

## APPLICATION DE LA TECHNOLOGIE GPS AU SUIVI DU DÉPLACEMENT DE BOUQUETINS DES ALPES (*CAPRA IBEX IBEX*, L.) DANS LES PARCS NATIONAUX DE LA VANOISE ET DU GRAN PARADISO (ITALIE)

par Irène Girard<sup>1</sup>, Christophe Adrados<sup>2</sup>, Bruno Bassano<sup>3</sup> et Georges Janeau<sup>2</sup>

**Résumé.** Le Global Positioning System (GPS) permet un enregistrement automatique de la position des animaux selon un programme prédéfini. Il a été utilisé, après des tests préalables concernant son fonctionnement en haute montagne, afin de suivre le déplacement de bouquetins des Alpes dans les Parcs nationaux de la Vanoise (France) et du Gran Paradiso (Italie) et de caractériser certains paramètres de leur habitat (pente, altitude, exposition). Entre mai 2003 et mai 2004, 12 mâles et 7 femelles ont été suivis et 26 889 localisations ont été enregistrées. Ces données ont montré une grande variabilité des déplacements individuels. Tous les mâles ainsi que 2 des 7 femelles ont occupé un domaine vital annuel scindé en au moins 2 zones distinctes. La superficie des domaines vitaux globaux était comprise entre 125,2 et 620,4 ha. (en excluant les trajets de liaison), les mâles utilisant une superficie supérieure à celle des femelles. L'évaluation de la taille des domaines mensuels ainsi que de la distance les séparant a permis de préciser ces différentes stratégies d'occupation spatiale. Les déplacements des individus au cours du cycle journalier ont également été analysés. En été (juin à août), 2 importants pics de déplacement des animaux sont apparus (entre 03 h et 06 h voire 09 h puis entre 15 h et 18 h voire 21 h), tandis qu'aucun pic n'était visible en période hivernale (décembre à mars). L'analyse des paramètres de l'habitat a montré des différences selon le sexe. Les femelles ont utilisé préférentiellement des altitudes comprises entre 2 400 et 2 700 m, des pentes de 33° à 45 ° et des orientations S, SE et SO. Les mâles ont été localisés à des altitudes comprises entre 2 300 et 2 800 m, sur des pentes de 26° à 39° et des expositions S, SE et SO. Cependant, outre ces grandes tendances, des variations en fonction des mois ont été mises en évidence pour les 2 sexes.

L'utilisation de colliers GPS, permettant de s'affranchir des contraintes liées au suivi visuel ou au radiopistage, s'avère particulièrement adaptée pour les études portant sur le comportement spatial des animaux. Toutefois, certains paramètres explicatifs (organisation sociale de l'espèce, interactions avec d'autres espèces, impact des activités humaines, facteurs climatologiques) doivent pouvoir être évalués en complément afin de préciser les résultats.

**Mots-clés :** Bouquetin des Alpes - *Capra ibex ibex*, L. - GPS - Occupation spatiale - Utilisation de l'habitat.

### Use of the GPS technology to monitor the movement of Alpine ibex (*Capra ibex ibex* L.) in the Vanoise and Gran Paradiso National Parks

**Abstract.** Global Positioning System (GPS) allows an automatic recording of animals position according to a preprogrammed schedule. Preliminary tests were performed in order to assess its performances in high mountain areas. It was, then, used to follow Alpine ibex movements in the Vanoise (France) and the Gran Paradiso (Italy) National Parks and to characterized some of their habitat parameters (slope, height, exposure). From May 2003 to May 2004, 12 males and 7 females were studied and 26 889 locations were recorded. These data showed an important variability of individual movements. All the males as well as 2 of 7 females occupied an annual vital range split into at least 2 different zones. The vital ranges areas were included from 125,2 to 620,4 ha (by excluding connection routes). Males used greater areas than those used by the females.

The evaluation of monthly ranges size as well as the distance separating them allowed to clarify the various animals space use strategies. Individuals movements during the daily cycle were analyzed, also. Two main peaks of animals movements appeared during summer time (in July and in August), between

<sup>1</sup> Parc national de la Vanoise, BP 705, 73007 Chambéry cedex, France.

<sup>2</sup> CEFS, Institut national de la recherche agronomique, BP 27, 31326 Castanet-Tolosan cedex, France.

<sup>3</sup> Parc national Gran Paradiso, Via della Rocca, 47, 10123 Torino, Italie.

3 a.m and 6 a.m even 9 a.m and between 3 p.m and 6 p.m even 9 p.m. No peak was visible in wintry period (from December to March). The analysis of habitat parameters showed differences according to the sex. Females preferentially used heights included from 2 400 to 2 700 m, slopes from 33° to 45° and South and South-West exposures. Males were located from 2 300 to 2 800 m, on slopes from 26° to 39° and used South and South-West exposures. Besides these main tendencies, monthly variations occurred for the two sexes.

The use of GPS collars is useful to by-pass the constraints linked to the visual follow-up or to the radio-tracking. It appears particularly suitable to studies concerning animals spatial behavior. However, other explaining parameters (such as populations social organization, interactions with other species, the impact of human activities, climatological factors, ...) have to be estimated in order to complement these results.

**Key-words :** Alpine ibex - *Capra ibex ibex* L. – GPS - space use - habitat use.

## INTRODUCTION

L'observation directe a toujours constitué la méthodologie privilégiée pour l'étude de la faune sauvage et en particulier du bouquetin des Alpes (*Capra ibex ibex* L.). Mais ce mode de suivi possède de nombreuses limites : nuit, accessibilité du terrain, conditions météorologiques, déplacement rapide des animaux, ...). La localisation des animaux à partir de colliers radio-émetteurs (VHF), utilisés depuis le milieu des années 1960 (COCHRAN et LORD, 1963), a permis de réaliser de nombreux progrès dans la connaissance de l'occupation de l'espace par la faune sauvage mais cette technique a aussi ses limites en haute montagne (accessibilité réduite, conditions météorologiques souvent difficiles, localisation des individus en haute altitude, phénomènes d'échos, ...). Les premières utilisations des satellites pour suivre des individus marqués étaient basées sur le système Argos. Cependant, le degré d'exactitude des localisations obtenues par ce dernier (plusieurs centaines de mètres) s'est avéré limitant pour les études fines d'utilisation de l'habitat et de l'espace, en particulier pour les espèces ne présentant pas de grandes distances de déplacement au cours de leur cycle annuel. Le Global Positioning System (GPS), utilisé pour localiser les animaux sauvages, s'est développé à partir du milieu des années 1990 (RODGERS et ANSON, 1994). Cette technique efficace permet de localiser très régulièrement (voire en continu) les animaux et d'obtenir, indépendamment des conditions environnementales et météorologiques, des localisations fiables (et dont l'imprécision peut être évaluée). La technologie GPS utilise un système de localisation basé sur la réception de signaux provenant de plusieurs satellites et permet un enregistrement automatique de la position des animaux à tout instant, selon un calendrier prédéfini, avec une précision de quelques mètres (MOEN *et al.*, 1997 ; DUSSAULT *et al.*, 2001 ; ADRADOS *et al.*, 2002). Elle s'avère très adaptée pour les études nécessitant un grand nombre de données et une collecte régulière et indépendante de toute contrainte extérieure. Elle est, également, particulièrement intéressante en milieu de haute montagne (JANEAU, 2002), du fait des contraintes particulières de suivi et malgré la présence d'obstacles naturels (falaises).

Ainsi, après avoir validé expérimentalement son fonctionnement dans ces conditions particulières (GIRARD *et al.*, 2002), cette technologie a été utilisée dans le cadre du suivi réalisé sur le bouquetin des Alpes. En effet, la gestion et la protection de cette espèce, protégée en France et en Italie, ainsi que de son habitat, constituent un enjeu majeur pour les Parcs nationaux de la Vanoise et du Gran Paradiso (Italie), initialement créés pour sa sauvegarde. Pour ce faire, une bonne connaissance des modalités de déplacement des individus ainsi que des caractéristiques des milieux fréquentés par l'espèce au cours de l'année est primordiale pour l'établissement de mesures appropriées de conservation de l'habitat propice à son développement, qui reste encore à présent très éloigné de l'aire de répartition initiale de l'espèce (WEBER, 1994). Par ailleurs, les déplacements transfrontaliers d'une partie de la population de

bouquetins des Alpes entre l'extrémité Est du Parc national de la Vanoise et celle contiguë située à l'Ouest du Parc national du Gran Paradiso soulignent la nécessité d'un ajustement des consignes de gestion entre ces deux espaces protégés. De façon à mieux connaître la localisation géographique des quartiers saisonniers utilisés par les animaux ainsi que leur mode d'utilisation de l'habitat, qui constituent un préalable à l'étude des facteurs susceptibles d'affecter la disponibilité du milieu pour l'espèce (activités touristiques ou pastorales, projets d'aménagement), un marquage d'individus par GPS a été réalisé, dans le cadre d'un programme transfrontalier Vanoise – Gran Paradiso financé par l'Union Européenne (Interreg IIIA).

## I. LA TECHNOLOGIE GPS

### I.1. Principe

Elle est basée sur le principe de la triangulation, à partir d'une constellation de 24 satellites qui évoluent à plus de 20 000 km au-dessus de la Terre, et qui émettent en permanence des signaux. La combinaison de ces signaux permet à des récepteurs GPS situés à terre, de calculer leur position géographique à tout instant, à condition que les signaux d'au moins 3 satellites (pour une localisation en 2 dimensions [2D] : latitude et longitude) ou 4 satellites (pour une localisation en 3 dimensions [3D] : latitude, longitude et altitude) soient perçus simultanément. L'exactitude des localisations obtenues dépend donc du nombre de satellites visibles (théoriquement au minimum de 4 sur 99,6 % de la surface terrestre) et de leur configuration (hauteur angulaire sur l'horizon et position des uns par rapport aux autres). Des obstacles situés entre le satellite et l'antenne du GPS peuvent faire écran à la propagation des signaux, entraînant un phénomène d'obstruction. Ces obstacles peuvent être dus à la végétation (REMPPEL *et al.*, 1995 ; EDENIUS, 1997 ; DUSSAULT *et al.*, 1999 ; JANEAU *et al.*, 1998, 2001, 2004) ainsi qu'à des obstacles naturels liés à la topographie. C'est pourquoi, dans notre cas, préalablement à la pose des colliers sur les animaux, l'incidence des masques naturels (falaises rocheuses essentiellement) sur la réception des signaux émis par les satellites a été étudiée (GIRARD *et al.*, 2002). D'autres paramètres (propagation des ondes électromagnétiques au travers des différentes couches de l'atmosphère, erreurs des horloges des satellites ou des éphémérides) peuvent occasionner des imprécisions, dont l'ampleur peut, toutefois, être considérée comme peu importante dans les conditions dans lesquelles nous avons travaillé.

### I.2. Performance des colliers GPS en milieu de haute montagne<sup>4</sup>

L'effet de la topographie a été testé en effectuant des mesures simultanées en pied et haut de falaises, pour les 4 orientations principales (E, O, N et S), ainsi qu'en fond de vallée (orientées N-S et E-O). La Réserve naturelle de la Grande Sassièrè, fréquentée par une partie de la population transfrontalière de bouquetins, a constitué le support de ces mesures. Deux types de colliers ont été utilisés : 3 colliers de la firme Lotek (Lotek Wireless Inc., Canada) et 3 colliers de la firme Télévilt (TVP Positioning AB, Suède). Tous comportaient 8 canaux de réception des signaux satellites. Pour chaque position topographique, 30 enregistrements théoriques ont été programmés avec une fréquence d'un point toutes les 5 minutes. Les enregistrements ont été effectués, pour une même orientation, de façon simultanée en pied et haut de falaise ainsi qu'en un point de référence situé en un lieu dégagé. Pour chaque position, l'importance des masques naturels a été calculée aux 4 points cardinaux, en mesurant le degré d'obstruction du milieu. L'effet des masques naturels sur le fonctionnement des colliers GPS a été évalué en calculant le pourcentage de localisations réussies (rapport entre le nombre de localisations enregistrées et

---

<sup>4</sup> cf. GIRARD *et al.* (2002) pour une description détaillée de cette étude.

celui de localisations attendues en fonction de la programmation initiale), ainsi qu'en différenciant les enregistrements en 2D et 3D.

