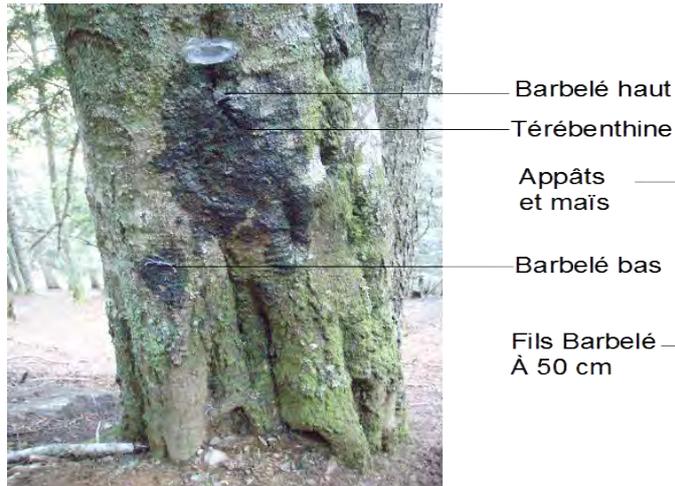


Figure 2 : Arbre avec piège à poils sur les itinéraires pédestres



Figure 3 : Station de suivi dans les Pyrénées françaises

### *3.3) Suivi systématique via Appareil Photographique (AP)*

Les stations appareils photos consistent en un appareil photo à déclenchement automatique par mouvement, placé sur un arbre et en face de voie de passage d'animaux, de station de suivis ou d'arbre à térébenthine. Cette technique en pleine expansion, a tout d'abord été développée pour les cétacés avant d'être utilisée pour les grands carnivores terrestres comme le tigre (**Karanth et Nichols 1998**), l'ocelot (**Trolle et Kéry 2003**) ou le lynx (**Zimmerman et al. 2007**). La méthode permet à la fois de récolter une photo ou vidéo de l'animal selon le type d'appareil utilisé mais aussi de pouvoir récupérer des poils sur l'arbre ou la station et ainsi de combiner les méthodes. Un appareil photo est placé dans un damier de 4x4km comme pour les stations de suivis sur une zone restreinte correspondant à la zone de présence des femelles permettant ainsi de détecter les naissances de l'année. Les appareils photographiques sont relevés tous les mois (Tableau 1). Cette méthode n'a été mise en place que lors de l'année 2011 sur une zone couvrant 19 sous massifs dont 10 en Pyrénées centraux-orientales et 9 en zone occidentale (Annexe 4).

### *3.4) Suivi systématique dit Systématique Autre (SA)*

Le suivi systématique autre correspond à toute action entreprise de façon non planifiée à l'avance sur le terrain pour détecter des indices d'ours mais qui n'entre pas dans les opérations des groupes précédents. Il peut s'agir par exemple d'une sortie sur un itinéraire ou une station en dehors des périodes prévues par le planning, des actions spécifiques de recherche de trace ou d'ourson de l'année sur le terrain, après témoignage ou pendant des périodes propices à la détection. Entrent dans cette catégorie les appareils photos placés par

des particuliers mais aussi le suivi télémétrique des ours équipés d'émetteur, terminé depuis fin 2009 dans les Pyrénées. Ce type de suivi peut se dérouler tout au long de l'année. La zone d'étude couvre 23 sous massifs en 2009, 17 en 2010 et 16 en 2011 (Annexe 5).

**Tableau 1** : Période de sortie des collectes d'indice pour le suivi systématique SS, SI et AP

Type de suivis	Sortie 1	Sortie 2	Sortie 3	Sortie 4	Sortie 5	Sortie 6	Sortie 7	Sortie 8	Sortie 9	Sortie 10
SI	1 <sup>er</sup> Mai au 10 Mai	11 Mai au 20 Mai	21 Mai au 31 Mai	1 <sup>er</sup> Juin au 10 Juin	11 Juin au 20 Juin	21 Juin au 20 Juillet	21 Juillet au 20 Août	21 Août au 15 Sept	16 Sept au 16 Oct.	16 Oct. au 15 Nov.
SS	10 Mai au 25 Mai	26 Mai au 8 Juin	9 Juin au 22 Juin	23 Juin au 6 Juillet	7 Juillet au 20 Juillet	21 Juillet au 3 Août	4 Août au 17 Août	18 Août au 31 Août	1 Sept. au 14 Sept.	15 Sep. au 30 Sept.
AP	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept.	oct.	nov.	X

#### 4) Le suivi opportuniste

Ce type de suivi repose sur tous les types de témoignages d'indices relevés que ce soit par des professionnels effectuant des actions sur le terrain hors activité ours, ou des particuliers comme des promeneurs, des bergers, des chasseurs, des pêcheurs ou des naturalistes. Il ne répond à aucun plan d'échantillonnage ce qui implique une pression d'échantillonnage inconnue a contrario des suivis systématiques. Les indices peuvent être l'observation visuelle de l'animal parfois accompagné de photo ou vidéo ou de la découverte d'indice comme des crottes, des poils ou des empreintes. Dans cette catégorie sont aussi prises en compte les attaques sur troupeaux domestiques ou sur ruchers. Tous les indices relevés dans ce cadre sont soumis à un processus de validation par les agents de l'équipe ours. Les suspicions d'attaques quant à elles déclenchent une expertise sur le terrain pour détecter si l'ours est responsable de la prédation en analysant la carcasse et en recherchant sur la zone de l'attaque des indices de présence de l'animal (empreintes, poils, crottes...). Le suivi opportuniste est une part non négligeable du suivi des espèces animales notamment chez l'ours (**Onorato et al. 2006, De Barba et al. 2010**) et permet de détecter les nouvelles zones de présence colonisées par une espèce donnée. Le nombre de sous massifs étudiés a été calqué sur la zone utilisée pour le SI en 2011, permettant ainsi de mieux comparer les 2 méthodes entre elles (Annexe 1). Contrairement aux suivis systématiques que l'on divise en 4 groupes, le suivi opportuniste sera traité comme un groupe unique tout le long de ce document.

#### 5) Analyse des indices récoltés

##### 5.1) *Analyse générale des indices*

Les indices de type poils sont analysés au microscope afin de déterminer si l'espèce à laquelle appartient l'échantillon est bien de l'ours. En effet, il est assez facile de différencier un poil d'ours par rapport à d'autres espèces présentes dans les Pyrénées comme le sanglier ou le cerf. Les crottes quant à elles sont examinées selon des caractéristiques physiques précises

(taille, morphologie) et dépiautées si besoin est. Les empreintes quant à elles sont mesurées à différents points et permettent seulement de différencier des catégories d'âge et de sexe (ourson de l'année, ourson de 1 an et demi, femelle adulte, mâle adulte et grand mâle). Pour tous ces types d'indices, les analyses ne permettent pas d'identifier l'individu auquel appartient l'indice du fait de la trop faible diversité entre les individus et des relevés peu précis, mais de seulement déterminer si nous sommes bien en présence d'ours ou non. Les indices photos permettent rarement d'identifier l'individu capturé. A l'inverse du tigre (**Karanth et Nichols, 1998**), du léopard (**Henschel et Ray 2003**) ou du lynx (**Zimmerman et al. 2007**) sur lequel le marquage naturel de l'animal est utilisé pour identifier les individus nominativement ou les familles, l'ours ne possède aucune caractéristique physique permettant de distinguer un individu d'un autre. Seuls certains animaux marqués à l'aide de collier ou de bague auriculaire pourront être individualisés (5 individus en France).

### *5.2) Analyse génétique*

Les tissus récoltés sur le terrain peuvent être analysés génétiquement à l'aide de différentes techniques d'extraction d'ADN permettant l'identification de l'espèce mais aussi de l'individu lorsque le matériel génétique est en bon état (**Bellemain et al. 2007**). Tous les échantillons ne sont pas envoyés à la génétique du fait du coût élevé de la technique (nombre d'échantillons limités à 120 par an) mais aussi de la qualité de certains indices ou de la détermination de l'individu auquel appartient cet indice via la combinaison de techniques. Le matériel génétique peut être extrait de différents échantillons tels que les poils, les crottes, les plumes, l'urine, les mues, la salive, les œufs, le tissu ou le sang (**Waits et Paetkau 2005**). En ce qui concerne l'ours, les analyses se font principalement sur les poils (**Boulanger et al. 2008**) dues au fort potentiel de détection possible (**Taberlet et al. 1993, 1996**) et sur les crottes (**De Barba et al. 2010ab**). La réussite de ce procédé varie en fonction de la qualité de l'échantillon mais aussi du délai entre le dépôt et la récolte de l'indice. Deux fois dans l'année, des échantillons de poils et de crottes sont envoyés au laboratoire de génétique de Grenoble (Laboratoire d'écologie alpine) pour analyse. L'ADN mitochondriale est d'abord extrait et analysé pour connaître l'espèce auquel appartient l'indice. En effet, il arrive que certains indices ne puissent être identifiés à l'œil nu ou qu'il y ait une erreur de diagnostic. Si l'ADN est exploitable et que nous avons bien à faire à de l'ours, l'ADN nucléaire sera extrait puis amplifié par méthode PCR sur des zones hyper-variables du code génétique ou microsatellite, correspondant ici à 4 ou 8 locus selon l'échantillon (**Taberlet et Bouvet 1996**). Des duplications sont faites pour éviter les erreurs (**Waits et Paetkau 2005**). Les données permettent de déterminer avec précision les individus, et de déterminer les liens de parenté qui existent entre les individus (**Bellemain et al. 2007, Gervasi et al. 2010**). En parallèle,

l'analyse du gène SRY est réalisée via la présence ou l'absence du gène, ce qui permet de déterminer le sexe de l'animal (Taberlet et al. 1993, 1996). Cette technique possède quelques inconvénients comme par exemple le fait que des erreurs peuvent se glisser dus à une trop faible quantité d'ADN (Taberlet et al. 1997), à de faux allèles (Bouvet 1995) ou à une contamination de l'échantillon (Waits et Paetkau 2005). Pour diminuer ce risque de contamination, les échantillons de poils sont récoltés à l'aide de gants et de pinces stérilisés à l'aide d'une flamme tandis que les crottes sont directement placées dans un sac hermétique sans contact avec d'autres individus. De plus, la technique peut être limitée par la diversité génétique faible de la population (De Barba et al. 2010ab) ainsi que par le risque de tomber sur deux ADN similaires lorsque nous avons une petite population fermée. Ceci n'est pas encore le cas en France et pour pallier à ce problème, il est possible d'augmenter le nombre de locus examinés. Enfin, le nombre d'indices envoyés à la génétique dépend essentiellement de l'intérêt de l'indice (zone de découverte, ourson ou individu inconnu...).

#### 6) Période considérée

Le suivi de l'ours par le réseau ours brun (ROB) dans les Pyrénées françaises a débuté en 1984 sous la direction de l'ONCFS. A partir de 1996, 2 équipes étroitement liées collaborent pour le suivi de la population, l'une basée à Pau s'occupant des Pyrénées Occidentales tandis qu'une équipe basée à Villeneuve de Rivière s'occupe de la zone centre-orientale. Depuis 2006, un plan de suivi est mis en place à partir d'itinéraires et de station de suivis visités aux mêmes fréquences. Le but de cette étude est de faire une analyse comparative des différentes méthodes de suivis au cours des 3 dernières années de suivis (2009 à 2011) dans les Pyrénées françaises.

#### 7) Base de données et méthodes d'analyses

##### *7.1) Données et premiers tests*

La première partie du stage a consisté à modifier la base de données ours initiale des 3 dernières années et à recréer une base avec pour chaque ligne, les sorties terrains positives et négatives en fonction de 6 variables propres à chaque sortie. Ces caractéristiques quantitatives seront utilisées pour comparer les types de suivis entre eux.

1. Nombre d'indices Vrais : Correspond au nombre d'indices récoltés sur le terrain qui ont donné l'espèce ours après validation de l'échantillon.
2. Nombre d'indices pour la génétique : Nombre d'échantillons de poils ou de crottes envoyés au laboratoire de génétique de Grenoble pour analyse.
3. Nombre d'individus minimum détectés : Correspond au nombre d'individus que l'on peut identifier à partir des indices découverts, déterminés par la génétique ou

par d'autres méthodes (trace de tailles différentes, observation, photographies)

4. Nombre d'indices nommés : Indice permettant l'identification individuelle par analyse génétique ou observation d'individus marqués
5. Nombre d'individus différents nommés : Nombre d'individus différents identifiés
6. Coût de l'opération : Correspond au coût lié à chaque sortie sur le terrain et au coût génétique du ou des échantillons récoltés.

Une première phase exploratoire d'analyse a consisté à rechercher les différents liens qui existent entre les méthodes de suivi à l'aide de ces 6 variables à partir de méthodes classiques d'analyses factorielles. Une analyse en composantes principales (ACP) utilisant les lignes correspondant à chaque sortie en fonction des 6 paramètres précédents sera effectuée (non présentée ici). Une analyse factorielle des correspondances (AFC) sera effectuée à partir du tableau de contingence croisant le type de suivi et les données de comptage.

### *7.2) Modèle de capture-marquage-recapture*

Des modèles de capture-marquage-recapture (CMR) sont souvent utilisés dans le suivi d'espèce animale pour connaître la taille de la population et son évolution au cours du temps (**Woods et al. 1999, Boulanger et al. 2008**). Différents modèles CMR sont utilisés afin d'estimer l'abondance de l'ours dans les Pyrénées centro-orientales et permettre ainsi de comparer les méthodes entre elles. Les modèles ne sont pas utilisés dans les Pyrénées occidentales dû aux caractéristiques du noyau de population (seulement 3 individus en 2009-2010 et 2 individus en 2011 et absence de femelle ne permettant aucune reproduction). Les modèles CMR consistent pour chaque individu, à recréer l'historique de détection de chaque animal pour chaque méthode sur chacune des 3 années. Le critère AIC (Akaike Information Criterion) permet de comparer et sélectionner le modèle le plus pertinent (**Burnham et Anderson 1998**). Si les AIC sont proches entre eux, une combinaison de ceux-ci est effectuée à l'aide de la moyenne pondérée en fonction de l'AIC pour l'abondance et l'intervalle de confiance. Cette approche permet de prendre en compte l'incertitude sur la sélection d'un seul et meilleur modèle pour expliquer les données.

