

# Le GPS et l'étude des ongulés sauvages



F. Klein/ONCFS

Chevrette équipée d'un collier GPS 3300 S sur le TEE de Trois-Fontaines (Marne).

*Le GPS est entré dans notre vie courante. Les études sur la faune sauvage bénéficient de ce développement. Depuis 1996, le CNERA Cervidés-Sanglier, en collaboration avec le DEPE (Département d'étude de physiologie énergétique du CNRS), utilise ce système pour l'étude des habitats et le suivi des ongulés sauvages. Une bonne connaissance du fonctionnement de cet outil permet d'optimiser son exploitation.*

**François Klein<sup>1</sup>,  
Jean-Paul Gendner<sup>2</sup>,  
David Storms<sup>1</sup>,  
Jean-Luc Hamann<sup>1</sup>,  
Sonia Saïd<sup>1</sup>,  
Jacques Michallet<sup>1</sup>,  
Emmanuelle Pjaff<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ONCFS, CNERA Cervidés-Sanglier – Bar-Le-Duc.

<sup>2</sup> CNRS-DEPE – Strasbourg.

L'avènement récent du système de localisation satellitaire GPS (*Global Positioning System*) a profondément modifié de nombreuses pratiques de terrain au sein de l'ONCFS. Le développement des matériels utilisant cette technique a, en effet, conduit à la production de toute une panoplie de récepteurs « grand public », dont les

utilisations vont de la simple localisation à la navigation (marcheurs, voitures, bateaux) en passant par l'enregistrement de trajets. Ces matériels sont simples à utiliser, fiables et d'un coût de plus en plus réduit. Le marché « professionnel », à destination des géomètres, cartographes et autres chercheurs, a suivi la même tendance. Tous ces appareils permettent de répondre à trois questions essentielles : où, à quelle heure et à quelle vitesse ?

Alors que pour des usages professionnels, l'exactitude du GPS peut s'exprimer en centimètres, elle est de l'ordre d'une vingtaine de mètres pour les usages grand public. Cette exactitude peut toutefois être encore améliorée par une correction différentielle, soit en temps réel, soit en différé.

La très grande majorité des récepteurs GPS disposent aujourd'hui d'une mémoire permettant de stocker les informations des localisations. De plus, la connexion à un ordinateur permet l'échange de données entre les deux appareils, et les couplages avec des Systèmes d'information géographique (SIG) sont de plus en plus fréquents.

## Le système de navigation par satellites « GPS »

Développé par le ministère américain de la défense dans les années 1970, le système de localisation GPS est pleinement opérationnel depuis 1994.

## Principe de fonctionnement

(Voir aussi les encadrés 1 et 2.) Il s'appuie sur une constellation de satellites en orbite à environ 20 000 km de la Terre, dotés d'horloges atomiques et dont la position est très précisément connue à tout instant. Chaque satellite émet des ondes électromagnétiques sur deux bandes de fréquences L1 et L2. Ces signaux sont modulés par deux codes notés C/A pour L1 et P pour L1 et L2. Pour protéger l'utilisation militaire, l'exactitude intrinsèque du système peut être dégradée par l'accès sélectif (noté SA) et le cryptage du code P qui en limite l'usage aux militaires. Le SA a été supprimé en mai 2000. Cela s'est traduit par une nette amélioration de l'exactitude des localisations.

Un récepteur GPS se localise dès lors qu'il peut déterminer les distances qui le sépare d'au moins quatre satellites en

visibilité directe. En effet, mathématiquement, il faut résoudre un système de quatre équations à quatre inconnues : X, Y, Z et l'heure du récepteur, dont l'horloge est beaucoup trop imprécise. Pour déterminer les quatre distances, le récepteur mesure les temps de propagation des ondes électromagnétiques entre les quatre satellites et le récepteur. Dans un deuxième temps, il multiplie ces durées par la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques, ce qui permet d'obtenir des pseudo-distances. Ce terme indique clairement qu'il ne s'agit pas des distances réelles. Il existe en effet plusieurs sources d'erreurs dans ces calculs.

### Comment se détermine et s'exprime l'exactitude d'une localisation GPS ?

Si l'on place un récepteur GPS en un point de coordonnées connues avec

exactitude<sup>1</sup>, les localisations obtenues se distribuent aléatoirement autour de ce point. Aussi, l'exactitude ne peut être exprimée que sous forme probabiliste. Ainsi, en fonctionnement standard, 95 % des localisations GPS sont à moins de 20 m du point réel.

Le CEP (*Circular Error Probable*) est un estimateur de l'exactitude des localisations correspondant au rayon d'un cercle, centré sur le point exact et contenant, selon le cas, 50 %, 95 % ou 99 % des localisations.