Les tests ont montré une diminution du pourcentage de localisations réussies et de celles obtenues en 3D en bas de falaise, tandis que le collier utilisé au point de référence a enregistré 100% des localisations attendues, toutes en 3D. Par ailleurs, un effet de l'orientation des falaises a été constaté, avec une diminution du pourcentage de localisations réussies pour celles exposées au nord, et une augmentation du pourcentage de localisations en 3D pour celles exposées au sud. Ces tests ont mis en évidence la possibilité d'utiliser la localisation par GPS en milieu de haute montagne, malgré l'importance des masques naturels avec, toutefois, une diminution des performances en pied de falaise ainsi que pour celles exposées au nord (du fait de la configuration du réseau satellitaire).

Par ailleurs, nous avons, également, cherché à évaluer l'exactitude des localisations, afin de pouvoir apprécier les biais éventuels lors de l'analyse ultérieure (*cf.* ADRADOS *et al.*, 2002). Cette exactitude peut être déterminée par les paramètres fournis pour chaque enregistrement : statut de la localisation (2D ou 3D) ; valeurs de DOP<sup>5</sup>. Des enregistrements en continu (1 point / 5 minutes) ont été réalisés à l'aide de colliers placés en position fixe. Le barycentre des points (centre géométrique) pour lesquels l'exactitude était la meilleure (localisations en 3D avec une DOP < 5) a été estimé, et a servi de référence pour évaluer la dispersion moyenne des points. Le tableau I détaille les résultats.

Erreur de localisation (m)	2D		3D	
	DOP < 5 % (n=108)	DOP ≥ 5 % (n=29)	DOP < 5 % (n=151)	DOP ≥ 5 % (n=51)
0-5	25,9	3,4	38,4	25,5
5-10	49,1	3,4	62,3	58,8
10-15	76,9	17,2	87,4	82,4
15-20	80,6	27,6	90,1	88,2
20-30	94,4	55,2	100	98,0
30-40	97,2	86,2		98,0
40-50	97,2	93,1		100
50-100	99,1	100		
100-200	100			
<b>Moyenne (m)</b>	<b>13,1</b>	<b>27,9</b>	<b>8,8</b>	<b>10,1</b>
Écart-type	1,7	2,5	0,5	1,0
Maximum (m)	160,1	62,8	27,1	43,2

*n = nombre d'enregistrements*

Tableau I. Pourcentages cumulés des erreurs de localisation des enregistrements (distance par rapport au barycentre) réalisés en 2D et 3D avec une DOP < 5 ou ≥ 5.

Les résultats permettent d'évaluer l'erreur moyenne des localisations obtenues en 3D aux environs de 10 m, quelle que soit la valeur de la DOP, et entre 13 et 28 m pour celles obtenues en 2D, pour des valeurs respectives de DOP < 5 et ≥ 5. Ces valeurs s'avèrent compatibles avec la perspective d'analyses fines de l'utilisation de l'espace et de l'habitat pour le bouquetin des Alpes, au vu de l'ampleur des déplacements effectués par les animaux (plusieurs kilomètres en quelques heures lors des déplacements saisonniers), ainsi que des couvertures géographiques disponibles (basées pour la plupart sur une résolution de 50 m).

<sup>5</sup> DOP (*Dilution Of Precision*) : cette valeur permet d'évaluer la configuration des satellites entre eux, et donc le degré de précision des données.

## II. APPLICATION AU SUIVI DU DÉPLACEMENT DE BOUQUETINS DES ALPES

### II.1. Protocole

Dans le but de réaliser une typologie du déplacement des bouquetins au cours de l'année, ainsi que d'analyser certains paramètres physiques de l'habitat utilisés par les individus (pente, altitude, exposition), 23 animaux ont été équipés de colliers GPS (3300 S [Rév.2], Lotek Wireless Inc., Canada) en début d'été 2003. Une fréquence de 8 enregistrements par jour (1 toutes les 3 h) a été programmée. Au cours de l'été 2004, 19 colliers ont été récupérés, par le moyen d'un mécanisme d'ouverture à distance, ne nécessitant pas la re-capture des individus. Pour les 4 autres colliers, une défection du système de localisation par VHF, inclus dans le collier, n'a pas permis de les récupérer.

### II.2. Analyse des données

#### II.2.1. Traitement des données brutes

Au vu des résultats précédents et d'une série de tests préalables réalisés à partir de 2 colliers GPS en point fixe (6 552 localisations recueillies), seules les localisations en 2D ayant une DOP <10 et les localisations en 3D ayant une DOP <15 ont été conservées pour les analyses ultérieures, parmi l'ensemble des données recueillies. En point fixe, l'exactitude des localisations obtenues est alors inférieure en moyenne à 10,8 m et l'erreur moyenne de localisation pour les localisations les moins précises est de 19,2 m. À partir du pourcentage de données conservées, une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée en fonction des facteurs individu (aléatoire, imbriqué dans le facteur sexe), sexe et mois (facteurs pris isolément ou en interaction), afin d'évaluer leur influence sur le nombre de données conservées pour chaque individu.

#### II.2.2. Utilisation de l'espace

Les localisations des individus ont été cartographiées, afin de déterminer leur mode d'occupation du domaine vital au cours de l'année, c'est-à-dire les zones plus particulièrement utilisées en fonction des saisons, la distance entre elles ainsi que les périodes de déplacement.

##### II.2.2.1. Domaine vital

- La taille du domaine vital global (toutes localisations confondues) de chaque individu a été évaluée en appliquant une zone-tampon, de rayon équivalent à l'erreur de localisation (20 m) autour des trajectoires individuelles. Les trajets entre les différentes zones du domaine vital (discriminés visuellement à partir des trajectoires individuelles) ont été exclus du calcul afin d'éviter d'en augmenter artificiellement la valeur.
- Un domaine mensuel a été déterminé par la méthode des polygones convexes (MOHR, 1947 ; HAYNE, 1949), en utilisant l'ensemble des données disponibles. Il permet de mettre en évidence les périodes et l'ampleur des déplacements individuels. La taille de ces domaines a été comparée entre mâles et femelles à l'aide de tests U de Mann-Whitney (SCHERRER, 1984). La distance linéaire séparant le barycentre de chaque domaine mensuel successif a également été évaluée.

##### II.2.2.2. Distance par période horaire

Les distances linéaires séparant 2 localisations consécutives espacées de 3 heures ont été calculées afin d'évaluer si l'amplitude des déplacements variait au cours de la journée (bien que cette mesure discontinue ne reflète que très imparfaitement les déplacements réels des individus). Une ANOVA de ce paramètre a été réalisée en fonction des facteurs sexe, mois et période horaire (facteurs pris isolément ou en interaction).

Num	Sexe	Année de naissance	Age*	Lieu de capture**	Date de capture	Fin de suivi	Durée du suivi (j.)	Nb et taux (%) d'enregistrement	Nb de localisations conservées
405	F	2000	3	PNGP	03/06/03	20/02/04	262	1 501 (71,6)	953
409	F	2000	3	PNGP	27/05/03	01/03/04	279	1 542 (69,1)	1018
424	F	1997	6	PNV	13/07/03	08/05/04	299	1 655 (69,1)	1049
426	F	1995	8	PNV	11/06/03	12/04/04	306	1 602 (65,5)	1006
425	F	1993	10	PNV	13/06/03	13/05/04	335	2 040 (76,1)	1333
407	F	1991	12	PNGP	27/05/03	20/03/04	297	1 652 (69,4)	1241
411	F	1987	16	PNGP	06/06/03	01/03/04	270	1 416 (65,6)	962
422	M	2000	3	PNV	10/06/03	23/04/04	318	1 589 (62,5)	1116
416	M	1999	4	PNV	10/06/03	18/04/04	313	1 638 (65,3)	889
403	M	1997	6	PNGP	22/05/03	18/02/04	272	1 383 (63,5)	985
398	M	1996	7	PNGP	22/05/03	30/08/03	99	668 (83,5)	580
412	M	1996	7	PNV	10/06/03	14/11/03	156	973 (77,7)	650
415	M	1995	8	PNV	14/06/03	05/10/03	113	821 (90,9)	637
418	M	1994	9	PNV	20/06/03	16/05/04	331	2 019 (76,2)	1354
414	M	1993	10	PNV	18/06/03	16/05/04	332	2 071 (77,9)	1545
413	M	1993	10	PNV	14/06/03	07/03/04	277	2 138 (72,6)	1094
402	M	1992	11	PNGP	12/08/03	10/02/04	182	669 (45,8)	375
400	M	1991	12	PNGP	12/08/03	24/08/03	12	88 (91,7)	70
404	M	1990	13	PNGP	13/08/03	25/03/04	226	1 424 (78,9)	1087
<b>Total</b>								26 889(72,3)	17 944

\* calculé en années révolues au 1<sup>er</sup> juin de l'année de capture.

\*\* les captures se sont déroulées dans le Val de Rhêmes pour ce qui concerne le Parc national Gran Paradiso (PNGP) et dans la Réserve naturelle de la Grande Sassièrre pour le Parc national de la Vanoise (PNV).

Tableau II. Récapitulatif des données disponibles par individu

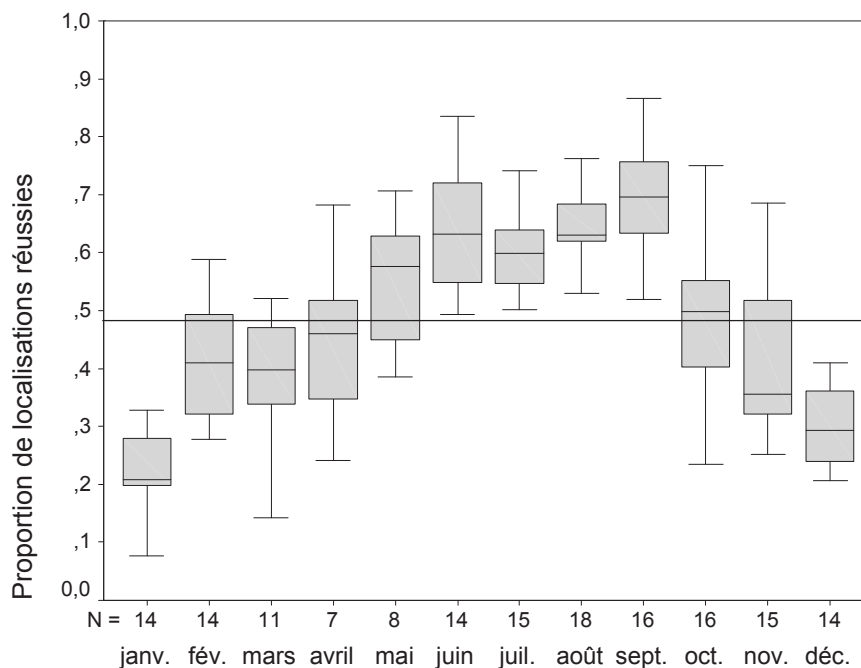


Figure 1. Proportion de localisations conservées par mois pour l'ensemble des individus. La médiane (trait horizontal) ainsi que l'étendue interquartile correspondant à 50% des observations (boîte) sont représentées.

### **II.2.3. Utilisation de l'habitat**

Les paramètres de l'habitat utilisé par les bouquetins (pente, altitude, exposition) ont été évalués en utilisant 3 modèles numériques de terrain (MNT) :

- un MNT Vanoise (sous format raster), résolution 50 m, projection Lambert II étendu ;
- un MNT Piémont (sous forme de courbes de niveau), résolution 10 m, projection UTM 32 ;
- un MNT Aoste (20 fichiers de 4x4 km sous forme points), résolution 10 m, projection UTM 32.

Du fait des formats et des systèmes de projections différents, une transformation a été effectuée afin d'aboutir à un seul fond cartographique (le MNT Vanoise a été converti en contours, puis projeté en UTM 32 ; les 20 fichiers MNT Aoste ont été convertis en contours, et regroupés en un seul fichier [format raster]). En 3 endroits, les localisations sortant de ce MNT global, des courbes de niveau ont été recréées après digitalisation à partir d'un fond cartographique au 20 000<sup>ème</sup> numérisé (résolution 50 m). Elles ont, ensuite, été converties en grille puis incorporées au reste du MNT.

À partir du MNT global, les valeurs de pente, altitude et exposition ont été extraites pour chaque localisation. Elles ont, ensuite, été comparées à celles disponibles, évaluées après définition d'une enveloppe englobant l'ensemble des localisations individuelles, et extraction des proportions de chaque valeur de pente, altitude et exposition comprises dans cette zone.