Dix pas de temps sont utilisés correspondant aux 10 sorties réalisées pour les itinéraires et les stations de suivis entre mai et novembre. De même, une visite par mois de février à novembre est utilisée pour déterminer le pas de temps du suivi pour l'opportuniste. Seules 9 sorties sont utilisées pour le systématique autre et les appareils photos compris entre le mois de mars et le mois de novembre. La détection de l'individu dans le sous massif est notée 1 et 0 si l'individu n'a pas été détecté. L'absence de détection correspond à 2 situations possibles, soit que l'animal a une probabilité de détection très faible, soit que celui-ci est présent mais non détecté (**Sanderson et al. 2005**).

Différents types de modèle CMR existent selon le type de population étudiée qui vont poser des hypothèses précises pour chaque cas. Les modèles CMR sont des généralisations du modèle de Lincoln-Petersen qui comporte deux périodes d'échantillonnages avec un pas de temps assez court entre elles. Ces modèles CMR impliquent un pas de temps plus important non limité à 2 itérations. La probabilité de capture d'un individu ( $p$ ) est l'une des caractéristiques importantes pour ce type de modèles. Le modèle le plus simple nommé M0 qui utilise une probabilité de capture homogène entre les individus est décrit par la formule suivante (**Otis et al, 1978**).

$$P(\langle x_w | N, p \rangle) = \frac{N!}{[\prod_w x_w!](N - M_{(k+1)})} p^n (1-p)^{(KN-n)} \text{ avec } n. = \sum_{j=1}^K n_j$$

avec  $N$  : taille de la population,  $M$  : nombre d'animaux marqués,  $n$  historique de capture jusqu'à une période  $j$ ,  $K$  : nombre de période d'échantillonnage,  $p$  : probabilité de capture,  $x_w$  : nombre d'individu capturé à chaque période de capture.

D'autres caractéristiques peuvent être ajoutées pour complexifier le modèle avec l'ajout possible de l'effet du temps, de la probabilité de capture hétérogène de l'individu, de l'effet piège ou d'une combinaison de ces différents facteurs formant ainsi 8 modèles.

- M0 : Probabilité de détection homogène au cours du temps pour tous les individus.
- Mh : Probabilité de détection hétérogène entre les individus.
- Mb : Effet du piège sur les taux de capture suivant, incorpore un impact du piège (positif ou négatif) sur les individus.
- Mt : Probabilité de détection hétérogène selon les différentes périodes de capture.

Quatre autres modèles combinant deux ou trois caractéristiques vues précédemment peuvent aussi être calculés (Mth, Mbh, Mbt et Mbth). Le logiciel R (version 14.0) et le package Rcapture sont utilisés pour calculer le modèle CMR avec population fermée. Une population fermée est une population animale sans échange avec l'extérieur (émigration et immigration nulle) et dont la densité de la population ne va pas varier dans le temps de l'étude (naissance et mortalité nulle). Douze modèles sont ajustés pour chaque type de suivis et chaque année qui sont les modèles de détection homogène (M0), de détection hétérogène suivant des lois de distribution Chao, Poisson, Gamma ou Darroch (Mh), des modèles en fonction du temps (Mt), d'autres testant l'effet du piège (Mb) et ceux combinant plusieurs caractéristiques (Mtb et Mth) (**Williams et al. 2002**). Ces modèles vont permettre de calculer l'abondance théorique de la population avec un intervalle de confiance pour chaque technique pour les 3 années, qui sera ensuite comparée au nombre total d'individus minimum détecté en combinant toutes les méthodes de suivi.

### 7 3) *Modèle de présence*

Les modèles de présence permettent d'estimer l'aire de présence d'une espèce dans un milieu donné tout en prenant en compte la probabilité de détection de l'espèce (**MacKenzie et al 2006**). La présence correspond à la zone occupée par l'espèce pendant toute ou une partie l'année et qui correspond aux domaines vitaux utilisés par les ours présents dans les Pyrénées. La zone d'étude est divisée en plusieurs unités spatiales, ici le sous massif et on détermine si l'espèce a été détectée ou non dans chaque sous massif à un pas de temps donné. De façon similaire au modèle CMR, l'historique de détection de l'espèce pour chaque sous massif sera déterminé et permettra d'estimer la probabilité de présence de l'espèce sur chaque sous massif ainsi que la zone potentielle de présence totale de l'ours. Lorsque l'espèce est détectée sur le sous massif pendant une période d'échantillonnage équivalent à 1 et 0 dans le cas contraire que l'animal soit présent mais pas détecté à ce moment-là (faux négatif) ou absent de la zone (**MacKenzie et al 2002ab**). La réplication spatiale et temporelle permet alors de séparer la non-présence de la non-détection. Trois caractéristiques sont importantes lors de la construction de ces modèles de présence. La première étant la probabilité de détection de l'espèce par entité spatiale ici le sous massif que l'on nommera P. La deuxième est la probabilité d'occupation de l'espèce dans chaque sous massifs que l'on nomme Psi et qui permet d'estimer une probabilité d'occupation sur l'ensemble des sous massifs (Psi de la zone) en combinant les différents Psi que l'on divise par le nombre de sous massif. Enfin, l'hypothèse d'une population fermée est là aussi posée et impose la même argumentation que pour les modèles CMR. Les modèles les plus simples utilisés ici, permettront d'obtenir la probabilité d'occupation sur chaque sous massif mais aussi sur l'ensemble des sous massifs avec un intervalle de confiance qui renseigne sur la précision des techniques (plus l'intervalle entre les 2 bornes est faible, plus le modèle est précis). Notons que les modèles de présence sont proches des modèles CMR par la logique sous-jacente. Ils consistent chacun à reconstruire l'histoire des détections d'une entité (individu dans le cas des modèles CMR versus espèce au sein d'une unité spatiale pour les modèles de présence).

Le logiciel PRESENCE (version 4.3) est utilisé pour ajuster ces modèles sur le massif Pyrénéen. Pour chaque année et chaque méthode, l'aire de présence est calculée à l'aide de deux modèles différents et selon les résultats, un seul modèle le plus pertinent est gardé pour l'analyse en utilisant les AIC pour différencier les modèles. Le premier modèle utilise une probabilité de détection P de l'espèce homogène à la fois dans le temps mais aussi entre les différents sous massifs (modèle P constant) tandis que le second modèle utilise une probabilité de détection hétérogène dans le temps pour tous les sous massifs (P variable) ce qui permet d'analyser si la détection de l'espèce par telle ou telle méthode de suivi est plus efficace pendant une période ou tout au long de l'année. La zone pyrénéenne est divisée en deux zones

distinctes pour calculer l'aire de présence (occidentale et centre-orientale). En effet, les ours vivant sur ces deux zones peuvent être considérés comme deux populations indépendantes vu qu'aucun échange d'individu n'a été observé depuis 10 ans. Au final, chaque sous massif a une probabilité d'occupation par l'espèce avec un intervalle de confiance, ainsi qu'une probabilité d'occupation totale sur l'ensemble de la zone étudiée.

Enfin pour faire ressortir la part d'information apportée par chaque modèle, des cartes sont réalisées en prenant comme base un type de suivi et en ajoutant la part d'information complémentaire apportée par les autres types de suivi. Le sous massif est considéré comme occupé lorsque le psi est supérieur à 0,5. Cela permet d'observer si une combinaison de modèles permet de couvrir une plus grande zone de présence qu'un modèle estimé à l'aide d'une unique méthode. Les sous massifs de non-détection sont bien liés à la non-présence de l'animal et non au fait qu'aucun suivi n'est effectué sur le terrain.

### **III. Résultats**

#### 1) Bilan quantitatif des différentes méthodes de suivi

La première étape est de comparer les types de suivi en fonction de certaines variables déterminées précédemment. Le nombre de sorties réalisées, le nombre d'indices vrais, le nombre pour la génétique et ceux permettant l'identification des individus sont utilisés pour avoir un premier aperçu de l'apport de chaque technique en combinant les 3 dernières années d'études (Figure 4). La qualité des indices a elle aussi été calculée (Tableau 2).

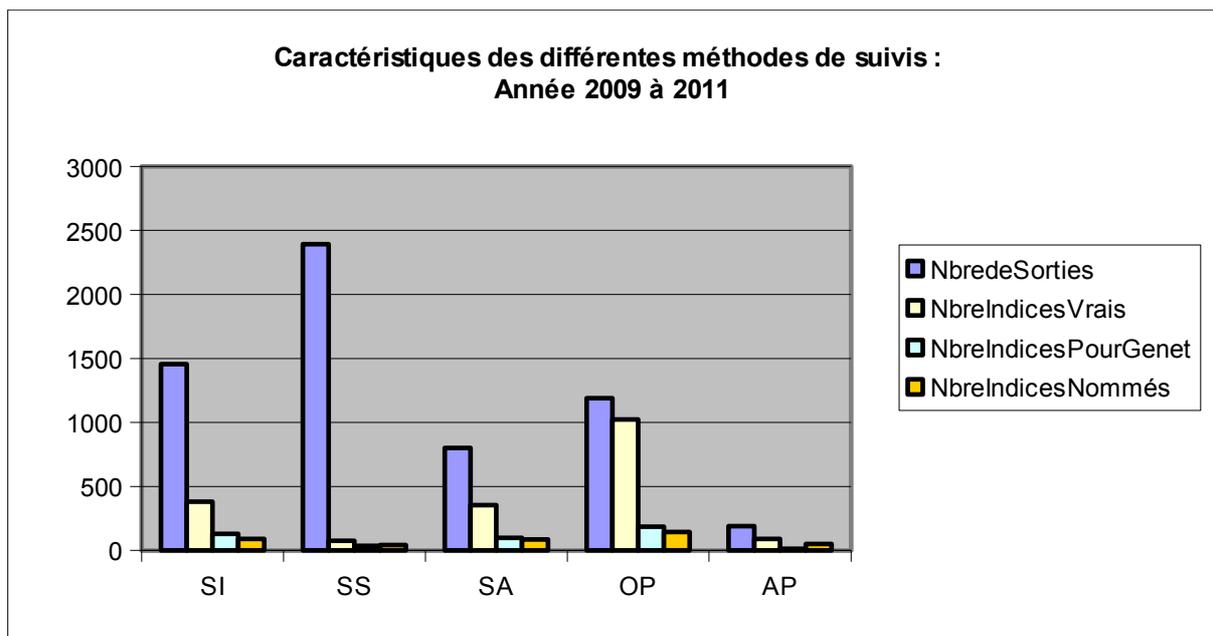


Figure 4 : Comparaison des 5 types de suivi en fonction de différents critères d'étude en combinant les 3 dernières années de suivi.

Tableau 2 : Bilan des caractéristiques pour chaque technique de suivi et pourcentage de ces différents paramètres par rapport au nombre d'indices récoltés pour les 3 années d'étude.

Type de suivis	NbreIndicesVrais	NbreIndicesGeno (%)	NbreIndicesNom (%)
<b>SI</b>	380	129 (33,94)	90 (23,68)
<b>SS</b>	75	37 (49,33)	42 (56)
<b>AP</b>	90	13 (14,44)	51 (56,66)
<b>SA</b>	354	98 (27,68)	85 (24,01)
<b>OP</b>	1024	185 (18,06)	144 (14,06)

Les différents types de suivi ont des caractéristiques différentes entre eux. Le suivi opportuniste apporte un nombre beaucoup plus important d'indices vrais comparé aux autres types de suivi tandis que les stations collectent le moins d'indices vrais malgré un taux d'indices exploités importants (49,33 %) et permettant l'identification de l'individu supérieur aux autres (56 %). Par contre, le suivi opportuniste (OP) apporte beaucoup plus de témoignages faux que les autres techniques (34,23 % d'indices faux contre environ 12 % pour le systématique tous types confondus) et permet de beaucoup moins identifier l'individu qui a laissé l'indice (14,06 % d'indice nommé contre 29,81 % pour le systématique). Le systématique itinéraire (SI) et le systématique autre (SA) ont des caractéristiques assez similaires entre eux excepté le nombre de sorties sur le terrain plus important pour les itinéraires (1456 sorties SI contre 800 sorties SA pour les 3 dernières années). La qualité des indices récoltés permettant l'identification des individus semble meilleure pour le SA (87 % des indices envoyés à la génétique ont donné un individu) que pour le SI (70 % des indices envoyés ont donné un nom). Ces 2 techniques permettent d'avoir un nombre conséquent d'indices vrais et de pouvoir nommer plus de 20 % des indices récoltés. Les appareils photos quant à eux, apportent moins d'indices dans ce bilan ce qui s'explique par le fait qu'ils ont été mis en place seulement pendant la dernière année. Ils permettent souvent une identification de l'individu photographié en limitant le coût génétique à l'aide de l'identification directe de l'individu par marques artificielles (collier, bague) ou naturelles (taille, marque de pelage).