Dans un test sur l'exactitude des colliers GPS, d'Eon *et al.* (2002)<sup>2</sup> montrent que 95 % des localisations se regroupent dans un cercle de 30,6 m, mais que 1 %

<sup>1</sup> - L'exactitude intègre à la fois la justesse et la fidélité.

<sup>2</sup> - D'Eon, R. *et al.* 2002. *GPS radiotelemetry error and bias in mountainous terrain*. Wildlife Society Bulletin 30(2) : 430-439.

### Encadré 1 - Comment fonctionne un collier GPS ?

Il comporte un récepteur GPS, généralement un émetteur (balise) VHF et d'éventuels capteurs complémentaires. Le fonctionnement de l'ensemble est programmé par l'opérateur avant la pose sur l'animal (fréquence des localisations GPS, horaires d'émission de la VHF, paramétrage des capteurs). L'alimentation électrique est conçue pour que la durée d'émission VHF soit nettement supérieure à celle du GPS, permettant de garder le contact avec l'animal assez longtemps pour récupérer le collier même si les batteries du récepteur GPS sont épuisées. Toutes les informations recueillies par l'appareil sont stockées dans une mémoire. Les échanges d'informations entre le collier et un ordinateur, telles que programmation ou récupération des informations stockées dans la mémoire, peuvent se faire de plusieurs façons.

#### Méthodes de transfert d'informations

- **Par liaison filaire** : Cette solution est très fiable mais nécessite de récupérer physiquement le collier pour télécharger les données enregistrées, ce qui implique donc de recapter l'animal. Des déclencheurs ont été développés récemment qui ouvrent automatiquement et libèrent le collier, que l'opérateur retrouve grâce à l'émetteur VHF. La date d'ouverture est pré-programmée par le constructeur, mais les déclencheurs les plus élaborés intègrent un dispositif radio-commandé de mise à feu, plus souple d'utilisation.
- **Par liaison radio** : la balise intègre un émetteur-récepteur qui communique avec un appareil identique porté par l'opérateur. Il est ainsi possible périodiquement de récupérer les informations stockées et de modifier la programmation initiale, aussi souvent que souhaité. Ce dispositif est extrêmement pratique, mais il souffre encore aujourd'hui de défaillances techniques et surtout alourdit de plusieurs centaines de grammes l'ensemble qui est donc réservé aux plus grandes espèces (cerfs, sangliers adultes, bouquetins mâles). Les données peuvent rester dans la mémoire et peuvent toujours être récupérées par le système filaire.
- **Par GSM** : les informations sont envoyées automatiquement ou à la demande à l'opérateur sous forme de SMS. Les déplacements sont donc connus quasi en temps réel, mais le système est très récent et on ne dispose pas de recul suffisant pour apprécier ses performances réelles. Il faut noter que la zone d'étude doit être couverte par un des opérateurs GSM terrestres pour que le système soit opérationnel.
- **Par GSM satellitaire** : c'est le système précédent utilisant la téléphonie satellitaire et qui s'affranchit donc des questions de couverture.
- **Par Argos** : le système Argos est utilisé pour transmettre les informations entre la balise et l'opérateur, via le centre de calcul Argos. Cette solution permet aussi de s'affranchir des questions de couverture par un réseau téléphonique et est donc opérationnelle partout. Signalons toutefois que ce système consomme plus d'énergie et qu'en l'état actuel, les possibilités de transmissions de données via Argos sont limitées à quelques localisations quotidiennes (de 10 à 20). Cette solution est développée depuis plusieurs années pour des applications en secteur hostile ou pour le suivi des grands migrateurs.