Une ANOVA de chaque variable de l'habitat a été réalisée en fonction des facteurs individu (aléatoire, imbriqué dans le facteur sexe), sexe et mois (facteurs pris isolément ou en interaction).

## **II.3. Résultats**

### **II.3.1. Aspect technique**

Les 19 colliers GPS ont enregistré une moyenne de 1 415 localisations ( $\sigma=547$ , min=88, max=2070) sur une période moyenne de 246 jours ( $\sigma=92$ , min=12, max=335). La plupart des animaux (15/19) ont été suivis pendant plus de 6 mois consécutifs voire plus de 9 mois (pour 11 d'entre eux). Pendant la période de fonctionnement des colliers, une moyenne de 72,3 % des localisations attendues (tableau II) a été enregistrée, mais ces résultats sont très variables d'un individu à l'autre (min.=45,8%, max.=91,7%).

Parmi l'ensemble des données recueillies, 66,7 % en moyenne des localisations effectives des bouquetins ont été conservées (tableau II), en fonction des critères définis préalablement (*cf.* § II.2.1). Des différences très importantes apparaissent entre les individus (de 25,7% [mâle 402] à plus de 72% [mâles 398 et 400],  $F_{16,122}=7,361$ ,  $p<10^{-3}$ ). Il n'apparaît pas de différence entre les sexes ( $F_{1,17}=0,705$ ,  $p=0,412$ ), ni d'interaction mois\*sexe ( $F_{11,122}=1,415$ ,  $p=0,174$ ). Par contre, des différences significatives apparaissent entre les mois (figure 1,  $F_{11,122}=29,545$ ,  $p<10^{-3}$ ), les mois d'automne et d'hiver (octobre à avril) présentant les plus faibles taux de données conservées.

### **II.3.2. Modalités de déplacement**

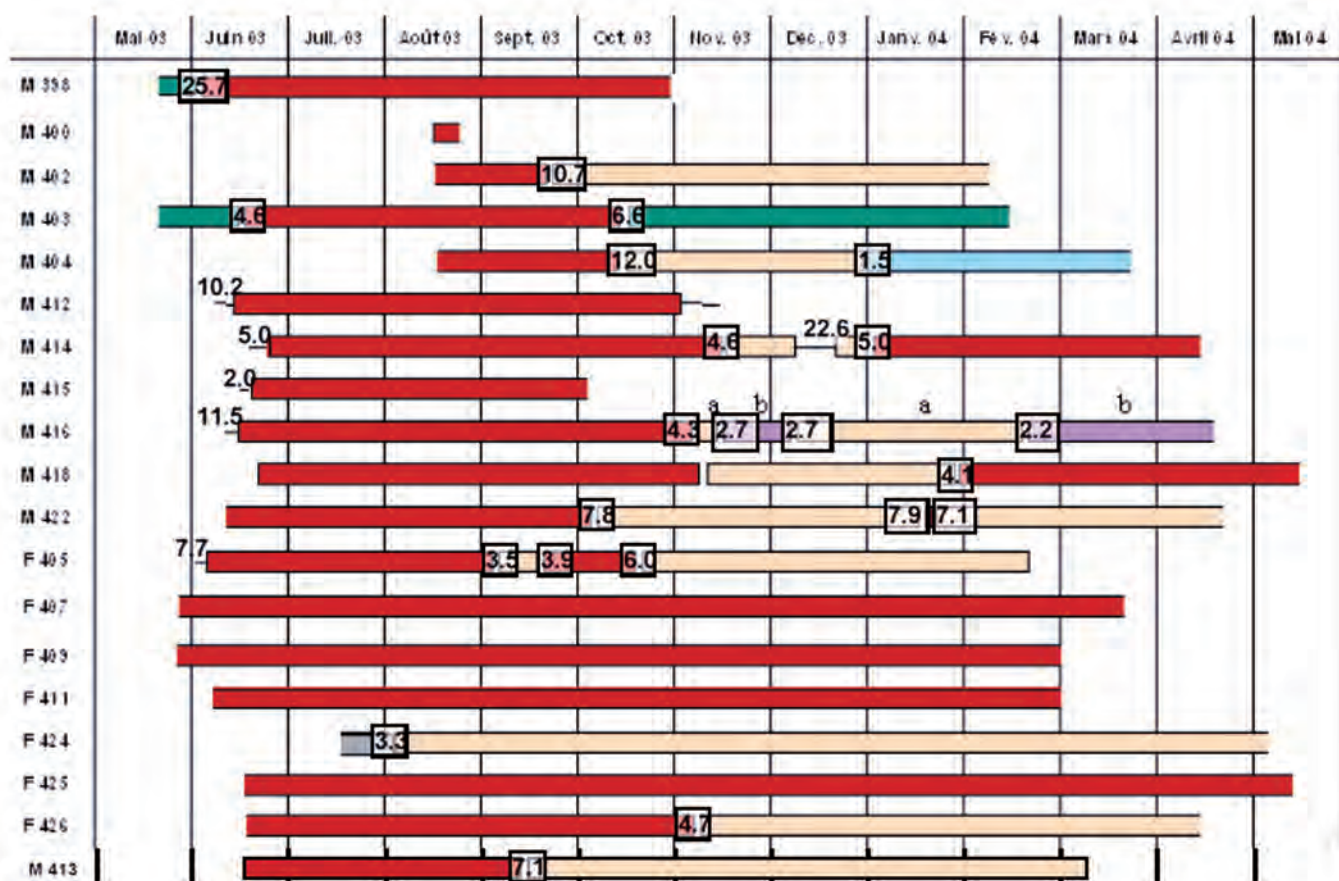
Les modalités d'utilisation du domaine vital sont très différentes d'un individu à l'autre, indépendamment du sexe ou de l'âge de ces derniers. La figure 2 récapitule le déplacement des individus marqués au cours de la période de suivi (différentes zones utilisées et distance entre elles). Un effet de la capture semble apparaître pour 5 individus (mâles 412, 414, 415 et 416 et femelle 405), qui montrent des déplacements importants (2 à 11,5 km) dans les heures ou les jours qui suivent leur marquage sans que cela ne semble correspondre à une utilisation saisonnière d'une zone particulière du domaine vital. De façon générale, à l'exception des mâles 400, 402 et 415, pour lesquels la brièveté de la période de suivi ne permet pas de statuer quant

à leur modalité d'utilisation de l'espace, tous les mâles utilisent au moins deux zones distinctes au cours de l'année. La première est occupée de juin à septembre voire novembre selon les mâles, et la seconde, selon les cas, de novembre à décembre-janvier ou de septembre-octobre à février-avril. Les mâles 414 et 418 utilisent une 2<sup>ème</sup> zone pendant une période réduite (novembre à janvier) puis reviennent sur la 1<sup>ère</sup>. Le mâle 404 utilise également une 2<sup>ème</sup> zone d'octobre à décembre, puis une 3<sup>ème</sup> pour les autres mois d'hiver. Parmi les femelles, seules 2 d'entre elles ont un domaine vital disjoint, avec un déplacement d'une zone à l'autre en octobre-novembre. Pour la femelle 424, un changement de site a eu lieu en juillet, mais il semble plutôt correspondre à un changement de versant quelques jours après la capture. En dehors des grands déplacements liés à l'utilisation saisonnière de certaines zones du domaine vital, certains individus réalisent parfois de brefs trajets allers-retours entre ces zones (cas du mâle 422 en période hivernale ainsi que de la femelle 405 en septembre).

À noter que, par la suite, nous qualifierons les individus présentant un domaine vital disjoint de « migrants », même si les distances entre les quartiers saisonniers peuvent paraître modestes (26 km au maximum).

La distance entre les différentes zones du domaine vital utilisées au cours de l'année s'avère très variable selon les individus, avec des valeurs comprises entre 1,5 et 25,7 km.

La carte (figure 3) permet de visualiser, sous la forme du barycentre des enregistrements, la localisation des individus pendant les périodes hivernales et estivales.



Les couleurs différentes rendent compte de zones distinctes utilisées de façon saisonnière. Les chiffres indiquent les distances linéaires entre elles. Les traits horizontaux représentent de grands déplacements en-dehors de celui réalisé pour relier une zone à l'autre (effet de la capture ?). a, b : il s'agit de 2 zones différentes utilisées alternativement d'octobre à avril.

Figure 2. Modalité d'utilisation du domaine vital par les 19 bouquetins suivis de mai 2003 à mai 2004.

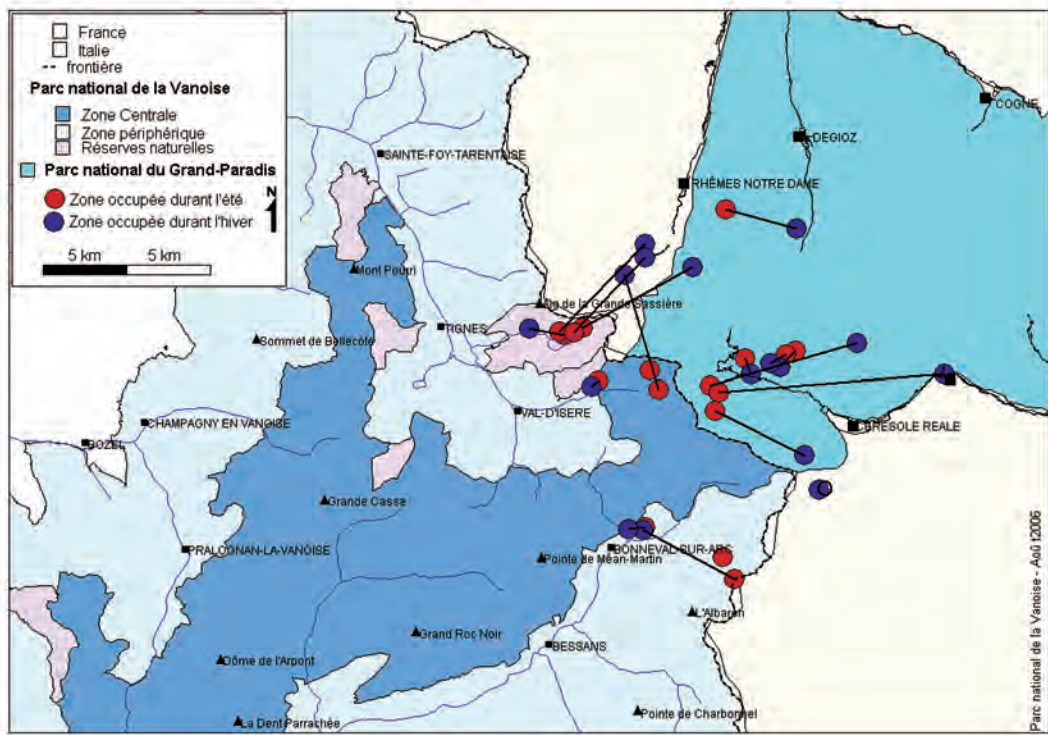


Figure 3. Représentation synthétique (barycentre des localisations) des zones occupées durant l'hiver (bleu) et l'été (rouge) par les animaux marqués (le trait relie 2 zones utilisées par un même individu)

### II.3.3. Domaines vitaux

#### II.3.3.1. Domaines vitaux globaux

La surface du domaine vital global des individus (figure 4) est comprise entre 125,2 ha et 620,4 ha (en excluant 2 mâles pour lesquels la durée du suivi a été très courte : 12 et 99 jours). Elle s'avère plus importante pour les mâles que pour les femelles ( $U_{9,7}=7,000$ ,  $p=0,008$ , test bilatéral,  $\alpha=0,01$ ).