Les résultats concernant le suivi opportuniste suggèrent que cette méthode serait la plus profitable pour le suivi de l'ours. Une analyse plus poussée est réalisée pour observer quels sont les types d'indices qui apportent le plus de données notamment entre les attaques engendrées par l'ours et les observations visuelles de particuliers. Le tableau 3 montre les caractéristiques apportées par le suivi opportuniste lié aux attaques que l'on compare aux suivis opportunistes liés à des observations visuelles ou autres indices sur le terrain (empreinte, poils...). L'opportuniste est composée en majorité d'attaque et de découverte d'indices lors d'investigation sur le lieu d'attaques (72 % des indices récoltés). Ce rapport de 75/25 est identique pour les 4 caractéristiques étudiées dans le tableau. Cela implique que quelle que soit la technique de découverte de l'indice, on obtiendra toujours la même

probabilité d'avoir le nom de l'animal.

Tableau 3 : Caractéristique du suivi opportuniste entre les indices liés aux attaques et les indices opportunistes autres (observation, découverte d'empreinte) pour l'année 2011.

Type de suivis	Indices Récoltés	Indices Vrais	Indices Génétiques	Indices Nommés
<b>OP avec Attaque</b>	375	252	73	38
<b>OP sans Attaque</b>	144	88	16	12

## 2) Analyse factorielle des correspondances

Une Analyse factorielle des correspondances (AFC) a été réalisée en utilisant comme entrée les types de suivis en fonction de 5 caractéristiques distinctes (Nombre d'indices récoltés, Nombre d'indices vrais, Nombre d'indices pour la génétique, Nombre d'individus différents détectés et Nombre d'indices nommés). Plusieurs groupes se distinguent dans cette analyse (Figure 5). Un groupe composé principalement des suivis opportunistes pour les 3 années et des itinéraires de 2009 liés aux caractéristiques nombre d'indices récoltés et nombre d'indices vrais, un second groupe formé des itinéraires et du suivi autre pour 2010 et 2011 tandis qu'un troisième groupe lié aux variables nombre d'indices pour la génétique et nombre d'individus différents trouvés, composé des stations de suivis 2009 et 2010 est visible. Les stations 2011 sont complètement excentrées des autres stations de suivis ce qui s'explique par une diminution des stations en 2011 pour la détection de l'ours. Enfin le suivi par appareils photos a des caractéristiques assez proches des stations de suivis qui peuvent s'expliquer par le fait que le rapport entre les différentes variables est très proche pour ces 2 techniques.

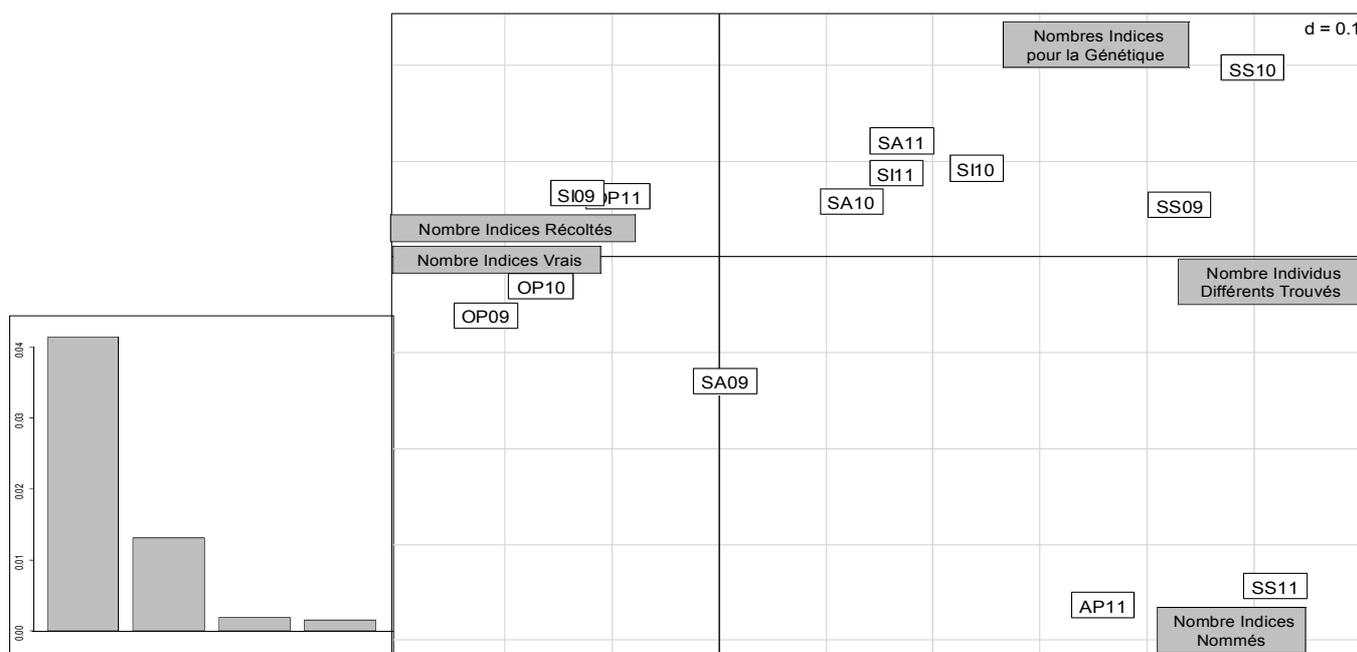


Figure 5 : Analyse factorielle de correspondance pour les différents types de suivis selon 5 caractéristiques importantes pour le suivi de la population.

Une seconde AFC a été réalisée en utilisant cette fois-ci le nombre de fois où chaque individu a été détecté (non présenté ici). Aucun groupe précis n'est créé en utilisant ce modèle même si certains types de suivis une année donnée peuvent détecter certains individus plus que d'autres selon le type de suivi.

### 3) Modèle de capture-marquage-recapture

Les deux modèles liés à l'apprentissage du piège (Mb et Mbh) ont été enlevés de l'analyse du fait de résultats incorrects (abondance négative pour les ours) et 2 autres modèles ont été écartés du fait de l'estimation aberrante réalisée avec plus de 100 individus sur les Pyrénées (modèle hétérogénéité gamma 3.5). Lorsque le nombre d'individus détectés était trop faible (2 individus détectés), seul un modèle simplifié avec une probabilité de capture homogène (M0) a été considéré (SI2009 et SA2009). De plus, pour le suivi systématique autre en 2009, l'intervalle de confiance n'a pas été tracé du fait de la trop forte précision de celui-ci induit par le trop faible échantillonnage de la population disponible par cette technique. Les différentes abondances ont été calculées via la moyenne pondérée pour chaque suivi par année (Figure 6). L'estimation de l'abondance est différente entre chaque technique de suivi. Les suivis opportunistes pour chaque année étudiée ainsi que les itinéraires et systématiques autres en 2011 se rapprochent le plus du nombre d'individus minimums détectés dans l'année sur tout le versant français (ligne bleue sur la figure 6) que l'on considère comme l'effectif témoin minimum pour comparer si l'abondance calculée ne sous-estime pas la population. La ligne rouge correspond à l'effectif minimum détecté tous versants confondus (France-Espagne)

La précision de ces techniques (intervalle de confiance) varie cette fois en fonction du temps et de chaque technique. L'OP, bien que plus proche du nombre minimum d'individus détectés, a une précision beaucoup plus faible que les autres techniques (sauf en 2011) avec un intervalle de confiance (IC) très grandes. Le SI et SA en 2009 et 2010, sous-estiment l'abondance malgré une précision beaucoup plus importante puisque l'IC est petit. En 2011, le SA semble plus précis que le SI pour une même abondance moyenne, tandis que l'OP est pour une fois plus précis. Les appareils photos sont à part en estimant bien l'abondance mais en ayant une IC très grande par rapport aux autres techniques.

Enfin, les techniques SS, SI et SA ont évolué dans le temps en ce qui concerne la détection des individus présents. En effet, les stations semblent moins bien détectées les individus que lors des premières années avec une abondance estimée plus faible et une IC plus grande et à l'inverse, on observe une amélioration de la détection pour les SI et SA de 2009 à 2011 avec une abondance moyenne calculée plus proche du nombre minimum d'individus détectés malgré une IC plus importante.

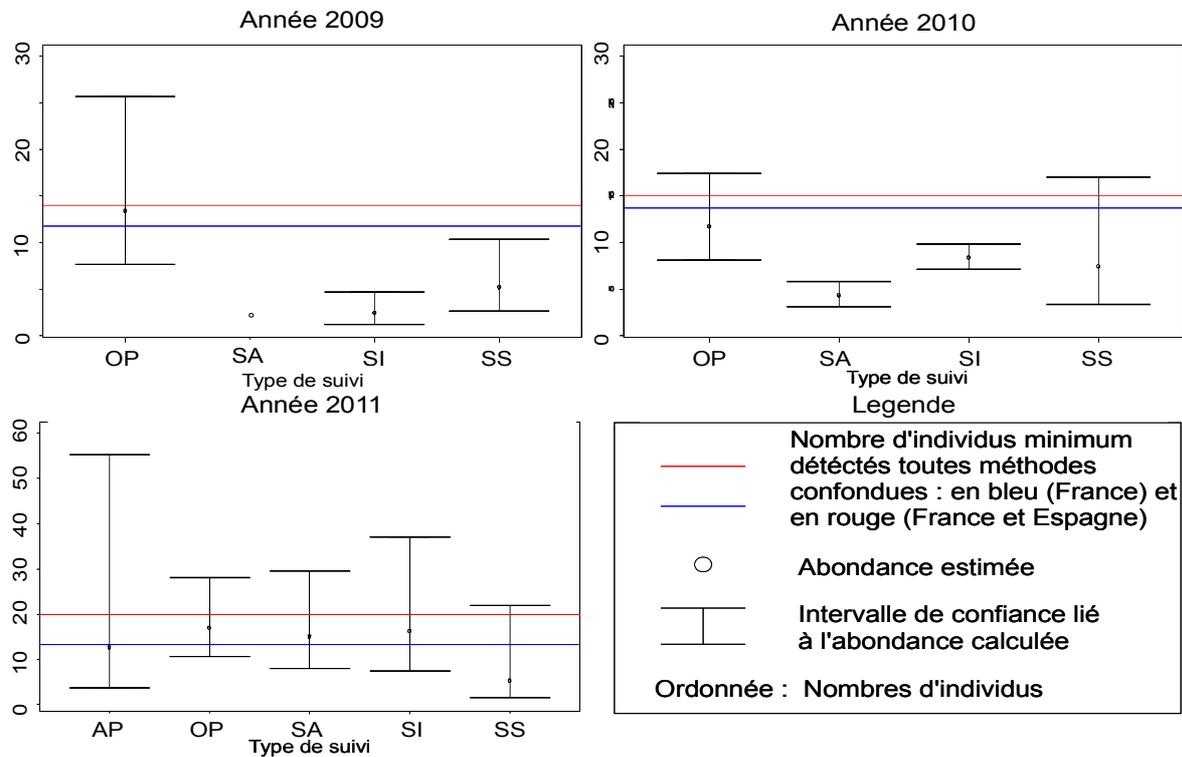


Figure 6 : Effectifs obtenus à partir des modèles CMR pour chaque suivi et chaque année en combinant les 8 modèles de capture en population fermée.

#### 4) Modèle de présence

Le nombre de sous massifs étudiés varie en fonction des différents protocoles de suivis avec des zones de grandes tailles pour les itinéraires et opportunistes, une zone de taille moyenne pour les stations de suivis et des zones restreintes pour le SA et les appareils photos. Les 2 types de modèles ajustés ayant des AIC et des résultats assez proches entre eux, seuls les modèles avec  $p$  variant au cours du temps, qui en plus de donner l'aire de présence de l'animal permettent de connaître la période de détection maximum des indices pour les différents suivis, ont été étudiés.

##### 4.1) Suivi Itinéraire

La zone d'étude pour le suivi itinéraire en Pyrénées Centrales, s'est développée entre 2009 et 2011. En 2009, les itinéraires ne couvraient que 10 sous massifs tandis qu'en 2011, la zone ne comprend pas moins de 43 sous massifs sur la zone centrale. En 2009, le  $\psi$  est beaucoup plus important que pour les deux autres années (Tableau 4), ce qui impliquerait une grande aire de présence de l'espèce sur toute la zone Pyrénées centrale. Si l'on retranscrit ça au nombre de sous massifs étudiés en 2009 comparés au nombre de sous massifs totaux de la zone d'étude, on remarque que la zone de présence est très restreinte. De plus, l'IC est très grand pour les 2 modèles de 2009 (0,16-0,79) ce qui implique une faible précision du modèle et de la technique pour estimer l'aire de présence. A l'inverse, en 2011, le nombre de sous massif étudié est très important couvrant la majeure partie de la zone de présence possible de

l'animal, avec une probabilité de présence sur tout le sous massif (Psi) de 0,14 et une plus grande précision comparée aux autres modèles (0,06-0,28 d'IC). La technique de suivi par itinéraire permet d'avoir une bonne idée de la répartition de l'ours sur les différents sous massifs dans les Pyrénées centrales avec une amélioration de la technique de suivi en 2011.

En Pyrénées occidentales, on observe des résultats similaires avec l'augmentation du nombre de sous massifs étudiés passant de 9 à 20 sous massifs, avec un psi assez fort pour chaque année (proche de 0,50) pour une précision moyenne (0,40 d'IC). Une légère augmentation de l'aire de présence est visible entre les années 2009 et 2011.

#### 4.2) Les Stations de Suivi

Pour la zone centrale des Pyrénées, on observe une grande fluctuation du modèle de présence (Tableau 5) entre les années en ce qui concerne la probabilité d'occupation (psi variant de 0,07 à 0,19) pour un nombre de sous massifs identiques (31). Sur la période d'étude, il est plus facile de détecter les ours en 2009 qu'en 2011 malgré une précision des modèles identiques entre les 3 années (IC de Psi). L'aire de présence via les stations de suivi permet d'apporter quelques informations sur l'aire de présence totale de l'ours mais le peu d'information récolté par les stations ne permet pas d'avoir une précision optimale et une vision plus réaliste de la dispersion des organismes dans les montagnes Pyrénéennes.