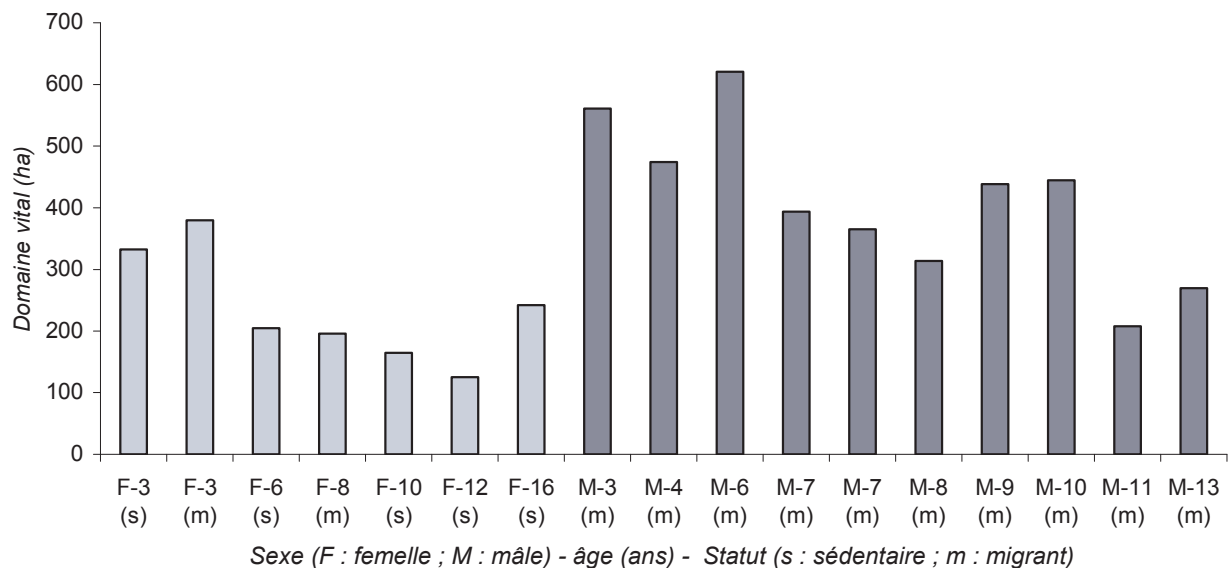


Figure 4. Superficie du domaine vital global des individus (tous mois confondus)

II.3.3.2. Domaines mensuels

Le calcul de la distance séparant le barycentre de chaque domaine mensuel successif permet de confirmer les différentes stratégies de déplacements individuels et de mettre en évidence les périodes de déplacement saisonnier (tableau III).

Sexe	Femelles								Mâles									
Statut	Sédentaires				Migrantes				?	?	Migrants							
Num	407	409	411	424	425	426	405	412	415	398	402	403	404	413	414	416	418	422
Mois																		
5/6	675										15954*				4042*			
	* 1541*																	
	109				107													
6/7	3	676	539		9	67	256	594	133	144		54		89	2914*	1161	893*	1711
7/8	48	188	303	3163	85	959	82	1582	364	1279		32		411	199	973	788	2629
8/9	173	297	341	263	101	148	45	1810	959		9293	1442	202	7244	1225	351	455	221
	131																	
9/10	9	321	501	152	474	147	987	1980	1413		603	6174	10266	507	646	2862	483	5788
10/11	4	341	337	300	159	5779	5828	2632				588	1620	624	1199	8129	6824	72
11/12	120	157	48	496	163	781	761				2229	334	637	7015	68	695	283	
12/1	10	61	312	361	315	512	68				2729	1773	714	7406	6064	140	277	
1/2	63	163	349	607	319	257	477					58	263	565	511	7653	245	
2/3	148			177	538	340						325	155	458	2886	121	153	
3/4				217	21	177									102	320	735	98
4/5				1034	51										589		44	

\* données ne recouvrant que partiellement le mois concerné, du fait de la date de capture.

Tableau III. Distance linéaire (m) séparant le barycentre de chaque domaine mensuel successif (en gras : distance reflétant un changement de quartier)

Les différentes stratégies de déplacement apparaissent également lors du calcul de la taille des domaines mensuels (figures 5a et 5b).

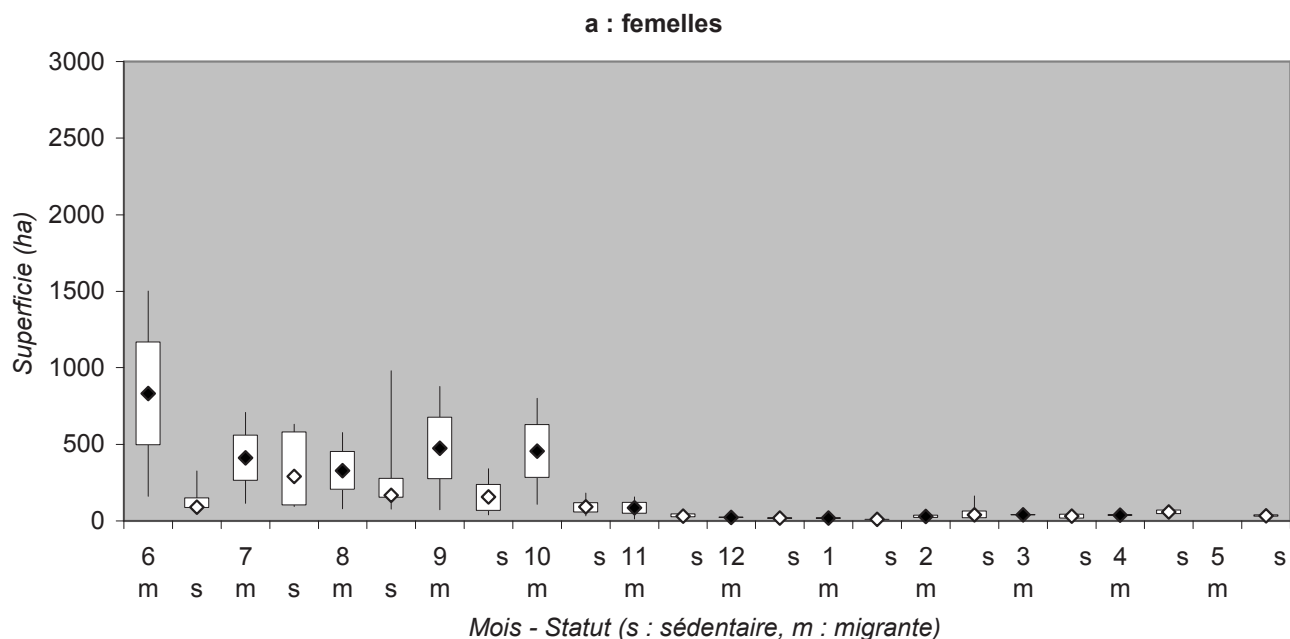


Figure 5a. Taille des domaines mensuels des femelles (a) (barre verticale : valeurs min. et max. ; boîte rectangulaire : correspond à 50% des valeurs ; point : valeur médiane)

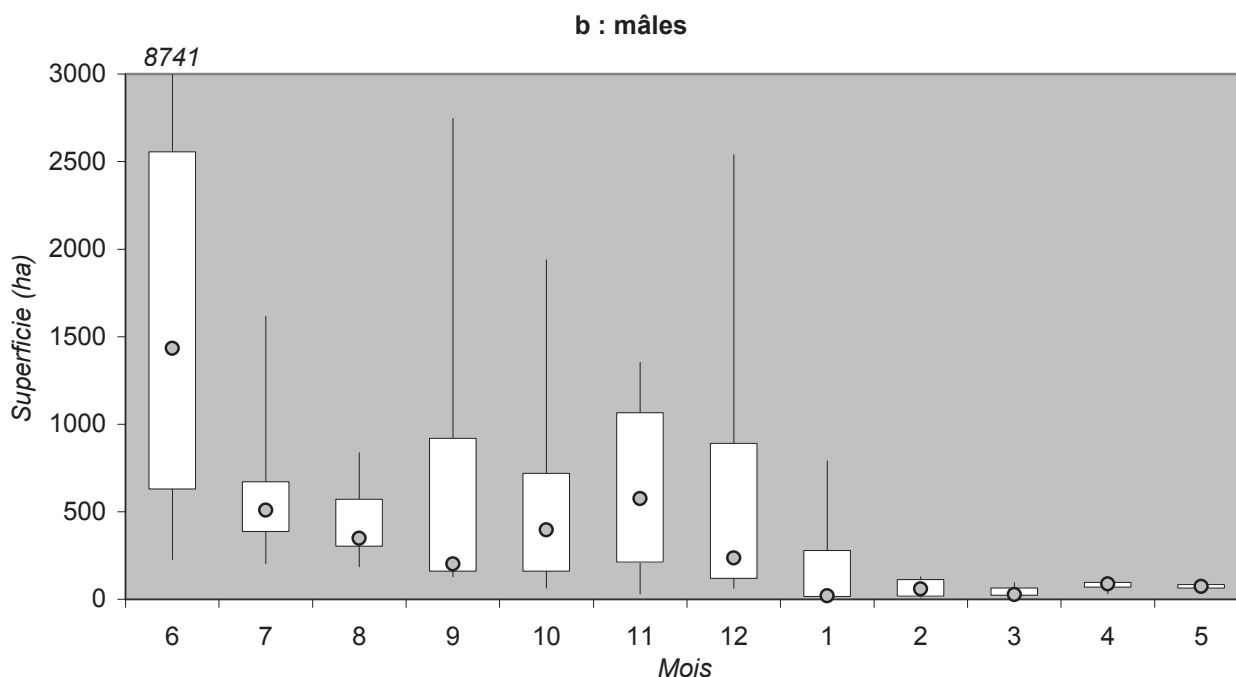


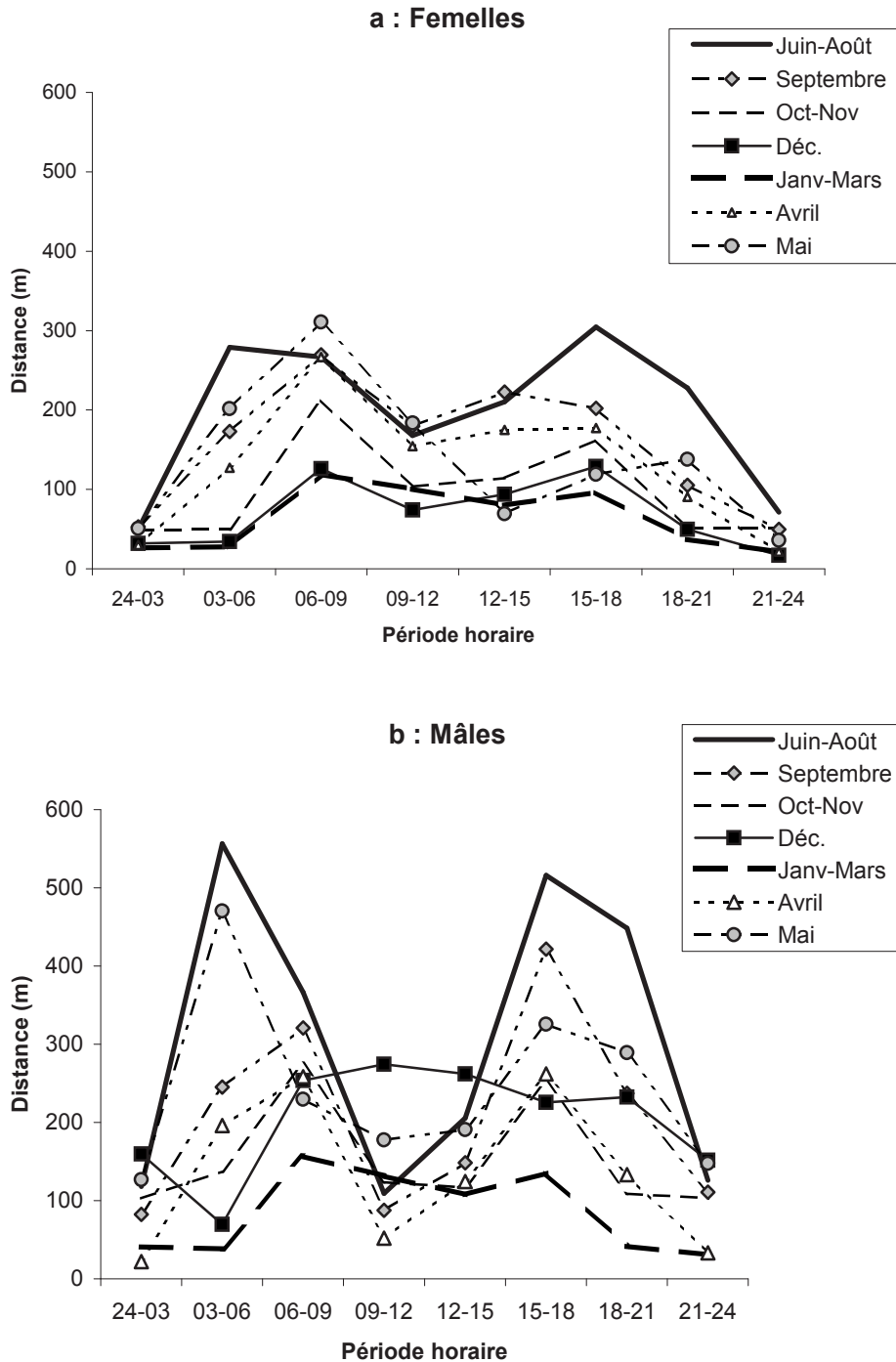
Figure 5b. Taille des domaines mensuels des mâles (b) (barre verticale : valeurs min. et max. ; boîte rectangulaire : correspond à 50% des valeurs ; point : valeur médiane)

Des différences marquées entre les sexes apparaissent. La taille des domaines mensuels des femelles est très réduite entre les mois d'octobre (femelles sédentaires) ou novembre (femelles migrantes) et mai. En début et fin de période estivale (juin et septembre), les femelles migrantes montrent des domaines plus étendus que ceux des femelles sédentaires, du fait du déplacement saisonnier. Les mâles possèdent des domaines mensuels de taille globalement supérieure à celle des femelles, bien que de très fortes variations interindividuelles apparaissent. On peut constater une restriction marquée des déplacements entre les mois de janvier (excepté pour les mâles 414 et 418, *cf.* figure 2) et mai, tandis que des déplacements importants sont encore effectués entre les mois d'octobre et de décembre ou janvier (période de rut), contrairement aux femelles. De ce fait, une différence significative de taille de domaine mensuel entre les sexes est observée pour les mois d'octobre ( $U_{7,7}=7,000$ ,  $p=0,025$ ), de novembre ( $U_{7,77}=5,000$ ,  $p=0,013$ ) et décembre ( $U_{7,7}=0,000$ ,  $p=0,002$ ).