En zone occidentale, le suivi par SS est bien moins important et ne permet pas de déterminer l'aire de présence de l'animal dû à des taux de détections de 0 ou de 1 et d'une précision très faible du fait de la quantité d'indices récoltés par ces méthodes trop réduite. Le modèle ne pourra distinguer pas de présence d'individu ou seulement présence mais avec taux de capture extrêmement faible. Cela peut être dû au trop faible nombre d'ours dans la zone ou tout simplement à des dispositifs non adaptés pour le suivi de la présence des ours ici.

Tableau 4 : Résultats des modèles de présence pour les itinéraires pour les 2 zones pyrénéennes pour le modèle P variant en fonction du temps. Donnée : *plage de donnée utilisée*, Zone : *Pyrénées centrales (Pyr\_Cen) ou occidentales (Pyr\_Occ)*, Sous massif : *Nombre de sous massif étudié*, Sous massif + : *Nombre de sous massifs avec indice*

Donnée	Zone	AIC	SousMassif+	SousMassif	Psi	ErreurStandard	I.C.inf(psi)	I.C.sup(psi)
SI09	Pyr_Cen	67,1	4	10	0.4595	0.1886	0.1610	0.7902
SI10	Pyr_Cen	109.63	4	35	0.1725	0.0641	0.0795	0.3345
SI11	Pyr_Cen	116.62	6	43	0.1423	0.0539	0.0652	0.2829
SI09	Pyr_Occ	88.51	5	9	0.5591	0.1668	0.2519	0.8269
SI10	Pyr_Occ	123.15	7	20	0.3758	0.1159	0.1861	0.6132
SI11	Pyr_Occ	159,48	10	20	0.5195	0.1170	0.3014	0.7304

Tableau 5 : Résultat des modèles de présence pour le suivi par les stations pour les 2 zones pyrénéennes pour le modèle P variant en fonction du temps (Légende voir tableau 4)

Donnée	Pyr	AIC	SousMassif+	SousMassif	Psi	ErreurStandard	I.C.inf(psi)	I.C.sup(psi)
SS09	Pyr_Cen	89,48	5	31	0.1919	0.0778	0.0816	0.3884
SS10	Pyr_Cen	55,63	2	31	0.0747	0.0508	0.0187	0.2544
SS11	Pyr_Cen	54,7	3	31	0.1004	0.0554	0.0325	0.2710
SS09	Pyr_Occ	22.00	0	9	0.0000	0.0000	0.0000	1,0000
SS10	Pyr_Occ	22.00	0	13	0.0000	0.0000	0.0000	1,0000
SS11	Pyr_Occ	29.72	1	18	0.0556	0.0540	0.0078	0.3065

#### *4.3) Le Systématique Autre et le suivi Appareils Photos*

Par définition, ces types de suivi se caractérisent par un nombre restreint de sous massifs retenus situés en pleine zone de présence régulière d'ours (8 à 15 sous massifs) ce qui a pour impact un résultat de la probabilité de présence psi élevée sur la zone, mais ne représentera pas l'ensemble du domaine Pyrénéen (Annexe 6). Cela explique une diminution de la précision de la présence de l'animal sur la zone étudiée par la méthode (meilleur intervalle 0,60) du fait du trop faible nombre de sous massifs étudiés et d'une probabilité de détection de l'ours P forte. Les deux techniques ne permettent pas de connaître avec précision l'aire de présence de l'animal du fait de la taille faible de la zone d'étude qui va fausser la répartition de l'espèce sur le massif.

#### *4.4) Suivi Opportuniste*

Les modèles de présence ajustés sur les données obtenues à l'aide du suivi opportuniste permettent d'avoir une bonne idée de l'aire de répartition de l'espèce sur le massif Pyrénéen. En effet, une grande partie de la zone d'étude totale est étudiée dans le suivi opportuniste (43 sous massifs en Pyrénées centrales-orientales sur 45 sous massifs étudiés toutes méthodes confondues et 20 sous massifs sur 21 en Pyrénées occidentales) ce qui permet d'avoir une bonne approximation de la présence de l'animal avec la possibilité de découvrir des indices sur toute la zone d'étude. Le taux de présence psi (Tableau 7) est élevé en Pyrénées centrales (0,38 à 0,55) avec une précision assez forte (0,30 d'intervalle entre la borne inférieure et supérieure) en comparaison aux autres techniques. Entre 2009 et 2011, une diminution de l'aire de présence est perceptible. Cela pourrait être dû à une diminution de l'aire entre les années ou seulement une variation de la détection qui aurait eu comme impact une diminution de la détection d'indices en 2011 (moins de déplacement, zone restreinte des femelles à cause des naissances fortes en 2010 et 2011, effet du climat).

Il en est de même en Pyrénées occidentales avec un nombre de sous massifs étudiés

élevés (20 sous massifs), un nombre de sous massif avec indices élevés (11-12 sous massifs positifs) ce qui a pour impact une bonne estimation de l'aire de présence avec un psi élevé (environ  $\psi=0,58$ ) et une précision moyenne (0,4 pour IC). Entre les années, l'aire de détection d'indice est relativement stable comparé à l'autre noyau des Pyrénées. Le suivi opportuniste permet d'avoir une bonne idée de l'aire de présence de l'animal dans le massif montagneux.

Tableau 6 : Résultats des modèles de présence pour le suivi opportuniste pour les 2 zones pyrénéennes pour le modèle P variant en fonction du temps (Légende voir tableau 4)

Donnée	Pyr	AIC	SousMassif+	SousMassif	Psi	ErreurStandard	I.C.inf(psi)	I.C.sup(psi)
OP09	Pyr_Cen	286.97	22	43	0.5403	0.0817	0.3816	0.6912
OP10	Pyr_Cen	290.80	22	43	0.5345	0.0804	0.3787	0.6838
OP11	Pyr_Cen	238.19	16	43	0.3808	0.0756	0.2470	0.5356
OP09	Pyr_Occ	168.35	11	20	0.5739	0.1172	0.3449	0.7750
OP10	Pyr_Occ	172.07	11	20	0.5621	0.1140	0.3411	0.7609
OP11	Pyr_Occ	175.59	12	20	0.6329	0.1174	0.3903	0.8228

#### 4.5) Cartographie liée aux modèles de présences

Seuls trois modèles permettant de cartographier la zone de présence de l'ours du fait de la taille de la zone étudiée par les techniques de suivi et de leurs précisions. Il s'agit principalement des modèles liés aux suivis opportuniste, itinéraire et dans une moindre mesure des stations de suivi. Deux cartes vont être réalisées pour l'année 2011, l'une ayant pour base le suivi systématique (Figure 7a) et à laquelle on va ajouter les données opportunistes. Une autre carte est obtenue en faisant le contraire (Figure 7b). La figure 7a montre que la complémentarité entre les techniques systématiques et opportunistes permet d'avoir une zone vaste en ce qui concerne l'aire de présence avec des informations complémentaires apportées par les stations de suivis (2 sous massifs), mais surtout par l'opportuniste (10 sous massifs). On observe une complémentarité des différentes techniques de suivi pour définir l'aire de présence. La figure 7b a pour base les données opportunistes auxquelles on ajoute les données supplémentaires apportées par le systématique itinéraires et stations. Les ajouts effectués par le systématique sont très faibles (2 sous massifs pour le SI et 1 pour le SS), tandis que l'opportuniste permet de connaître la majorité de l'aire de présence de l'animal. Ainsi, le modèle de présence via l'opportuniste permet de connaître la majeure partie de l'aire de répartition des ours dans les Pyrénées tandis que les SI et SS sous-estiment l'aire de présence de l'espèce de la zone, mais permet d'ajouter un complément à la carte tracée en utilisant le suivi opportuniste.

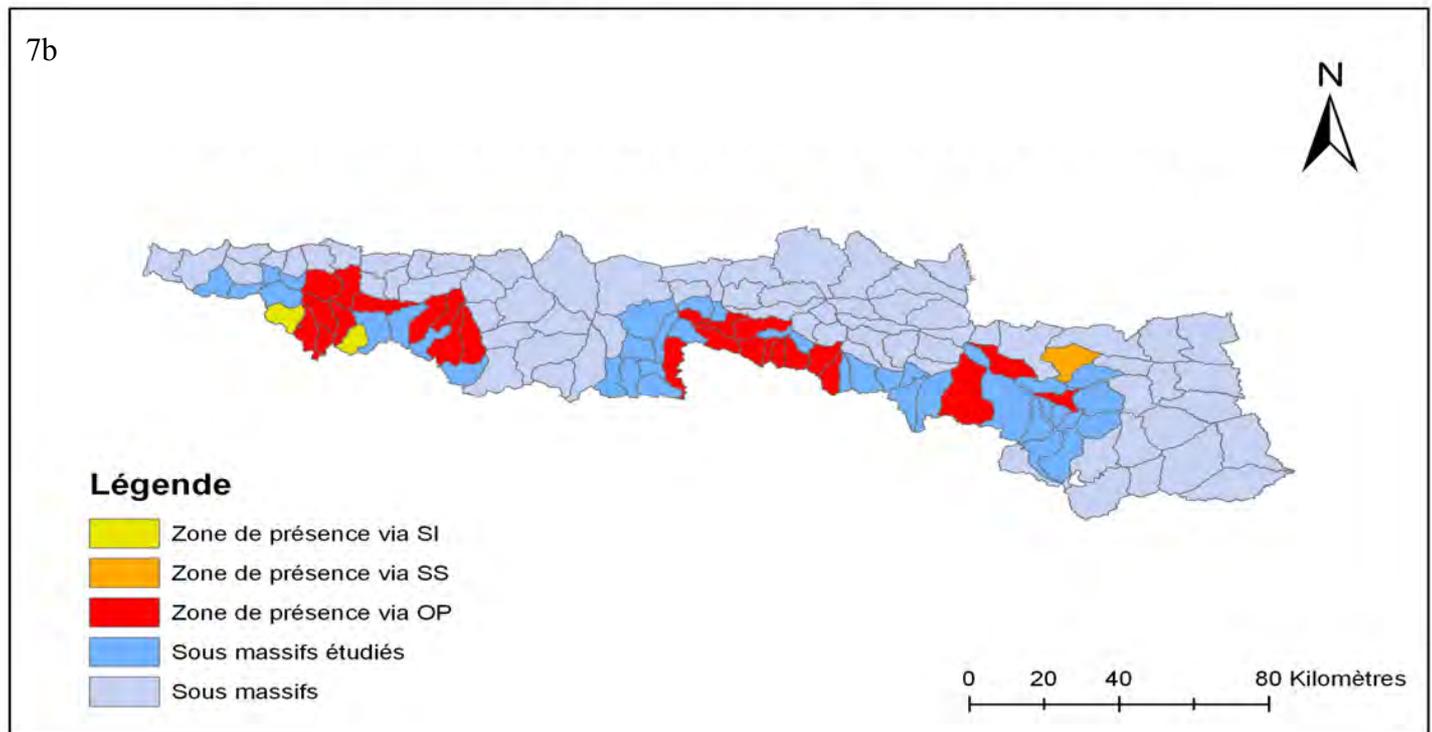
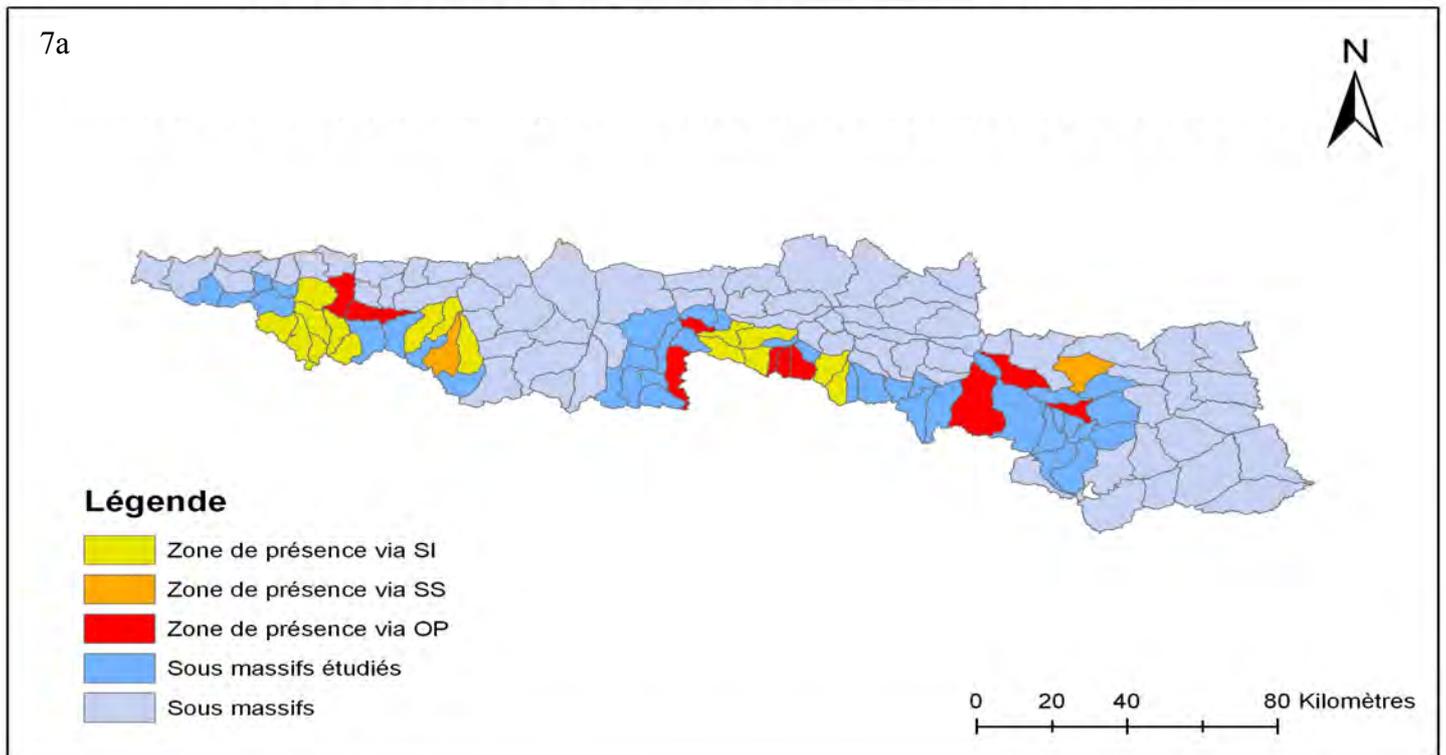


Figure 7 : Comparaison des modèles de présence liés aux apports de chaque modèle pour chaque technique pour estimer l'apport du modèle opportuniste sur le systématique (7a) et l'apport du systématique sur l'opportuniste (7b).