#### II.3.4. Distance linéaire par période horaire

Les distances parcourues entre 2 enregistrements espacés de 3 heures varient selon le sexe, le mois et la période horaire (interaction entre ces 3 facteurs :  $F_{77,9979}=1,86$ ,  $p<0,05$ ). Les distances parcourues par les mâles, toutes périodes horaires confondues, sont significativement différentes ( $p<0,05$ ) de celles parcourues par les femelles entre les mois de juin et janvier, tandis qu'elles s'avèrent de même ampleur entre les mois de février et mai.

Les figures 6a (femelles) et 6b (mâles) soulignent l'existence de 2 pics principaux de déplacement au cours de la journée, de façon particulièrement marquée chez les mâles (figure b). Pour les femelles, les distances minimales sont parcourues entre les mois de décembre et mars, quelle que soit l'heure considérée. Pendant cette période hivernale, les pics de déplacement s'avèrent peu marqués. À l'inverse, les déplacements les plus importants sont observés de juin à août voire septembre, avec des pics plus marqués entre 3 h et 9 h puis entre 15 h et 18 h. La période 21 h – 3 h est celle au cours de laquelle les plus faibles déplacements sont observés, quel que soit le mois considéré (pas de différence significative entre les mois).



Figures 6 a et b. Distance linéaire séparant 2 enregistrements consécutifs par période horaire et par mois pour les femelles (a) et les mâles (b)

Pour les mâles, les déplacements les plus importants sont, également, observés pendant la période estivale (juin – septembre), avec 2 pics très marqués entre 03 h et 06 h puis entre 15 h et 18 h voire 21 h. De même que pour les femelles, ces pics sont moins marqués, voire inexistantes, en période hivernale (décembre – mars). Toutefois, alors que l'amplitude des déplacements est de même ordre pendant toute cette période chez les femelles, les mâles montrent des déplacements plus importants en décembre (comparaison décembre/janvier-mars :  $F_{1,1114}=66,18$ ,  $p<0,05$ ), période qui correspond au rut et durant laquelle les mâles se déplacent de hardes en hardes à la recherche de femelles réceptives.

## II.3.5. Utilisation de l'habitat

### II.3.5.1. Altitude

La grande majorité des localisations (90%) se situe entre 2 000 et 3 000 m (figure 7), les altitudes les plus utilisées se situant entre 2 400 et 2 700 m (50% des localisations). Les mâles sont observés préférentiellement (50% des localisations) à des altitudes situées entre 2 300 et 2 800 m. À noter que les altitudes situées entre 1 100 et 1 400 m pour les mâles sont le fait d'un seul individu (404).

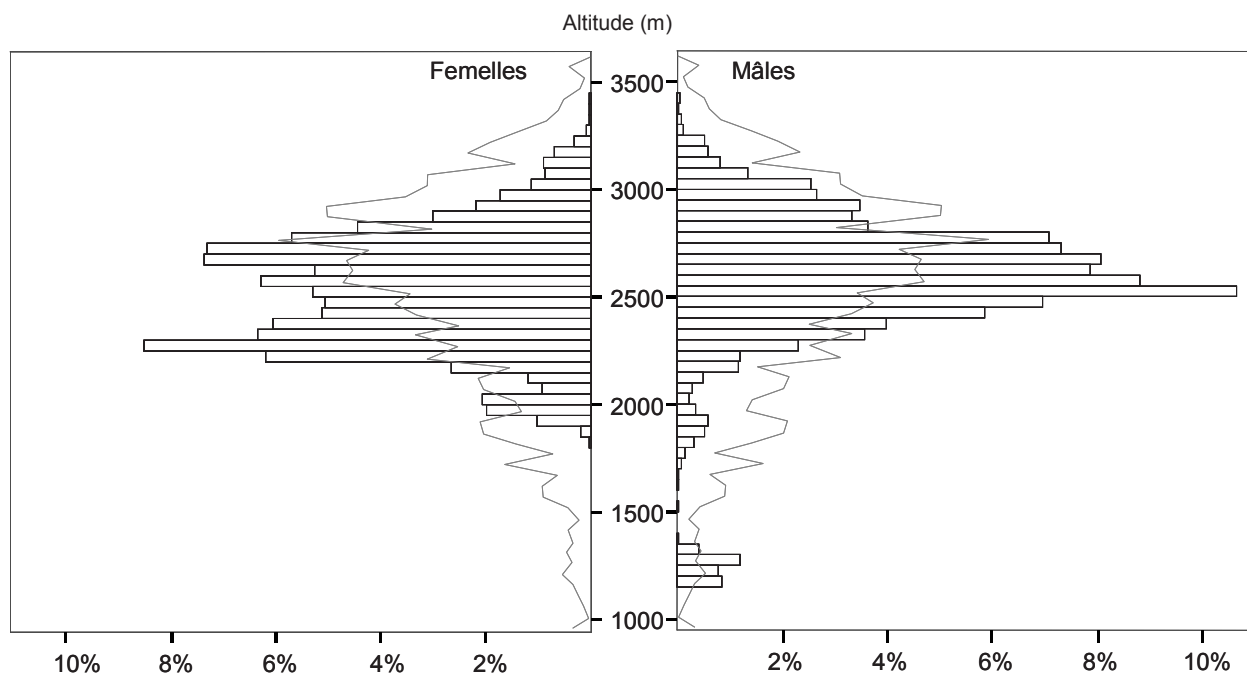


Figure 7. Répartition altitudinale des bouquetins mâles et femelles sur le site d'étude au cours du suivi. Les altitudes disponibles sont figurées par la courbe grise.

Les altitudes utilisées varient au cours des mois pour les 2 sexes (figure 8). Les altitudes les plus faibles sont utilisées de décembre à mars, et celles les plus élevées de juin à septembre. Toutefois, le facteur sexe ( $F_{1,16}=0,367$ ,  $p=0,553$ ) et l'interaction mois\*sexe ( $F_{11,122}=1,397$ ,  $p=0,183$ ) ne sont pas significatifs. Les différences s'avèrent significatives entre individus ( $F_{16,122}=18,950$ ,  $p<10^{-3}$ ) et entre mois ( $F_{11,122}=14,741$ ,  $p<10^{-3}$ ) ainsi que pour l'interaction individu\*mois ( $F_{122,16688}=95,751$ ,  $p<10^{-3}$ ). Cependant, les grandes variations interindividuelles constatées pour les mâles en janvier et décembre (figure 8) ne sont le fait que d'un individu (mâle 404). En retirant cet individu, un graphique relativement différent est obtenu (figure 9), avec un effet significatif du sexe ( $F_{1,15}=7,743$ ,  $p=0,01$ ), et une interaction significative mois\*sexe ( $F_{11,115}=3,596$ ,  $p<10^{-3}$ ). Les autres facteurs et interactions restent significatifs (mois :  $F_{11,115}=32,118$ ,  $p<10^{-3}$ ; individu :  $F_{15,115}=10,201$ ,  $p<10^{-3}$ ; individu\*mois :  $F_{115,15609}=36,909$ ,  $p<10^{-3}$ ). Les mâles montrent une utilisation d'altitudes plus élevées que les femelles de janvier à mai puis d'octobre à décembre, tandis que, de juin à septembre, les altitudes utilisées par les 2 sexes apparaissent similaires.

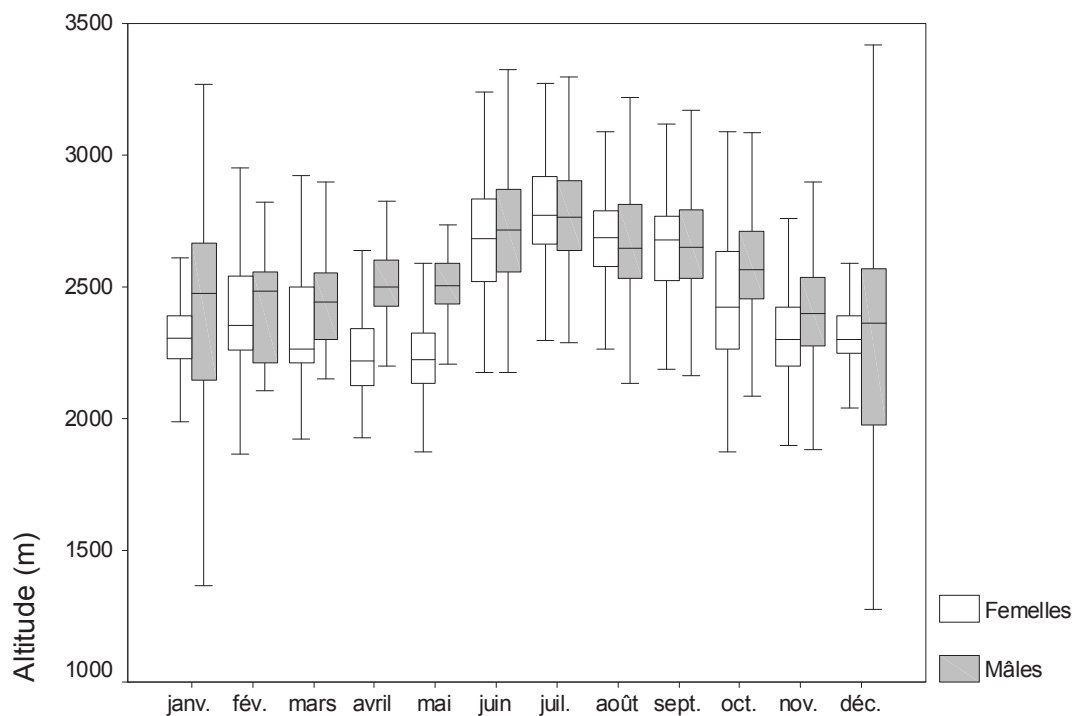


Figure 8. Répartition altitudinale des bouquetins suivis au cours des mois en fonction du sexe. La médiane (trait horizontal) ainsi que l'étendue interquartile correspondant à 50% des observations (boîte) sont représentées.