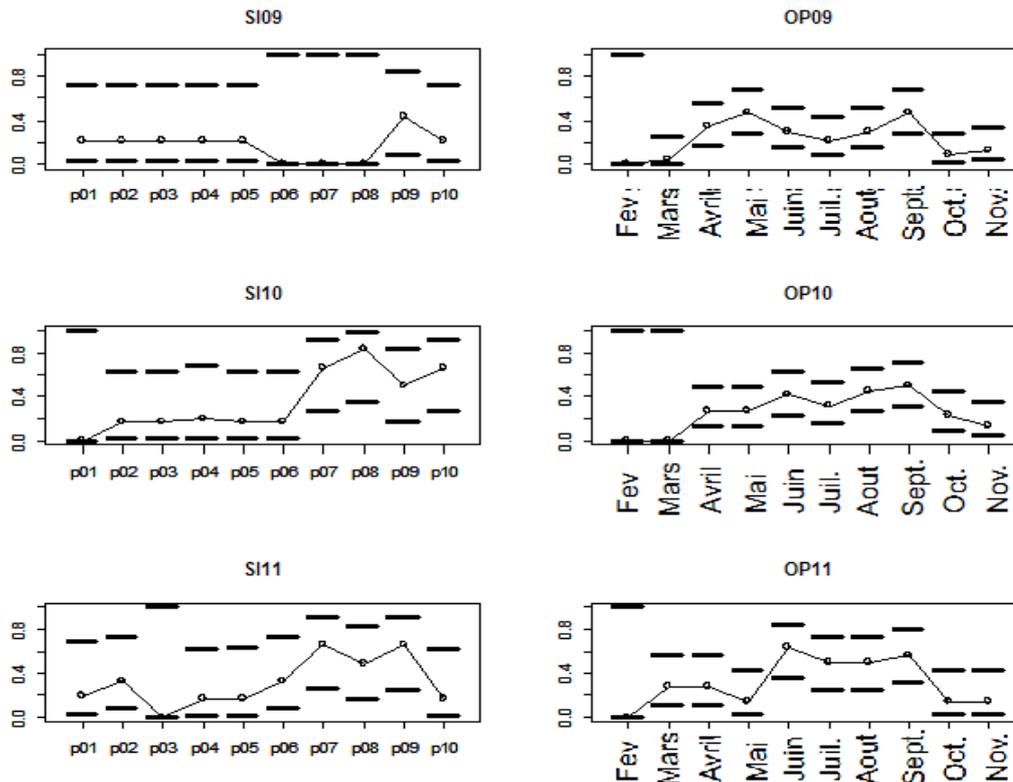


Figure 8 : Probabilité de détection de l'ours dans les sous massifs étudiés par les techniques OP et SI de 2009 à 2011 en fonction de la période de suivis. (Modèle survey P) pour les Pyrénées centrales et orientales. (p1 à p10 correspond aux périodes de suivi des itinéraires)

#### 4.6) Période de détection des individus

Un autre apport intéressant à observer est la période pendant laquelle les indices ont été détectés par les itinéraires et l'opportuniste pour savoir si le taux de détection de l'espèce p est variable dans le temps et si une période est plus propice à l'observation qu'une autre. Pour cela, les modèles avec p hétérogène dans le temps pour chaque année et pour ces 2 techniques sont analysés. Les graphiques (Figure 8) montrent la variation de p en fonction du temps. Les itinéraires ont un taux de détection supérieur en milieu d'année (de fin juin/début juillet à octobre) comparée au début de l'année (mai-juin). En ce qui concerne le suivi opportuniste, la probabilité de détection de l'ours augmente une première fois en juin puis un second pic en septembre est visible.

## IV. Discussion

### 1) Les différents types de suivi

Les différentes analyses effectuées précédemment permettent de faire ressortir les points positifs et négatifs de chaque type de suivi utilisé sur la population d'ours brun dans les Pyrénées françaises ce qui va permettre de recentrer les techniques pour répondre au mieux aux deux principaux objectifs : évaluation de l'abondance et de l'aire de présence. Depuis

2009, le système de suivi en France se traduit par une augmentation de la zone d'étude et la mise en place de mêmes protocoles de suivi sur les deux noyaux de population. Cela a conduit à une meilleure répartition du système de suivi via les itinéraires et les actions ciblées sur le terrain (Systématique Autre), avec un nombre d'indices récoltés en hausse et une bonne qualité d'indices permettant l'identification des individus. Cette augmentation peut s'expliquer par le fait qu'en 2009, une part importante du suivi reposait sur le suivi télémétrique au détriment du suivi indirect systématique. En 2010-2011, plus aucun ours n'étant équipé de collier émetteur, l'augmentation du nombre de sorties sur le terrain pour le suivi systématique autre a conduit à l'augmentation du nombre d'indices récoltés. Le suivi systématique par stations est peu efficace (un indice récolté pour 32 sorties en moyenne) et apporte peu d'information sur l'abondance ou l'aire de présence de l'ours. On note même un déclin de cette technique en 2011 qui peut s'expliquer par le fait que deux des ours souvent capturés par la technique étaient suivies cette année-là, ce qui se traduit par une modification de leurs domaines vitaux et une diminution des déplacements. Ces stations n'ont pas le même impact selon le sexe, l'âge ou le statut social de l'animal (**Ebert et al. 2010**). La même observation est faite en France avec un taux de capture des mâles supérieur à celle des femelles pour les stations (62 % des individus capturés alors qu'il représente 30 % de la population adulte et subadulte). Les femelles accompagnées de leurs oursons pourraient se montrer plus craintives pour franchir le piège à poils à l'inverse des autres individus de la population notamment des mâles (**Boulanger et al. 2006**). Ces résultats négatifs des stations vont dans le sens des observations réalisées par **Gibeau (2007)** qui note un effet de ce dispositif sur la récolte d'échantillons en montrant que sur 78 ours rencontrant la station, 35 individus ne franchiront pas le barbelé. De plus, les ours ayant franchi le barbelé ne laisseront pas tout le temps du matériel génétique ce qui réduit encore l'efficacité de la technique. **Gervasi et al. (2008)** avait lui aussi remis en question l'efficacité des pièges à poils sur l'ours en montrant que le taux de piège ayant fonctionné dans l'année était assez faible et pouvait s'expliquer par le fait que la technique est peu adaptée aux populations de faibles effectifs, ce qui est le cas en France. Le suivi opportuniste apporte bon nombre d'informations à la fois sur l'aire de répartition des individus (principale technique permettant la découverte de nouvelles zones de colonisation), mais aussi sur l'abondance de la population de manière constante dans le temps, et ce malgré une qualité des indices inférieurs aux autres techniques, mais compensée par un nombre d'indices vrais supérieurs aux autres méthodes. Ces informations sont principalement apportées par les attaques sur troupeau domestique et les prospections sur le terrain associées aux constats de dommage. Pour s'assurer qu'il n'y a pas de biais lié à cette collecte d'indice, il serait important de cartographier la présence des troupeaux en période estivale pour s'assurer qu'il n'y a pas de sous massifs en zone à ours dépourvu de troupeaux domestiques. On pourrait

également tester l'impact des données liées aux attaques sur les modèles d'abondance et de présence. Le suivi appareil photo est un cas spécial du fait du peu de recul de cette méthode utilisée seulement en 2011. La première année montre que la technique n'est pas adaptée pour estimer l'aire de présence de l'animal du fait de la zone restreinte d'observation. Pour l'abondance, malgré une estimation proche du nombre minimum d'individus détectés, la précision est très faible du fait que seuls certains individus marqués seront toujours identifiés. Ainsi certains animaux seraient identifiés très souvent tandis que d'autres bien qu'ayant été capturés plusieurs fois, ne seraient pas identifiés et ne sont donc pas pris en compte dans le modèle. Sur le lynx ou le tigre, tous les individus photographiés sont nommés, ce qui n'est pas le cas ici où 42 % des photos ne sont pas identifiées. Cela va apporter un biais à l'estimation de l'abondance que nous n'avons pas dans la technique d'identification par la génétique car la probabilité d'envoi de l'échantillon pour analyse génétique est la même pour chaque individu. Il est important de développer l'identification de l'animal en couplant les appareils avec des pièges à poils ou en élaborant un système pour identifier les individus photographiés.

## 2) Les modèles de capture-marquage-recapture et hypothèse de la population fermée

Les modèles CMR ont permis d'estimer l'abondance au cours des trois années en fonction des différentes techniques de suivi. L'estimation a ensuite été comparée au nombre d'individus minimum détectés versant français toute technique confondu pour les 3 années. L'abondance estimée des différents techniques de suivi est très proche du nombre d'individus minimum détectés dans l'année (1 individu de plus ou de moins selon la technique de suivi en 2011) avec une très bonne estimation à l'aide des données opportunistes et une bonne estimation à l'aide du Systématique Itinéraire et du Systématique Autre, et une sous-estimation à l'aide du Systématique Station. Une amélioration du suivi SI et SA est aussi perceptible entre les années. Les modèles utilisés sont des modèles à population fermée (**Alpizard-Jara et al 2005**), ce qui implique une zone sans échange avec l'extérieur et un taux de natalité et de mortalité nulle. Sur la zone d'étude, la population d'ours n'est pas totalement une population fermée vu que des échanges sont possibles entre les versants français et espagnols ce qui peut avoir comme conséquence une sous-estimation de la taille de la population (**Williams et al. 2002**). Trois arguments sont alors avancés pour pallier à ce problème. Le premier est que la non-détection d'un individu pendant une période de temps, du fait de son arrivée en zone espagnole touchera toutes les méthodes de suivi de la même manière et n'avantagera pas une technique plutôt qu'une autre. Le second argument est que grâce au suivi de la population depuis plusieurs années, on a constaté que certains individus ne sont présents que sur le versant espagnol et très rarement sur le versant français, ce qui limiterait la non-détection pendant une période prolongée d'un individu sur la zone française.

Enfin, une population fermée suppose qu'il n'y ait pas de naissance ni de mortalité pendant le temps d'échantillonnage. Pour l'ours la natalité a lieu durant la fin de l'hiver avant la sortie de tanière, ce qui implique que lors du début des recherches tous les oursons de l'année sont nés et qu'aucune naissance supplémentaire n'aura lieu durant la période d'échantillonnage. La mortalité de l'ours quant à elle est assez faible chez les adultes et subadultes et vu le peu d'individus présent dans le massif, on peut s'attendre à ce que la mortalité d'individus dans la population soit très faible pendant une année (0 à 1 individu par an) et que cela affectera chaque technique de la même manière. Ces individus peuvent aussi être enlevés des modèles pour l'estimation de l'abondance. Par la suite, il sera possible d'utiliser des modèles plus adaptés pour estimer l'abondance réelle de la population pyrénéenne en complexifiant le modèle. Pour cela, les données des pays avoisinants peuvent être intégrées aux modèles, comme c'est le cas par exemple avec la population de lynx répartie entre la France et la Suisse (**Gatti et al. 2011**), en ajoutant les données espagnoles et andorranes aux modèles. Il serait aussi intéressant de combiner les différentes techniques de suivi pour estimer l'abondance de la population comme décrit par **Gopalswamy et al. (2012)** qui utilise deux techniques de suivi sur une population de tigres et en combine les résultats pour obtenir une estimation plus précise du nombre de tigres présents dans la zone d'étude. Il est aussi possible de construire les modèles CMR en population ouverte tout au long de l'année. Cela n'a pas été réalisé ici dans un souci de simplification et parce que le but n'est pas de calculer avec précision l'abondance du massif, mais bien d'avoir un outil pour comparer les différentes techniques de suivi entre elles. Au vu des résultats des abondances proches de la population minimale détectée versant français, on peut dire que l'impact de la sous-estimation de la population est soit faible pour chaque suivi, soit inexistant.