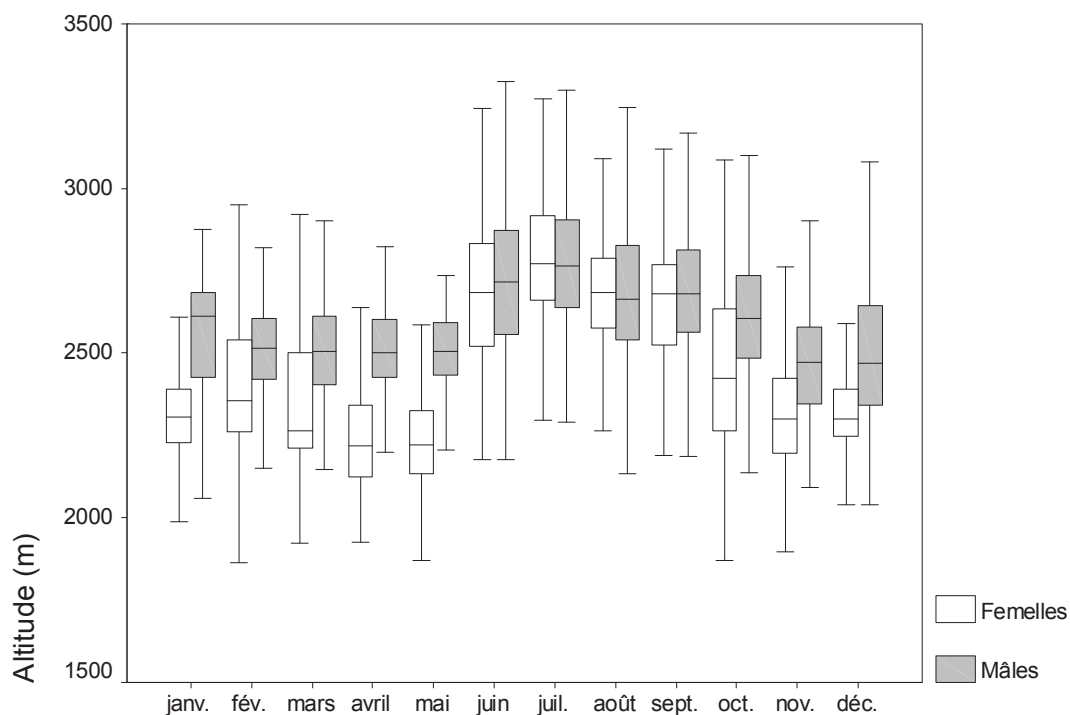


Figure 9. Répartition altitudinale des bouquetins suivis (mâle 404 exclu) au cours des mois en fonction du sexe (trait horizontal : médiane ; boîte : étendue interquartile correspondant à 50% des observations).

### II.3.5.2. Pente

Les bouquetins marqués utilisent principalement les pentes situées entre 18° et 52° (90% des localisations), les pentes les plus utilisées étant comprises entre 28° et 42° (50% des localisations). Les femelles se montrent plus sélectives que les mâles (figure 10) et utilisent des pentes plus fortes : 50% des localisations se situent entre 33° et 45° pour les femelles, et entre 26° et 39° pour les mâles.

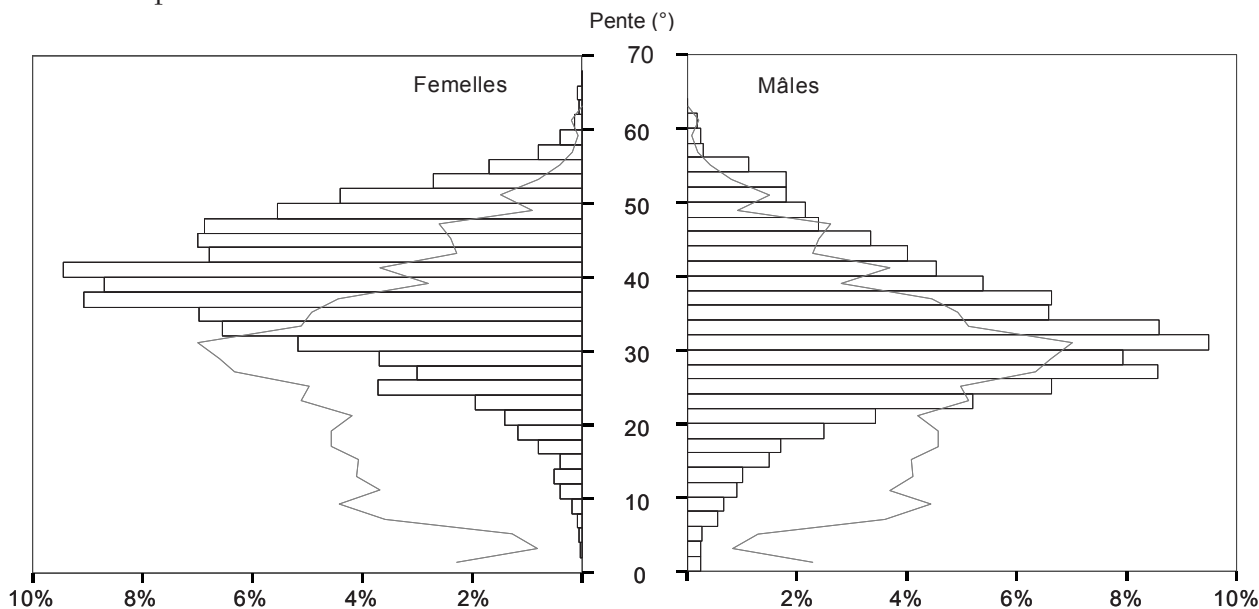


Figure 10. Proportions des valeurs de pente utilisées par les bouquetins mâles et femelles sur le site d'étude au cours du suivi. Les valeurs disponibles sont figurées par la courbe grise.

Cet effet du sexe est significatif ( $F_{1,16}=8,900$ ,  $p=0,009$ ) et valable pour toute l'année, malgré une variation d'utilisation des pentes au cours des mois (facteur significatif :  $F_{11,122}=14,653$ ,  $p<10^{-3}$ ) par les 2 sexes (figure 11). Les plus fortes pentes sont utilisées par les mâles durant les mois de novembre à janvier, tandis qu'elles le sont entre novembre et mai par les femelles.

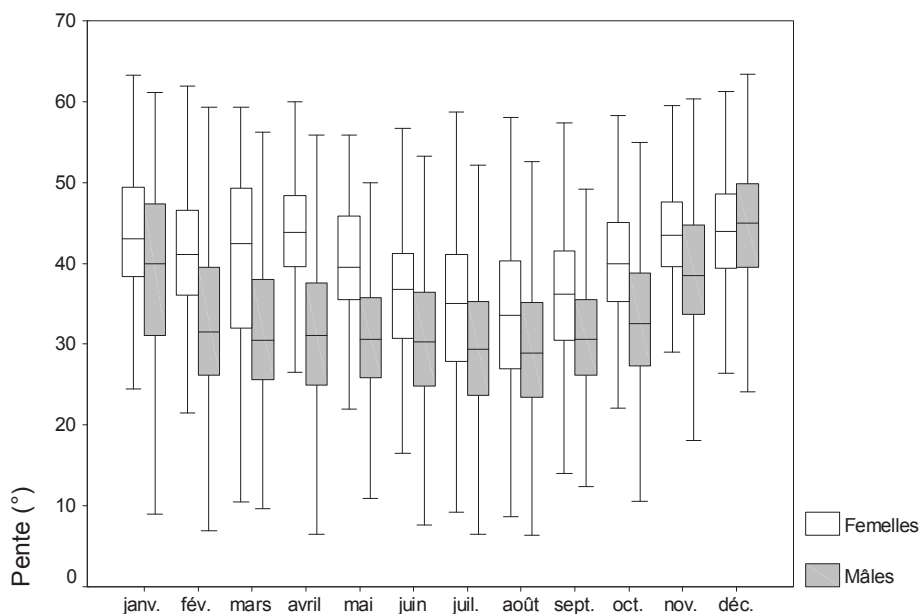


Figure 11. Pentes utilisées par les bouquetins mâles et femelles au cours de l'année (trait horizontal : médiane ; boîte : étendue interquartile correspondant à 50% des observations).

### II.3.5.3. Exposition

Les données indiquent une utilisation principale des pentes exposées du SE au SO (Figure 12). Les mâles semblent moins sélectifs que les femelles : ils utilisent davantage d'expositions E-NE et O-NO : alors que 90% des localisations des femelles se situent entre 113° et 262°, 90% des localisations des mâles se situent entre 72° et 309° (50% des localisations se situent entre 164° et 204° pour les femelles, et entre 135 et 211° pour les mâles).

NB : N = 0° ; NE = 45° ; E = 90° ; SE = 135° ; S = 180° ; SO = 225° ; O = 270° ; NO = 315°.

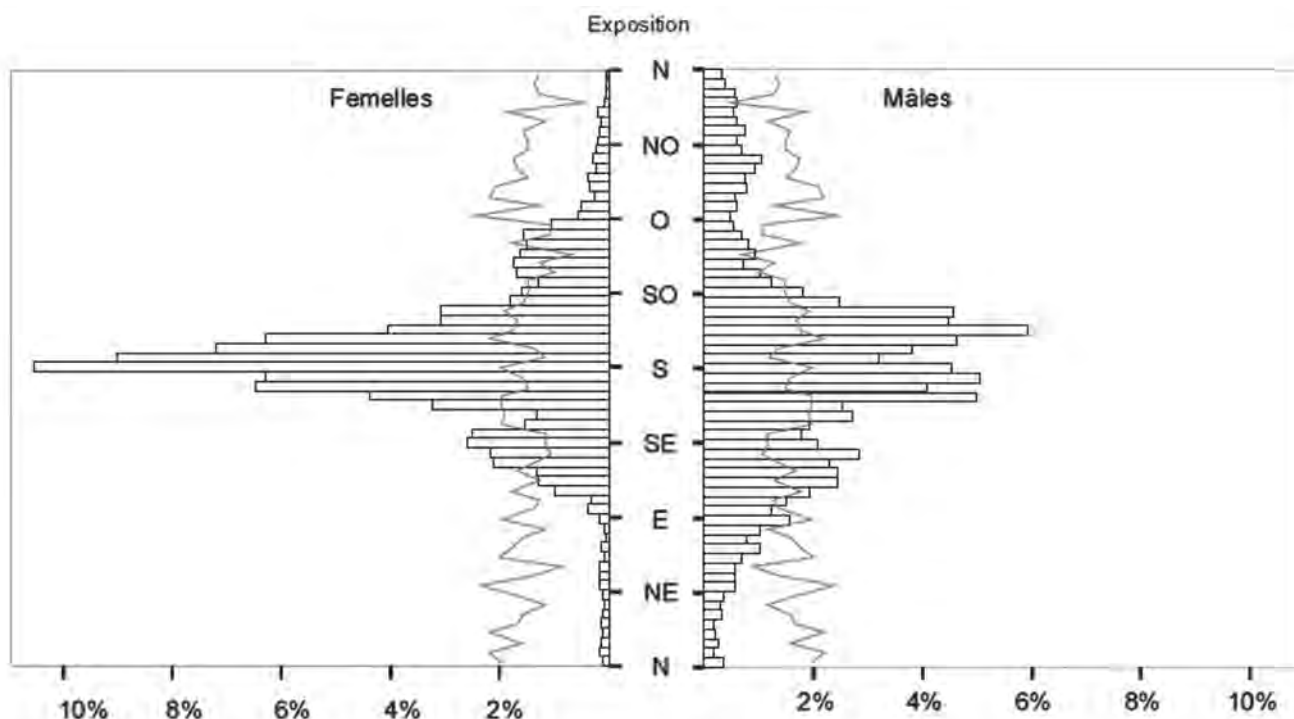


Figure 12. Proportions des expositions utilisées par les bouquetins mâles et femelles sur le site d'étude au cours du suivi. Les pentes disponibles sont figurées par la courbe grise.

Globalement, au cours de l'année (figure 13), les localisations semblent plus exposées au SE durant les mois d'hiver (novembre à février), et au SO pendant les mois d'été (juin à septembre). Une différence significative apparaît dans la façon dont les 2 sexes utilisent les expositions au cours des mois (interaction mois\*sexe :  $F_{11,122}=2,157$ ,  $p=0,021$ ). Ainsi, toutes les orientations sont utilisées par les mâles en juin, juillet et août. A l'inverse, les femelles utilisent de façon très sélective les orientations S, SE et SO en avril et mai. Toutefois, les différences interindividuelles sont importantes ( $F_{16,122}=9,089$ ,  $p<10^{-3}$ ), et varient au cours des mois (interaction individu\*mois significative :  $F_{122,16688}=22,415$ ,  $p<10^{-3}$ ).