### 3) Modèle de présence

Les modèles de présence permettent de calculer la répartition dans l'espace de la population d'ours dans les Pyrénées. L'utilisation des modèles avec P hétérogène dans le temps, permet également d'évaluer la variabilité de détection au cours de l'année. Ces analyses sont importantes dans le suivi de population et permettent d'observer, entre les années, l'évolution de la zone de présence de l'animal (**Hanski 1998**). En ce qui concerne les types de suivi en France, le suivi systématique itinéraire, mais surtout le suivi opportuniste permettent d'avoir une bonne estimation de l'aire de répartition de la population avec une précision forte pour ces 2 techniques du fait du grand nombre de sous massifs visités, comparativement aux autres types de suivi (SA, SS et AP) qui ont une zone d'étude restreinte. La probabilité de détection de l'espèce dans les sous massifs n'est pas la même selon la période à laquelle on se trouve. Pour le suivi opportuniste, la majeure partie des récoltes d'indices se déroule en été

(juin à septembre) avec des pics en juillet et septembre ce qui correspond à la période de présence des troupeaux en haute altitude sur les estives. En avril-mai se sont principalement des attaques sur ruches et quelques troupeaux en basse altitude qui sont touchés, ce qui implique un taux de détection par la méthode OP faible comparé aux autres mois. Enfin en octobre-novembre, les troupeaux se retirent de la zone ce qui implique une diminution des attaques durant cette période. De plus, le nombre de personnes en montagne augmente très certainement l'été, ce qui a pour effet d'augmenter le nombre d'observations d'indices sur cette période. Pour le suivi itinéraire, la probabilité de détection de l'espèce est forte entre juin et octobre. Pourtant, la période de mai à juin est la plus propice pour détecter les indices. Ce résultat peut s'expliquer par le fait qu'en début de saison, les indices récoltés sont principalement trouvés sur quelques sous massifs tandis que durant l'été, même si le nombre d'indices récoltés est moins important, le nombre de sous massif avec indice est supérieur, ce qui aura pour conséquence une augmentation de la probabilité de capture  $p$  sur toutes les Pyrénées. La période d'étude peut aussi expliquer cette différence avec des périodes assez courtes entre les deux visites en début de saison et donc une probabilité d'avoir un passage d'ours moins important qu'en fin d'année. Enfin, les conditions météorologiques (notamment début 2010 avec les chutes de neiges qui ont bloqué certaines sorties) ainsi que les déplacements des animaux pourraient expliquer ce phénomène. Ainsi la période de détection n'est pas tout à fait la même entre les deux modes de suivis (SI et OP) et permet de couvrir une période de temps importante pour détecter les ours via les différentes méthodes. Il est donc intéressant de garder les deux techniques pour déterminer l'aire de présence de l'animal. Comme pour les modèles CMR, les modèles de présence reposent sur l'hypothèse d'une population fermée. Le non-respect de cette hypothèse peut entraîner une mauvaise estimation de l'aire de présence de l'animal (**MacKenzie et al. 2006**). L'utilisation des données espagnoles permettrait de régler ce problème en analysant sur l'ensemble de la zone de présence connue de l'espèce. Les modèles utilisés dans ce rapport sont les modèles de présences les plus simples et n'ont pour but que de permettre de comparer les techniques de suivi entre elles et non de calculer l'aire de répartition exacte de la population d'ours dans les Pyrénées. Pour avoir des estimations plus pertinentes, il serait intéressant d'améliorer le modèle en ajoutant les taux d'extinctions et de colonisations des sous massifs entre les 3 années d'étude en regroupant les années de suivis entre elles (**MacKenzie 2005**). Ceci n'a pas été réalisé ici au vu des objectifs de comparaison des techniques, mais aussi de la volonté de comparer l'évolution de la même technique dans le temps, non visible en regroupant les trois années. Dans le même souci d'amélioration, il serait intéressant de réaliser un modèle avec une probabilité de détection hétérogène entre les différents individus et donc entre les différents sous massifs (**Royle and Nichols 2003**) ou en intégrant la position des sous massifs

les uns par rapport aux autres. Enfin, les modèles de présence plus complexe permettent d'intégrer des données environnementales (climatique, végétation...) et ainsi de pouvoir prédire l'aire de répartition de l'espèce sur une zone non échantillonnée.

#### 4) Analyse du coût

L'analyse du coût de chaque technique est aussi un aspect intéressant à développer pour orienter les choix sur les méthodes à maintenir ou à développer. Il serait envisageable de calculer le coût à la fois de l'analyse génétique, mais aussi du déplacement que cela a coûté pour l'organisme en journée agent du fait de l'importance du coût pour les organismes gérés par l'état comme l'ONCFS.

## V. Conclusion

Les modèles de présence et de capture-marquage-recapture sont utilisés comme outils pour comparer les différentes techniques de suivi entre elles, mais ne permettent pas d'avoir une estimation précise de l'aire de présence et de l'abondance de l'ours dans les Pyrénées du fait de la simplicité des modèles utilisés et des hypothèses posées au départ. Le but de l'étude n'étant pas d'avoir des estimations précises, mais de seulement pouvoir comparer les types de suivis entre eux. Le suivi opportuniste et le suivi systématique par itinéraire se démarquent des autres suivis pour évaluer l'abondance et l'aire de répartition de l'espèce. Rappelons que l'opportuniste comprend tout type d'indice récolté de manière non programmée, souvent liée aux attaques, alors que le suivi par itinéraires est un sous-groupe du suivi systématique. Le suivi systématique autre quant à lui, se caractérise par des sorties sur des zones avec présence d'ours déjà confirmée qui n'ont pour but que la récolte d'indices précis, ce qui a pour impact une bonne estimation de l'abondance du fait de la découverte d'indices de bonne qualité, mais une forte sous-estimation de l'aire de présence. Le suivi par appareil photo est quant à lui plus difficile à juger du fait qu'il a été mis en place seulement depuis 2011. Enfin, les stations de suivi pourraient être supprimées ou fortement réduites en ne les concentrant que sur les zones à forts enjeux (lieux de reproduction, zone à forte densité). En effet, les stations ne sont pas appropriées pour estimer l'aire de dispersion de l'ours dans les Pyrénées. Il serait aussi possible de déplacer les stations durant la même année, ce qui pourrait avoir comme impact une amélioration de la capture (**Boulanger et al. 2006**). Si l'estimation de l'abondance reste peu précise après la refonte du dispositif, il serait possible d'enlever ce type de suivi du fait de l'apport peu important qu'il a et de son coût important. Enfin, il serait intéressant d'observer les techniques permettant la meilleure détection des oursons de moins de 2 ans. Pour conclure, le suivi itinéraire et opportuniste sont des bons indicateurs pour les objectifs fixés par l'ONCFS tandis que le systématique autre et les appareils photos apportent un complément

d'information sur l'abondance des individus dans les Pyrénées. Il est donc important de garder une combinaison de type de suivis pour permettre une meilleure gestion de la population tout au long de l'année.

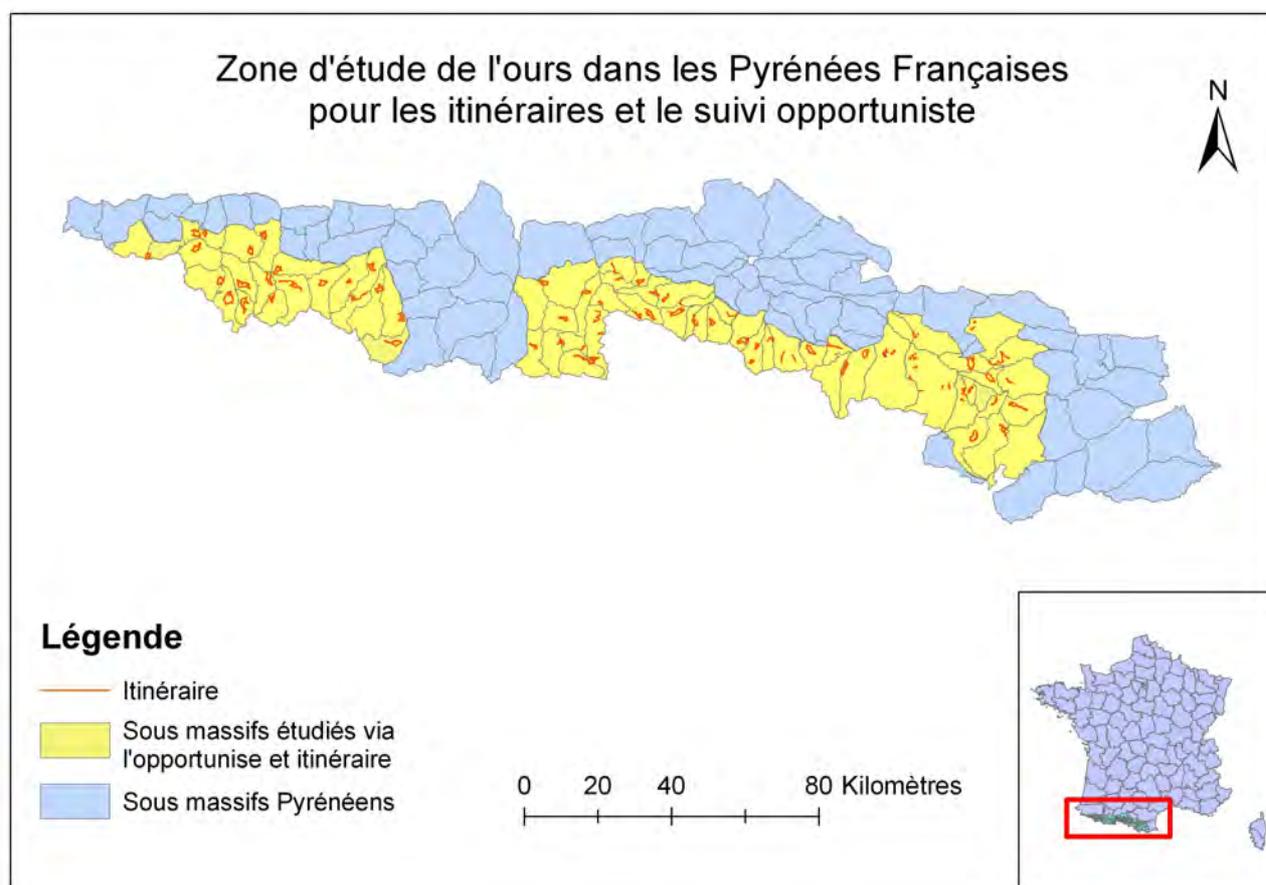
### **Bibliographie**

- Alpizard-Jara R., Pollock K.H. et Haines D.E., 2005. Mark recapture estimators for a variable population size of prominent nesting structures : the effect of uncertain detection probability, *Environmental and Ecological, Statistic* 12, 155-168.
- Bagnolini C., 2006. La réintroduction pionnière des vautours en France, *Les actes du BRG* 6
- Barea-Azcon J.M., Virgos E., Ballesteros E. et Chiroso M., 2006. Surveying carnivores at large spatial scales: a comparison of four broad-applied methods, *Biodiversity Conservation* 10
- Beier P. et Cuppingham S.C., 1996. Power of track survey to detect changes in cougar populations, *Wildlife society bulletin* 24 (3), 540-546.
- Bellemain E., Nawas M.A., Valentini A., Swenson J.E et Taberlet P., 2007. Genetic tracking of the brown bear in northern Pakistan and implications for conservation, *Biological Conservation* 134, (537-547).
- Berduco C., 1990. Régime Alimentaire de l'ours Pyrénéen, document interne ONCFS.
- Boitani L., 2000. Action plan for the conservation of the wolves (*Canis lupus*) in Europe, *Nature and environment*, 113.
- Boulanger J. Proctor M., Himmer S., Stenhouse G., Paetkau D. et Cranston J., 2006. An empirical test of DNA mark recapture sampling strategies for grizzly bears, *Ursus* 17, 149-158.
- Boulanger J., Kendal K.C., Stetz J.B., Roon D., Waits L. et Paetkau D., 2008. Multiple data sources improve DNA based Mark-Recapture population estimates of grizzly bears, *Ecological Applications* 18 (3) 577-589.
- Bouvet J., 1995. Programme Life grande faune Pyrénéenne, Etude de la génétique moléculaire sur les ours des Pyrénées, Rapport du Laboratoire de la biologie des populations d'altitude.
- Breitenmoser U, Breitenmoser-Würsten C., Okarma H., Kaphegyi-wallmann U. et Muller U., 1998. The action plan for the conservation of the eurasian lynx in Europe. Seminar on action plans for large Carnivores, Nizka Tatry National Park, Slovakia, Council of Europe 62 p.
- Burnham K.P. et Anderson D.R., 1998. *Model Selection and Inference*, Springer-Verlag NY.
- Camarra J.J., 1995. Document sur dimension d'empreintes d'ours, Office national de la chasse.
- Castro-Arellano, Madrid-Luna C, Lacher T et Leon L., 2008. Hair-trap efficacy for detecting mammalian carnivores in the tropics, *Journal of wildlife management* 72, 1405-1412.
- Clark P.E., Johnson D.E., Kniep M.A., Jermann P., Huttash B., Wood A., Johnson M., McGillivain C. et Titus K., 2006. An advanced, low cost, GPS-based Animal Tracking System, *Rangeland Ecology and Management*, 59 (3), 334-340.
- Couturier M.A., 1954. *L'ours brun*, Artaud, Grenoble.
- De Barba M., Waits L.P., Genovesi P., Randi E. et Cetto E., 2010a. Comparing opportunistic and systematic and systematic sampling methods for non invasive genetic monitoring of a small translocated brown bear population, *Journal of Applied Ecology* 47, 172-181.
- De Barba M., Waits L.P., Garton E., Genovesi P., Randi E., Mustoni A. et Groffs C., 2010b. The power of genetic monitoring for studying demography, ecology and genetics of a reintroduced brown bear population, *Molecular Ecology* 19, 3936-3951.
- Duprè E., Genovesi P. Et Pedrotti L., 1998. Studio di fattibilità per la reintroduzione dell'orso bruno (*Ursus Arctos*) sulle Alpi centrali. Istituto Nazionale per la fauna Selvatica e Parco Naturale Adamello-Brenta.
- Ebert C., Knauer F., Storch I. et Hohmann U., 2010. Individual heterogeneity as a pitfall in population estimates based on non-invasive genetic sampling : a review and recommendations, *Wildlife Biology* 16, 225-240.
- Gatti S., Blanc L., Gimenez O. Et Marboutin E., 2011 Session intensive 2011 de piégeage photographique du lynx en France-Comté : estimation de densité sur deux sites de références, rapport d'analyse des données de 2011, document ONCFS-CNERA.