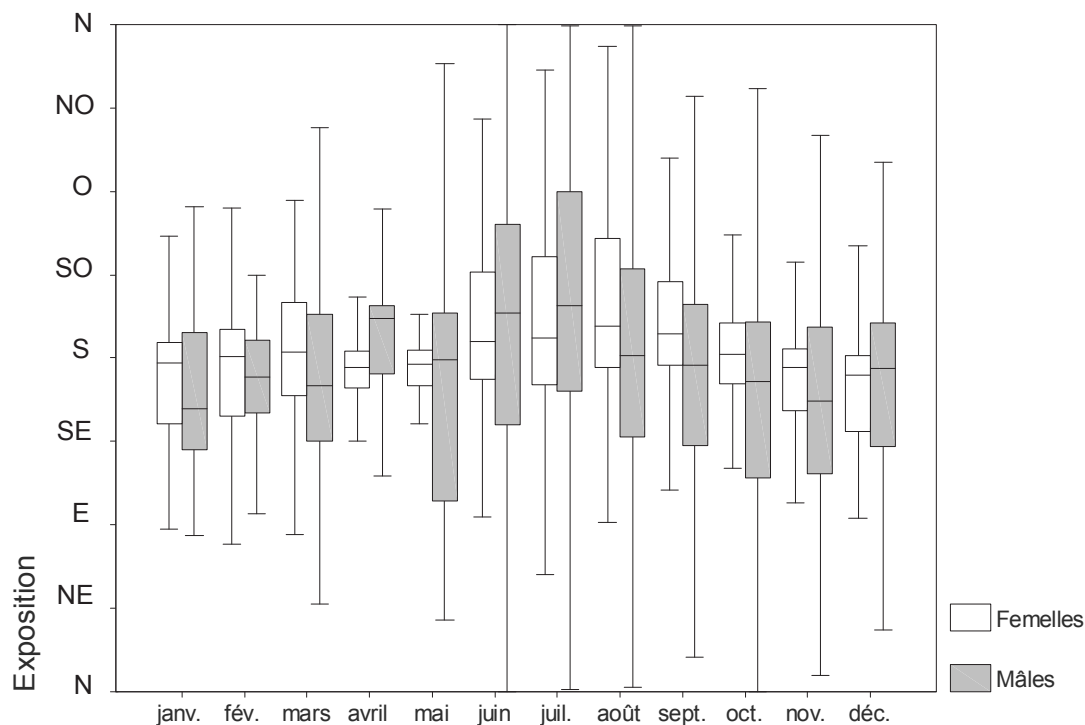


Figure 13. Expositions utilisées par les bouquetins mâles et femelles au cours de l'année (trait horizontal : médiane ; boîte : étendue interquartile correspondant à 50% des observations).

## DISCUSSION - CONCLUSION

L'ensemble de ces résultats montrent l'intérêt du suivi des bouquetins par la technologie GPS. Malgré la présence de masques naturels (falaises), il s'avère possible d'obtenir un nombre conséquent de données, à toute heure de la journée et en toute saison. Toutefois, la fiabilité des colliers s'est avérée très variable, puisque certains enregistrements se sont arrêtés prématurément (après 12 jours de suivi) et qu'aucun animal n'a pu être suivi pendant une année complète (période maximum = 335 jours), contrairement à ce qui était attendu (plus d'une année), du fait d'un manque de batteries. Parallèlement, il est apparu une forte diminution du taux de localisations correctement effectuées pendant la période hivernale, qui semblerait indiquer un effet marqué des conditions climatiques sur le fonctionnement des colliers. Cette baisse des performances pourrait être due à un dysfonctionnement technique, lié à une accumulation de neige se transformant en glace sur les antennes réceptrices, ou à l'utilisation, par les animaux à cette période particulière, de zones-refuges situées en pied de falaise voire sous des surplombs (observations des agents de terrain). Cependant, malgré ces contraintes techniques, le jeu de données récolté s'avère plus conséquent que ceux obtenus antérieurement par le suivi visuel ou le radio-pistage. Ainsi, il a permis, par exemple, d'étudier le déplacement des individus au cours du cycle journalier. De grands déplacements sur une durée très courte (quelques heures à quelques jours) ont, également, été mis en évidence soit consécutivement à la capture, soit en période hivernale (*cf.* figure 2, mâles 412, 414 ou encore 416). Ce type de déplacements, accomplis sur une durée très réduite et parfois en conditions hivernales, n'auraient pu être mis en évidence que très difficilement par un suivi visuel ou même par radio-localisation VHF.

Les modalités d'occupation spatiale mises en évidence par ce suivi s'avèrent très variables selon les individus, certains d'entre eux étant localisés toute l'année sur une même zone, tandis que d'autres utilisent plusieurs zones distinctes de leur domaine vital, plus ou moins éloignées selon les individus. Ces résultats s'avèrent similaires à ceux obtenus lors d'études antérieures menées sur le bouquetin des Alpes, qui ont montré l'importance des modalités individuelles de déplacement, pouvant aboutir à des mouvements de grande ampleur (WIERSEMA et GAUTHIER, 1990 ; GAUTHIER *et al.*, 1991 ; TERRIER *et al.*, 1992 ; MICHALLET, 1994). Ainsi, si la distribution des ressources trophiques dans l'espace constitue, en premier lieu, un facteur prépondérant dans la répartition spatiale des ongulés de montagne au cours de l'année (OWEN-SMITH, 1977 ; ESCOS et ALADOS, 1992 ; LARTER et GATES, 1994 ; MENAUT, 1997), d'autres paramètres interviennent au niveau individuel. En particulier, il apparaît une différence marquée entre les mâles, qui présentent tous un domaine vital disjoint avec des zones particulières utilisées en fonction des saisons, et les femelles, qui semblent plutôt occuper un même site toute l'année (cas de 5 femelles/7). Ce résultat doit être nuancé par le fait que les opérations de capture ont cherché à équiper de colliers des animaux pour lesquels l'existence de déplacements saisonniers était déjà connue (animaux marqués préalablement par boucles auriculaires), dans le but de mieux comprendre les facteurs associés à ces déplacements. Toutefois, si cela s'est avéré possible pour une partie des mâles, il n'a pas été possible de recapturer des femelles, du fait de leur comportement plus farouche. Cependant, malgré cette réserve et le faible nombre d'individus suivis, les différences de modalités de déplacement entre mâles et femelles ont déjà été rapportées dans des études antérieures. L'importance du déplacement de certains bouquetins mâles semble être une caractéristique connue de cette espèce (WIERSEMA, 1984). GAUTHIER et VILLARET (1990) indiquent que les phénomènes migratoires peuvent impliquer des déplacements de grande ampleur pour relier les quartiers saisonniers, effectués généralement d'un seul trait (GAUTHIER, comm. pers.). Ainsi, les mâles semblent constituer les individus pionniers dans le cadre du processus de colonisation, au cours d'une phase exploratoire, suivie d'une seconde phase aboutissant à l'installation définitive des femelles et à leur reproduction sur le site (GIRARD, 2000). De même, chez le chamois (*Rupicapra rupicapra*), les animaux effectuent plutôt des mouvements réduits dans les populations à forte densité (JULLIEN *et al.*, 1997), alors que, dans les populations à développement rapide, les mâles effectuent des déplacements plus nombreux (CLARKE, 1978). Chez le bighorn (*Ovis canadensis*), la stabilité de l'occupation spatiale des femelles a été soulignée, du fait d'une forte fidélité spatiale pour les lieux de mise-bas (FESTA-BIANCHET, 1988). Par ailleurs, le déplacement des individus mâles pourrait également être lié à la stratégie de reproduction adoptée par cette espèce (recherche de femelles en œstrus incitant les mâles à effectuer de grands déplacements, AESBACHER, 1978). Ainsi, la taille des domaines mensuels des mâles s'avère très supérieure à celle des femelles, en particulier entre novembre et janvier (période du rut). Alors que les femelles montrent des déplacements très réduits dès le mois d'octobre, les mâles effectuent des trajets encore conséquents jusqu'en janvier. Ce n'est qu'entre février et mai que les déplacements sont réduits chez les deux sexes. Cette importance du rut dans l'utilisation spatiale des mâles apparaît également au travers des distances parcourues entre 2 enregistrements espacés de 3 heures. En particulier, les déplacements des mâles au cours du mois de décembre sont plus importants que ceux relevés pendant le reste de la période hivernale (janvier – mars), ce qui n'apparaît pas chez les femelles. Ainsi, les modalités d'occupation spatiale des mâles semblent largement influencées par le rut en début d'hiver, en dépit des contraintes météorologiques propres à cette période.

Les résultats concernant l'utilisation de l'habitat, caractérisé par les valeurs de pente, altitude et exposition fréquentées par les individus, apparaissent conformes à ceux généralement décrits pour le bouquetin des Alpes (NIEVERGELT, 1966 ; WIERSEMA, 1983 ; FRANCISCI *et al.*, 1985 ; TOSI *et al.*, 1986 ; PERACINO *et al.*, 1989 ; GAUTHIER *et al.*, 1991). Ces auteurs soulignent la localisation privilégiée des animaux sur des pentes raides souvent exposées au sud, notamment en hiver, permettant de diminuer les risques de prédation et de limiter les contraintes liées à la présence de la couverture neigeuse. Cette préférence pour les habitats de forte inclinaison

apparaît commune à plusieurs espèces d'ongulés de montagne (SHANNON *et al.*, 1975 ; GIONFRIDDO et KRAUSMAN, 1986 ; CRAMPE, 1990 ; LOVARI et APOLLONIO, 1993). Les expositions tournées vers le sud apparaissent privilégiées par les animaux en toutes saisons. L'importance des pentes exposées au soleil dans l'habitat du bouquetin des Alpes a déjà été soulignée (WIERSEMA, 1984 ; WIERSEMA et GAUTHIER, 1990), en indiquant également l'utilisation, par les bouquetins, lors de pointes de chaleur estivale, des pentes plus froides, tournées vers le nord-ouest, situées à l'ombre pendant la majorité de la journée. Cette utilisation du micro-habitat peut expliquer la grande variabilité des expositions utilisées par les mâles entre juin et août, et correspondrait à une recherche d'un certain confort thermique. Par ailleurs, CRAMPE (1990) précise, également, le rôle de régulateur thermique de l'exposition. Cette dernière ainsi que l'altitude constituent deux facteurs prépondérants dans le développement de la végétation, qui conditionnent ensuite la disponibilité des ressources trophiques pour les individus.

L'utilisation différente de certains paramètres de l'habitat selon les sexes peut être expliquée par des facteurs énergétiques et comportementaux. La différence de corpulence entre mâles et femelles ainsi que les périodes de gestation et de lactation des femelles impliquent des besoins trophiques différents, qui constituent un élément majeur de ségrégation entre les sexes (BON et CAMPAN, 1996 ; CONRADT, 1998). Par ailleurs, la présence de cabris aux côtés des femelles favoriserait leur fréquentation préférentielle de pentes fortement inclinées, constituant une défense naturelle contre les prédateurs terrestres (BERGERUD *et al.*, 1984 ; PERACINO *et al.*, 1989 ; GROSS *et al.*, 1995). Ainsi, GEIST (1986) souligne que, chez les Caprinae, les femelles maximisent la sécurité des jeunes, alors que les mâles privilégient leur développement corporel pour favoriser leur dominance. MAIN et COBLENTZ (1996) précisent, également, que les femelles de cerfs muets des Montagnes Rocheuses (*Odocoileus hemionus*) utilisent les habitats qui favorisent la survie des jeunes (pentes fortes, peu utilisées par les coyotes, à proximité de points d'eau et de ressources alimentaires suffisantes).

L'ensemble des résultats de notre étude, obtenus grâce à l'utilisation de colliers GPS, permet d'affiner les conclusions issues des études antérieures portant sur l'espèce et basées sur des observations visuelles, tout en les consolidant du fait du nombre important de données collectées par individu, en particulier en période hivernale et sur l'ensemble du cycle journalier. Toutefois, l'analyse concernant l'utilisation de l'habitat s'avère limitée par les données cartographiques disponibles, en particulier la résolution des modèles numériques de terrain (50 m dans notre cas). Par ailleurs, certains paramètres pouvant influencer la répartition des individus sur le territoire n'ont pu être analysés (végétation<sup>6</sup>, données climatologiques, de nivologie, ...) du fait de l'absence de cartes suffisamment appropriées. Il serait également intéressant de coupler ces résultats avec d'autres facteurs explicatifs (présence d'infrastructures d'origine anthropiques, dérangement lié aux activités touristiques, interactions avec les ongulés domestiques).