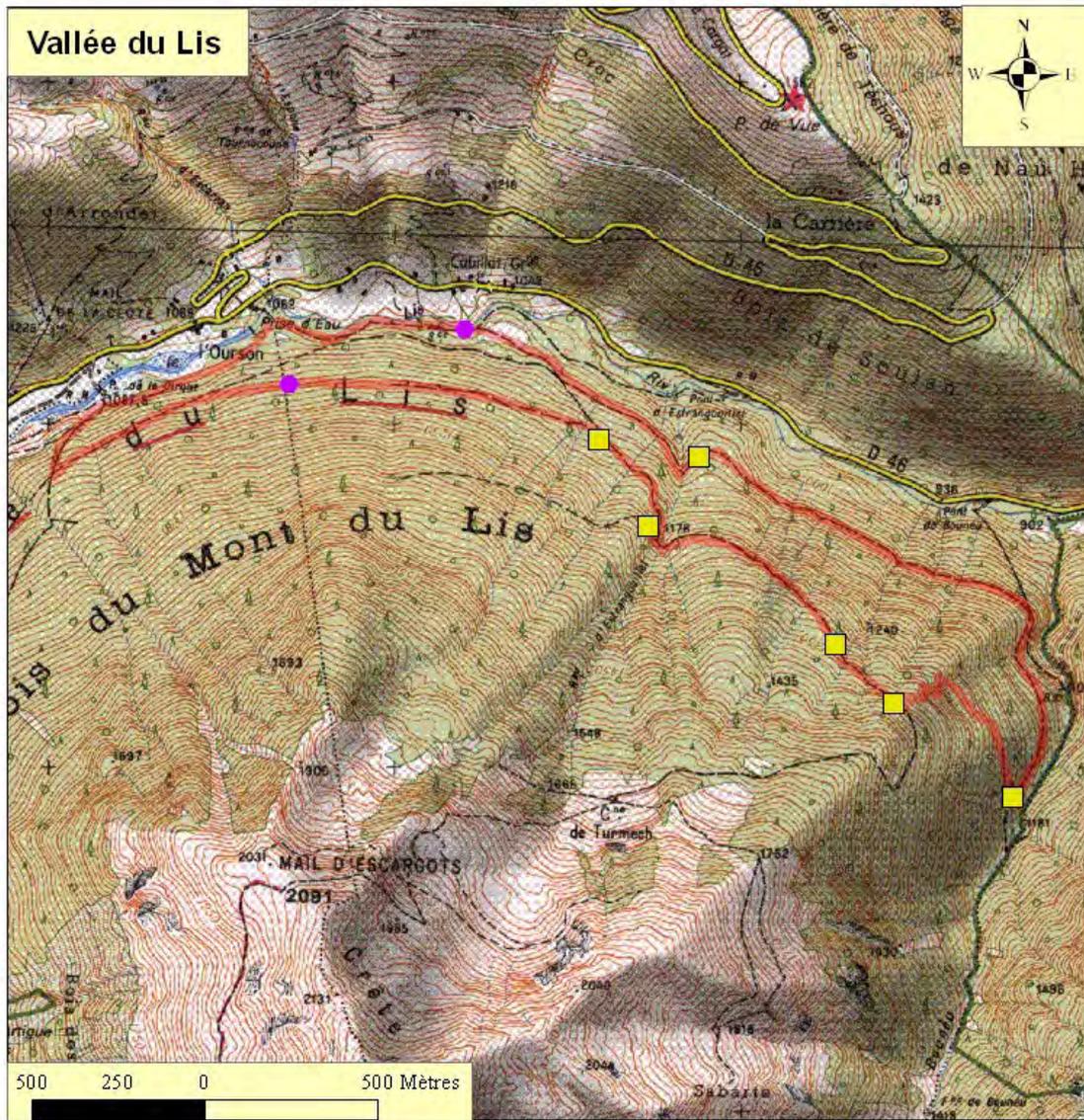
- Gervasi V., Ciucci P., Boulanger J., Posillico M., Sulli C., Focardi S., Randi E. et Boitani L., 2008. A preliminary estimate of the Apennine brown bear population size based on hair-snag sampling and multiple data source mark-recapture Huggins models, *Ursus* 19 (2) : 105-121.
- Gervasi V., Ciucci P., Davoli F., Boulanger J., Boitani L. et Randi E., 2010. Addressing challenges in non invasive capture-recapture based estimator of small populations : a pilot study on the Apennine brown bears, *Conservation Genetic* 11, 2299-2310.
- Gese E.M., 2001. Monitoring of terrestrial carnivore populations, *Carnivore Conservation* Cambridge university press and the Zoologie Society of London, p 372-396.
- Gibeau M.L., 2007. Efficiency of DNA hair snag sites for grizzly bears in Canadian Mountain National Park, non publié.
- Gopalaswamy A.M., Royle J.A., Delampady M., Nichols J.D. Et Karanth U., 2012. Density estimation in tiger populations combining information for strong inference, in press.
- Hanski I., 1998. Metapopulation dynamics, *Nature* 396, 41-49.
- Henschel P. et Ray J., 2003. Léopards dans les forêts pluviales d'Afrique : méthodes de relevé et de surveillance, *Wildlife Conservation Society*.
- Karamanlidis A.A., Drosopoulo E. Hernando MdG, Georgiadis L., Krambokoukis L., Pllaha S., Zedrosser A. Et Scouras Z., 2010. Non invasive genetic studies of brown bears using power poles, *European Journal o Wildlife Research* 56 693-702.
- Karanth K.U. et Nichols J., 1998 Estimation of tiger densities in India using photographic captures and receptives, *Ecology* 79 (8) : 2852-2862.
- Kendall K.C., Metzgar L.H., Patterson D.A. et Steele B.M., 1992. Power of sign survey to monitor population trends, *Ecological Applications* 2 (4), 422-430.
- Kohn M.H., York M.H., Kamradt D.A., Haught G., Sauvajit R.M. et Wayne R.K., 1999. Estimating population size by genotyping faeces, *The Royal Society* 266, 657-663.
- MacKenzie D.I., Nichols J.D., Lachman G.B., Droedge S, Royle J.A., Langtimm C.A. et al, 2002a. Estimating site occupancy rates when detection probabilities are less than ones, *Ecology* 83 (8), 2248-2255.
- MacKenzie D.I. and Kendall W.L., 2002b. How should detection probability be incorporated into estimates of relative abundance ? *Ecology* 83 (9), 2387-2393.
- MacKenzie D.I., Nichols J.D., Hines J.E., Knuston M.G et Franklin A.B, 2003. Estimating site occupancy, colonization and local extinction when a species is detected imperfectly, *Ecology* 84 (8), 2200-2207.
- MacKenzie D.I. 2005. Was is there ? Dealing with imperfect detection for species presence-absence data, *Australian Statistical Publishing Association Inc.* 47, 65-74.
- MacKenzie D.I., Nichols J.D., J.A. Royle, K.H. Pollock, L.L. Bailey, J.E.Hines 2006. *Occupancy Estimation and Modeling*, Academic Press.
- Martorello D.A., Eason T.H. et Pelton M.R., 2001. A sighting technique using cameras to estimate population size of black bears, *Wildlife society buletin*, 29 (2) : 560-567.
- Mertzanis Y., Ioannis I., Mavridis A. Et Nikolaou O., 2005. Movements, activity patterns and home range of a female brown bear (*Ursus arctos*) in the Rodopi Mountain Range, Greece, *Belgian Journal of zoology* 135 (2) : 217-221.
- Miller C.R., Joyce P. et Waits L.P., 2005. A new method for estimating the size of small populations from genetic mark recapture data, *Molecular Ecology* 14, 1991-2005.
- Nelleman C., Stoen O.G. et Kindberg J. 2007. Terrain use by an expanding brown bear population in relation to age, recreational resorts and human settlements, *Biological conservation* 138, 157-165.
- Onorato D., White C, Zager P et Waits L, 2006. Detection of predator presence at elk mortality sites using mtDNA analysis of hair and scat samples, *Wildlife society bulletin* 34
- Otis D.L., Burnham K.P., White G.C et Anderson D.R., 1978. Statistical inference from capture data on closed animal populations, *Wildlife monographs* 62, 3-135.
- Parde J.P. et Camarra J.J. 1992. *Encyclopédie des carnivores de France, espèce sauvage ou errantes, indigènes ou introduites en métropole et dans les dom-tom : L'ours*.
- Quenette P.Y., 2001. Bilan scientifique et technique de la réintroduction de l'ours brun en

- Pyrenées centrales, Synthèse de données 1996-2000, Programme Life B4-3200/96/518.
- Quenette P.Y., 2001. Preliminary results of the first transplantation of Brown bears in the French Pyrenees, *Ursus* 12.
  - Quenette P.Y., Rauer G., Huber D., Kazensky P., Knauer F., Mustoni A., Palazon S. et Zibordi F., 2006. Comparaison du comportement spatial de l'ours bruns réintroduits et non réintroduits en Europe, ONCFS Rapport scientifique 2006.
  - Rauer 1992. First Experience with the release of 2 females brown bears in the Alps of eastern Austria, compte rendu de la 9eme conférence internationales sur la communication et la gestion des populations d'ours, 469-478.
  - Ripple W.J. et Beschta R.L. 2003. Wolf reintroduction, predation risk and cottonwood recovery in Yellowstone National Park, *Forest Ecology and Management* 184, 299-313.
  - Royle J.A. et Nichols J.D., 2003. Estimating abundance from repeated presence-absence data or point counts, *Ecology* 84 (3), 777-790.
  - Sanderson J et Trolle M, 2005 Monitoring Elusive Mammals, *American Scientist* 93, 147-15.
  - Schmitz O.J., Beckerman A.P. et O'Brien K.M., 1997. Behaviorally mediated trophic cascades: effect of predator risk on food web interactions, *Ecological Society of America* 78.
  - Servheen C., Herrero S. et Peyton B., 1999 Bears Status Survey and Conservation Action Plan, IUCN The world conservation union edition.
  - Smith K.G. and Clock J.D., 1994. Black bears in Arkansas characteristics of a successful translocation, *Journal of mammalogy* 75(2) 309-320.
  - Sorensen O., Overskaug K. et Kvam T., 1990. Status of the brown bear in Norway 1983-1986, *International Conference Bear Research and Management* 8, 17-23.
  - Stahl P. et Vandel J.M., 1998. Le lynx boréal. *Encyclopédie des carnivores de France* n°19. Société française pour l'étude et la protection de mammifère. Paris 65 p.
  - Stander P.E., 1998. Spoor counts as indices of large carnivore populations : the relationship between spoor frequency, sampling effort and true density, *Journal of Applied Ecology* 35.
  - Swenson J.E., Wabakken P., Sandegren F., Bjarvall A., Franzen R., Soderberg A., 1995. The near extinction and recovery of brown bears in Scandinavia in relation to bear management policies of Norway and Sweden, *WildLife Biology* 1 11-25.
  - Taberlet P. et Bouvet J., 1992. Bear conservation genetics, *Nature* 358, 197.
  - Taberlet P., Mattock H., Dubois Paganon C. et Bouvet J., 1993. Sexing free-ranging brown bears *Ursus arctos* using hairs found in the field, *Molecular Ecology* 2, 399-403.
  - Taberlet P. et Bouvet J. 1996. Etat de l'avancement des recherches sur la génétique de l'ours brun. Rapport adressé au ministre de l'environnement le 16 janvier 1996.
  - Taberlet P., Camarra J.J., Giffin S., Uhres E., Hanotte O., Waits L., Dubois-Pagnon C., Burke T. et Bouvet J., 1997. Non invasive genetic tracking of the endangered Pyrenean brown bear population, *Molecular Ecology* 6, 869-876.
  - Trolle M. Et Kéry M., 2003. Estimation of ocelot density in the pontanol using capture-recapture analysis of camera-trapping data, *Journal of mammalogy* 84 (2) 607-614.
  - Waits L.P. et Paetkau D., 2005. Non invasive genetic sampling tools for wildlife biologists: A review of applications and recommendations for accurate data collection, *Journal of wildlife management* 69 (4), 1419-1433.
  - Williams B.K., J.D.Nichols et M.J.Conroy, 2002. *Analysis and Management of Animal populations*, Academic Press.
  - Woods J.G., Paetkau D., Lewis D., McLellan B., Proctor M. et Strobeck C. 1999, Genetic tagging of free ranging black and brown bears, *Wildlife Society Bulletin* 27 (3), 616-627.
  - Zedrosser A., Dahle B., Swenson J.E., et Gerstl N., 2001. Status and management of the brown bear in Europe, *Ursus* 12 : 9-20.
  - Zedrosser A., Stoen O.G., Saebo S. et Swenson J.E., 2007. Should I stay or should I go ? Natal dispersal in the brown bear, *Animal Behaviour* 74, 369-376.
  - Zimmerman F., Fattetbert J., WurstenBreitenmoser C. et Breitenmoser U., 2007. Abondance et densité de lynx : estimation par capture-recapture photographique dans le nord du Jura Suisse, *Kora Bericht* N37.

## Annexes



Annexe 1 : Zone d'étude de l'ours par sous massifs étudiés dans les Pyrénées françaises pour le suivi systématique itinéraire et le suivi opportuniste



DATE : \_\_\_\_\_ NOM OBSERVATEUR (S) : \_\_\_\_\_

REMARQUES :

SAISIE DES PARCOURS ET OBSERVATIONS :

Substrat rencontré (à reporter sur carte si possible) :

Feuilles, herbes, terrain sec ——— Boue, terre humide ++++ Neige -----

Indice : Piste  1 Punctuel (poils, crotte...) ● 1

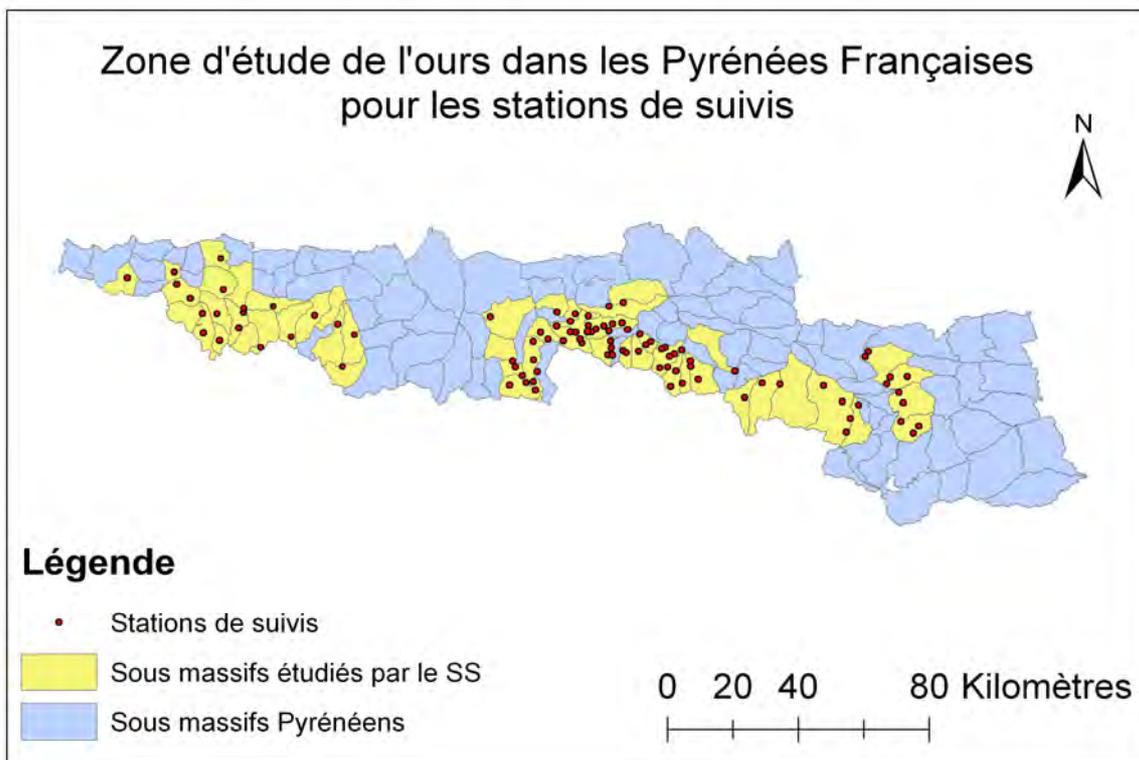
Reporter les numéros d'observation sur la "fiche indices"

LEGENDE :

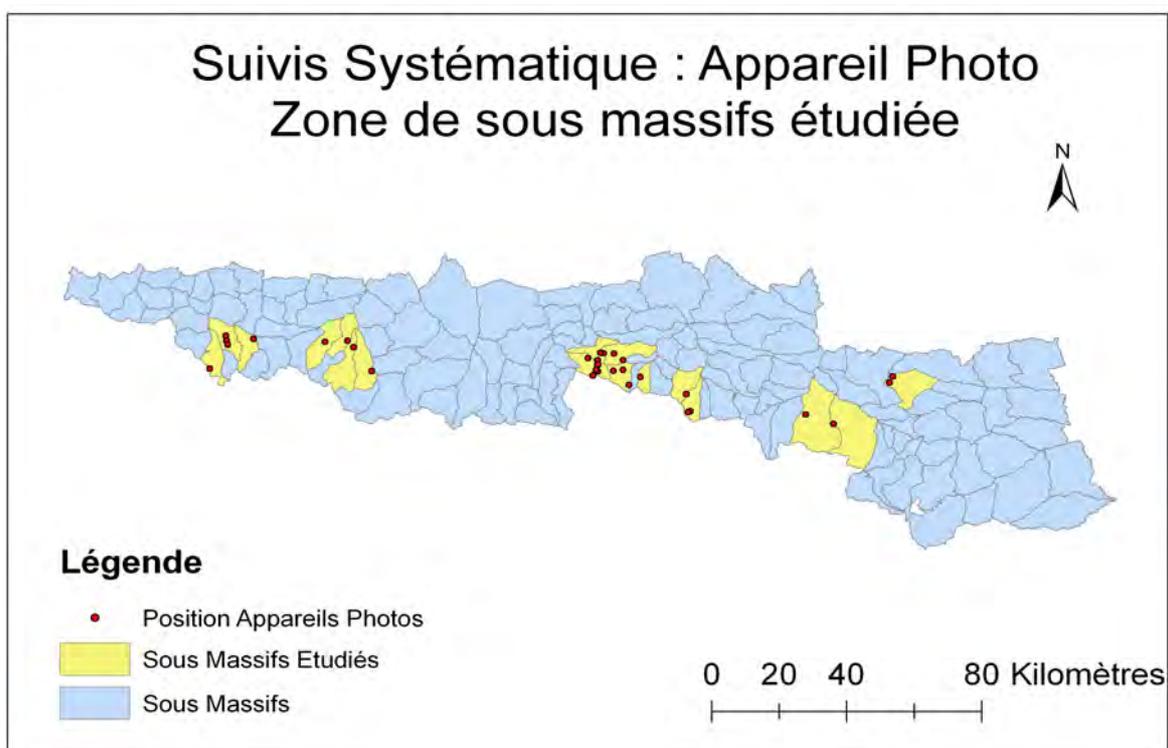
-  Appât térébenthine seul
-  Appât + Revoir
-  Revoir seul
-  Station de suivi
-  Arbre magique

O.N.C.F.S.  
 Equipe Ours & Réseau Ours Brun  
 Impasse de la Chapelle  
 31300 Villeneuve de Rivière  
 Tel 05 62 00 81 08 - Fax 05 62 00 81 09  
 Répondeur Infos ours 05 62 00 81 10  
 Email : stgaudens@onfs.gouv.fr

Annexe 2 : Exemple d'itinéraire effectué sur la vallée du Lys en 2010-2011

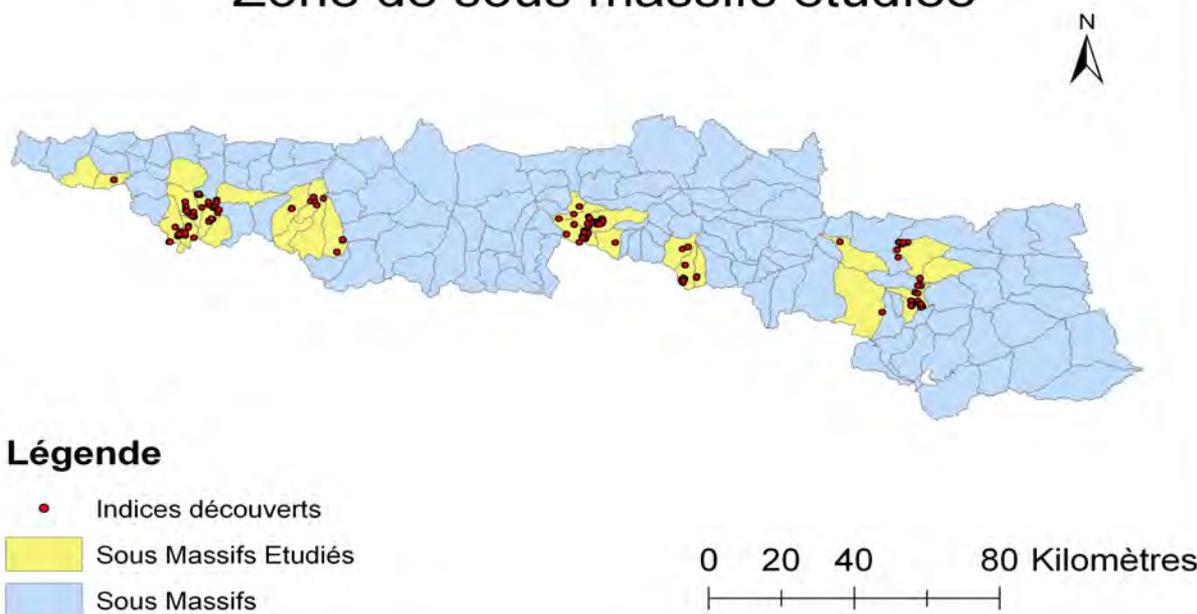


Annexe 3 : Zone d'étude de l'ours par sous massifs étudiés dans les Pyrénées françaises pour le suivi systématique stations de suivi toutes années confondues



Annexe 4 : Zone d'étude de l'ours par sous massifs étudiés dans les Pyrénées françaises pour le suivi systématique appareils photographiques pour 2011

## Suivis Systématique : Systématique Autre Zone de sous massifs étudiée



Annexe 5 : Zone d'étude de l'ours par sous massifs étudiés dans les Pyrénées françaises pour le suivi systématique autre pour 2011

Annexe 6 : Modèle de présence pour les suivis SA et AP pour les 2 zones pyrénéennes avec les caractéristiques pour chaque modèle.

TypeDeModele	Donnée	Pyr	AIC	NaiveOcc	SousMassif+	SousMassif	Psi	ErreurStandard	I.C.inf(psi)	I.C.sup(psi)
SurveySpecific	SA09	Pyr_Cen	121.79	0.66	10	15	0.8383	0.1882	0.2542	0.9875
SurveySpecific	SA10	Pyr_Cen	72,28	0,5	4	8	0,5023	0,1776	0.2005	0.8025
SurveySpecific	SA11	Pyr_Cen	93,93	0,75	6	8	0,7515	0,1534	0.3767	0.9380
SurveySpecific	SA09	Pyr_Occ	61.73	0.6250	5	8	0.6727	0.1928	0.2697	0.9196
SurveySpecific	SA10	Pyr_Occ	77,56	0,89	8	9	0.9941	0.1491	0.0000	1,0000
SurveySpecific	SA11	Pyr_Occ	91,93	0,875	7	8	0.9368	0,1349	0.1453	0.9992
SurveySpecific	AP11	Pyr_Cen	78,32	0,6	6	10	0.6292	0.1651	0.2978	0.8716
SurveySpecific	AP11	Pyr_Occ	27,74	0,1429	1	9	0.1429	0.1323	0.0197	0.5806

## Résumé

Les grands carnivores ont un rôle important dans le maintien de la biodiversité par leur effet en cascade sur la chaîne alimentaire. Dans certains pays, des plans de gestion et de sauvegarde se sont traduits par la réintroduction d'individus issus de population sources abondantes notamment en France avec la réintroduction de 8 ours depuis 1996. Dans ce cadre, différents protocoles de suivis de la population sont mis en place et reposent sur la collecte indirecte de tout type d'indices de présence (poils, crottes, photographies...). En France, deux grands types de suivis sont mis en place avec des méthodes systématiques et opportunistes. Le suivi systématique repose sur la mise en place de dispositifs (stations avec pièges à poils, appareils photos, itinéraires) régulièrement visités tandis que le suivi opportuniste ne repose sur aucun plan d'échantillonnage et correspond aux observations d'indices effectuées par les utilisateurs de la montagne ainsi que les constats de dommage sur les troupeaux et les ruchers. Le travail présenté ici consiste à estimer l'apport de chaque technique de suivi en fonction des deux principaux objectifs fixés pour le suivi de la population de l'ours brun : l'aire de présence de l'espèce et l'évaluation annuelle des effectifs. Pour comparer les techniques par rapport aux objectifs fixés, des analyses descriptives ont d'abord été réalisées à partir de bilans quantitatifs pour chaque méthode. Puis deux approches sont utilisées avec des modèles de capture-marquage-recapture pour évaluer l'abondance de l'ours et des modèles de présence pour évaluer l'aire de présence. Ces modèles ont permis de différencier l'apport des techniques sur le suivi de la population d'ours. Le suivi systématique par itinéraire couplé au suivi opportuniste donne des résultats satisfaisants tandis que le suivi par appareil photo demande plus d'années d'expertise au vu de la nouveauté du protocole. Enfin, les stations de suivi ne permettent pas de répondre aux objectifs fixés.

## Abstract

Large carnivores can have an important impact on biodiversity with their effects on the food chain. Over the past century, many large carnivores' populations have decreased worldwide. In some countries, management and conservation plans occur with the translocations of individuals coming from large source populations. In this framework, France has reintroduced 8 bears in the Pyrenees mountains since 1996. Various methods are used to monitor the species based on searching all signs of species presence (hairs, scats, tracks..). Two monitoring protocols are implemented namely systematic and opportunistic methods. The systematic monitoring uses a formal experimental design with regular visits to collect presence indices (hair-traps, camera trapping, transects). The opportunistic monitoring has no sampling design and uses validated informations made by any people as well as damages on livestock and apiaries. The objectives of bear population monitoring are to estimate the species presence area and the population size each year. The present study aims at quantifying the efficiency and accuracy of each method over the 2009-2011 period. In a first analysis, we compared the different methods each year using descriptive methods. In a second step, we resorted to capture-recapture models to evaluate bears abundance as well as patch occupancy models to estimate the area used by this population on the French side of Pyrenees. Our results showed clear contrasted efficiency of the different methods. The systematic monitoring with itinerary coupled with opportunistic give reasonable results to follow bears population. Protocol using automatic camera needs more experimentation. The protocols using stations were inefficient at addressing any of the two objectives.