Enfin, une compréhension complète des paramètres influençant les modalités d'occupation spatiale et d'utilisation de l'habitat nécessiterait une prise en compte de facteurs agissant au niveau individuel, probablement à l'origine de la forte variabilité observée pour l'ensemble de nos résultats, tels que l'ontogenèse, les besoins physiologiques particuliers à chaque classe de sexe et d'âge et au statut reproducteur ou non des femelles, ... Toutefois, l'obtention de telles données ne peut s'affranchir de la mise en place de protocoles d'observations visuelles. Ainsi, si la technologie GPS ouvre de larges perspectives quant au suivi de la faune sauvage, son choix doit être fait en fonction du type de données à acquérir et des possibilités ultérieures de traitement.

---

<sup>6</sup> Pas de carte disponible de la végétation mais acquisition en cours (programme Interreg IIIB Habitalp).

**Remerciements.** Nous tenons à remercier l'ensemble des agents de terrain du Parc national de la Vanoise impliqués dans les captures et le suivi des bouquetins marqués, en particulier ceux des secteurs de Val d'Isère et Bonneval-sur-Arc, ainsi que, côté italien, ceux du Parc national du Gran Paradiso et les gardes forestiers de la Réserve du Comte Rossi. Ce programme a été financé par les fonds Feder dans le cadre d'un programme Interreg IIIA (2002-2004).

## BIBLIOGRAPHIE

- ADRADOS (C.), 2004. Occupation de l'espace et utilisation de l'habitat par le Bouquetin des Alpes en zone transfrontalière : Parc national de la Vanoise – Parc national du Grand Paradis : rapport d'activité. Chambéry : Parc national de la Vanoise. 39 p.
- ADRADOS (C.), GIRARD (I.), GENDNER (J.P.) et JANEAU (G.), 2002. Global Positioning System (GPS) location accuracy improvement due to selective availability removal. *C. R. Biologies*, 325 : 165-170.
- AESBACHER (A.), 1978. Das Brunftverhalten des Alpensteinwildes. Eine ethologische Beschreibung des Fortpflanzungsverhaltens des Alpensteinwildes (*Capra ibex ibex* L.). Erlenbach, Zürich.
- BERGERUD (A.T.), BUTLER (H.E.) et MILLER (D.R.), 1984. Antipredator tactics of calving caribou : dispersion in mountains. *Can. J. Zool.*, 62 : 1566-1575.
- BON (R.) et CAMPAN (R.), 1996. Unexplained sexual segregation in polygamous ungulates : a defense of an ontogenetic approach. *Behavioural Processes*, 38 : 131-154.
- CLARKE (C.M.H.), 1978. How far do Chamois range ? *What's new in forest research*, 60 : 4 p.
- COCHRAN (W.W.) et LORD (R.D.Jr.), 1963. A radio-tracking system for wild animals. *J. Wildl. Manage.*, 27: 9-24.
- CONRADT (L.), 1998. Measuring the degree of sexual segregation in group-living animals. *J. Anim. Ecol.*, 67 : 217-226.
- GRAMPE (J.P.), 1990. Le bouquetin ibérique : éléments pour une réintroduction au versant nord des Pyrénées occidentales. Tarbes : Parc national des Pyrénées. 187 p. (Documents scientifiques du Parc national des Pyrénées ; 26).
- DUSSAULT (C.), COURTOIS (R.), OUELLET (J.P.) et HUOT (J.), 1999. Evaluation of GPS telemetry collar performance for habitat studies in the boreal forest. *Wildl. Soc. Bull.*, 27(4) : 965-972.
- DUSSAULT (C.), COURTOIS (R.), OUELLET (J.P.) et HUOT (J.), 2001. Influence of satellite geometry and differential correction on GPS location accuracy. *Wildl. Soc. Bull.*, 29 : 171-179.
- EDENIUS (L.), 1997. Field test of a GPS location system for Moose *Alces alces* under Scandinavian boreal conditions. *Wildlife Biology*, 3 : 39-43.
- ESCOS (J.) et ALADOS (C.L.), 1992. The home-range of the Spanish ibex in spring and fall. *Mammalia*, 56 (1) : 57-63.
- FESTA-BIANCHET (M.), 1988. Seasonal range selection in bighorn sheep : conflicts between forage quality, forage quantity, and predator avoidance. *Oecologia (Berlin)*, 75 : 580-586.
- FRANCISCI (F.), FOCARDI (S.) et BOITONI (L.), 1985. Male and female alpine ibex : phenology of space use and herd size. In : *The Biology and Management of Mountain Ungulates* / edited by Sandro Lovari. London ; Dover, N.H. : Croom Helm. Proceedings of the fourth International Conference on Chamois and Other Mountain Ungulates, held in Pescasseroli, Abruzzo National Park, Italy, June 17-19, 1983. p. 124-133.
- GAUTHIER (D.) et VILLARET (J.C.), 1990 - La réintroduction en France du bouquetin des Alpes. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, Suppl. 5 : 97-120.
- GAUTHIER (D.), MARTINOT (J.P.), CHOISY (J.P.), MICHALLET (J.), VILLARET (J.C.) et FAURE (E.), 1991. Le Bouquetin des Alpes. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, Suppl. 6 : 233-275.
- GEIST (V.), 1986. On the evolution of the Caprinae. In : "The Biology and Management of Capricornis and Related Mountain Antelope". Proceedings of the International Symposium on Capricornis and its related species. Japan, Serow Centre, Komono-cho. May 11-13, 1986. Ed. Hiroka Soma, Croom Helms Ltd. p. 3-40.
- GIONFRIDDO (J.P.) et KRAUSMAN (P.R.), 1986. Summer habitat use by mountain sheep. *J. Wildl. Manage.*, 50 (2) : 331-336.

- GIRARD (I.), 2000 - Dynamique des populations et expansion géographique du Bouquetin des Alpes (*Capra ibex ibex*, L.) dans le Parc national de la Vanoise. Thèse de doctorat : sciences biologiques : Chambéry. 251 p.
- GIRARD (I.), ADRADOS (C.), PERACINO (A.), MARTINOT (J.P.), BASSANO (B.) ET JANEAU (G.), 2002. Feasibility of GPS use to locate wild ungulates in high mountain environment. *J. of Mountain Ecology "Pirineos"*, 157 : 7-13.
- GROSS (J.E.), ALKON (P.U.) et DEMMENT (N.W.), 1995. Grouping patterns and social segregation by Nubian ibex. *J. of Arid Environment*, 30 : 423-439.
- HAYNE (D.W.), 1949. Calculation of size of home range. *J. Mamm.*, 30 (1) : 1-18.
- JANEAU (G.), 2002. Le Global Positioning System (GPS) : une alternative aux techniques classiques de localisation utilisées pour l'étude de l'occupation de l'espace par les grands mammifères. *in* : Les Actes du Réseau Alpin. Colloque Ongulés « Bouquetin et Chamois ». Chambéry : Parc national de la Vanoise ; Gap : Réseau Alpin des espaces protégés. p.32-35, p. 72-75 et p.110-113.
- JANEAU (G.), ANGBAULT (J.M.), CARGNELUTTI (B.), JOACHIM (J.), PÉPIN (D.) et SPITZ (F.), 1998. Le Global Positioning System (GPS) et son utilisation (en mode différentiel) chez les grands mammifères : principes, précision, limites, contraintes et perspectives. *In* : *Arvicola (Actes Amiens)*, 97 : 19-24.
- JANEAU (G.), ADRADOS (C.), JOACHIM (J.) et PÉPIN (D.), 2001. GPS performance in a temperate forest environment. *In* : *Tracking animals with GPS*. Aberdeen : Macaulay Land Use Research Institute. p. 69-72.
- JANEAU (G.), ADRADOS (C.), JOACHIM (J.), GENDNER (J.P.) et PÉPIN (D.), 2004. Performance of differential GPS collars in temperate mountain forests. *C. R. Biologies*, 327 : 1143-1149.
- JULLIEN (J.M.), LOISON (A.) et PÉPIN (D.), 1997. Domaines vitaux des chamois des Bauges. *Bulletin mensuel de l'ONC*, 221 : 5-9.
- LARTER (N.C.) et GATES (C.C.), 1994. Home range size of wood bison : effect of age, sex, and forage availability. *J. Mamm.*, 75(1) : 142-149.
- LOVARI (S.) et APOLLONIO (M.), 1993. Notes on the ecology of gorals in two areas of southern asia. *Rev. Ecol. (Terre et Vie)*, 48 : 365-374.
- MAIN (M.B.) et COBLENTZ (B.E.), 1996. Sexual segregation in rocky mountain mule deer. *J. Wildl. Manage.*, 60(3) : 497-507.
- MENAULT (P.), 1997. Domaines vitaux des isards d'Orlu. *Bulletin mensuel de l'ONC*, 221 : 10-13.
- MICHALLET (J.), 1994. Domaines vitaux et déplacements de Bouquetins des Alpes (*Capra ibex ibex* L.) dans le massif de Belledonne/Sept Laux : bilan de deux années de suivi télémétrique. *Trav. sci. Parc natl. Vanoise*, XVIII : 239-248.
- MOEN (R.J.), PASTOR (J.) et COHEN (Y.), 1997. Accuracy of GPS telemetry collar locations with differential correction. *J. Wildl. Manage.*, 61 : 530-539.
- MOHR (C.O.), 1947. Table of equivalent populations of North American small mammals. *American Midland Naturalist*, 37 : 223-249.
- NIEVERGELT (B.), 1966. Der Alpensteinbock (*Capra ibex ibex* L.) in seinem Lebensraum. Hambourg ; Berlin : P. Parey. 85 p.
- OWEN-SMITH (N.), 1977. On territoriality in ungulates and an evolutionary model. *The Quarterly Review of Biology*, 52(1) : 1-38.
- PERACINO (V.), BASSANO (B.) et GRIMOD (I.), 1989. Alcuni aspetti dell'uso dello spazio, dell'organizzazione sociale e della dinamica di popolazione dello stambecco (*Capra ibex ibex* L.) in un'area campione del Parco nazionale del Gran Paradiso. *Collana scientifica Parco nazionale Gran Paradiso*. Via della Rocca 47. Torino. 69 p.
- REMPEL (R.S.), RODGERS (A.R.) et ABRAHAM (K.F.), 1995. Performance of a GPS animal location system under boreal forest canopy. *J. Wildl. Manage.*, 59 : 543-551.
- RODGERS (A.R.) et ANSON (P.), 1994. Animal-borne GPS: tracking the habitat. *GPS World*, 5 : 20-32.
- SCHERRER (B.), 1984. Biostatistique. Ed. Gaëtan Morin, 854 p.
- SHANNON (N.A.), HUDSON (R.J.), BRINK (V.C.) ET KILTS (W.D.), 1975. Determinants of spatial distribution of rocky mountain bighorn sheep. *J. Wildl. Manage.*, 39(2) : 387-401.
- TERRIER (G.), BRET (E.), TRON (L.) et GONZALEZ (G.), 1992. Individual space use patterns obtained with tagged Alpine Ibexes in the case of 3 relocations programmes. *In* : *Ongulés 91 = Ungulates 91* : proceedings of the International Symposium "Ongulés/Ungulates 91", Toulouse-France, september 2-6, 1991 / ed. by François Spitz. [*et al.*]. - Paris : S.F.E.P.M.; Toulouse : I.R.G.M. p. 309-315.
- TOSI (G.), SCHERINI (G.), APOLLONIO (M.), FERRARIO (G.), PACHETTI (G.), TOSO (S.) et CUIDALI (F.), 1986. Modello di valutazione ambientale per la reintroduzione dello stambecco (*Capra ibex ibex* L. 1758). Istituto nazionale di biologia della selvaggina. 77 p.

## PARC NATIONAL DE LA VANOISE

- WEBER (E.), 1994. Sur les traces des bouquetins d'Europe. Éditions Delachaux et Niestlé, 176 p.
- WIERSEMA (G.), 1983 - L'habitat saisonnier du bouquetin (*Capra ibex ibex*) dans le Parc national de la Vanoise. *Trav. sci. Parc natl. Vanoise*, XIII : 211-222.
- WIERSEMA (G.), 1984. Seasonal use and quality assessment of ibex habitat. *Acta Zool. Fennica*, 172 : 89-90.
- WIERSEMA (G.) et GAUTHIER (D.), 1990. Statut du bouquetin des Alpes : contribution à la réintroduction et à la gestion de cette espèce. *Trav. sci. Parc natl. Vanoise*, XVII : 235-252.