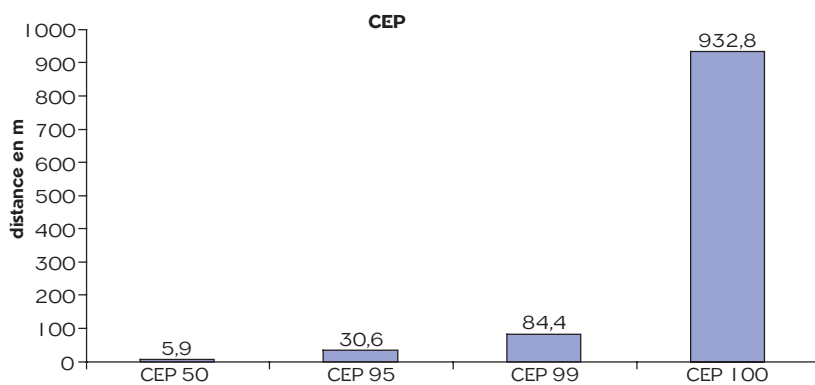
#### Autonomie des colliers GPS

L'autonomie électrique des colliers reste un réel problème technique pour les constructeurs. Les performances d'un récepteur GPS augmentent avec la fréquence des localisations (meilleure exactitude, durée réduite pour obtenir une localisation). Cependant, un récepteur GPS est très consommateur en énergie. Quand on peut changer régulièrement ses batteries, il peut fonctionner en continu et une position ou un tracé correspond en réalité à une multitude de localisations dont la « moyenne » est statistiquement très fiable. C'est le cas des applications cartographique et géométrique. Le problème est tout autre en animalier. Pour conserver la plus forte autonomie, le récepteur fonctionne le moins longtemps possible. Les constructeurs doivent donc optimiser le compromis exactitude/durée de fonctionnement en améliorant les logiciels internes de pilotage et de calcul des récepteurs GPS. Dans les premiers colliers commercialisés, le récepteur s'arrêtait dès qu'une localisation était obtenue, d'où une forte incertitude sur l'exactitude. Les appareils les plus récents réduisent cette faiblesse sans la lever complètement. Depuis quelques années, quelques constructeurs proposent des systèmes GPS-Argos équipés de mini panneaux solaires, ce qui permet de réduire la taille des batteries utilisées et par conséquent le poids total jusqu'à 60 grammes. Ces systèmes fragiles sont principalement réservés aux oiseaux de grande taille.

#### Autres contraintes de fonctionnement

L'activité des animaux suivis affecte aussi le fonctionnement du collier GPS. La position de l'antenne GPS intégrée dans le collier doit être en principe aussi proche de la verticale que possible. Or, elle varie suivant que la tête est baissée ou levée, si bien qu'elle pointe plus ou moins vers le ciel. Il semble cependant que la réduction d'efficacité soit faible sur les herbivores, mais elle peut être plus nette chez le Sanglier couché à la bauge ; le collier peut alors reposer sur le sol. Parfois, un autre animal baugé contre celui qui porte le collier peut aussi masquer complètement l'antenne.

**Figure 1 – Distribution spatiale des localisations obtenues par collier GPS autour de leur position réelle**



d'entre elles se trouve entre 84,4 et 923,8 m du point exact (figure 1).

### Principales sources d'erreurs du système « GPS »

La vitesse de propagation des ondes dans les différentes couches de l'atmosphère n'est pas constante. De plus, les distances à parcourir dans l'ionosphère (de 50 à 100 km d'altitude) et la troposphère (de 0 à 15 km), qui ralentissent la propagation des signaux, sont d'autant plus grandes que le satellite considéré est proche de l'horizon. Des algorithmes intégrés aux calculateurs des récepteurs et l'utilisation des fréquences L1 et L2 permettent de réduire sensiblement cette erreur.

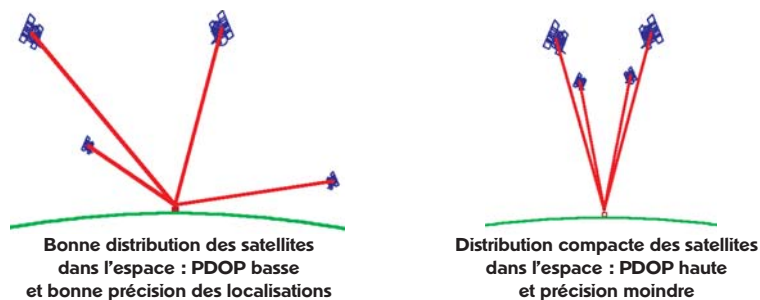
Une autre source d'inexactitude est une configuration non optimale des satellites utilisés : s'ils sont regroupés dans une même zone du ciel, l'exactitude est moins bonne que s'ils sont éloignés les uns des autres (figure 2). Connaissant cette caractéristique, les GPS calculent, pour chaque localisation, un facteur donnant une indication de l'exactitude de la localisation : la DOP (*Dilution of precision*). La DOP intègre plusieurs paramètres et on utilise le plus souvent la PDOP (position tridimensionnelle) pour filtrer les localisations et éliminer celles qui ont été obtenues avec une mauvaise configuration satellitaire. Une PDOP de 6 ou moins est considérée comme bonne. Il faut cependant noter que cette pratique n'est pas suffisante pour éliminer systématiquement les localisations aberrantes obtenues par le GPS.

### Comment peut-on améliorer l'exactitude des localisations obtenues ?

Précisons que le terme « localisation » doit être compris ici comme le résultat du

calcul évoqué précédemment, à savoir un point de coordonnées X, Y et Z. Certaines erreurs résiduelles sur ces coordonnées peuvent être réduites par la **correction différentielle**. C'est le DGPS (*Differential Global Positioning System*). Dans ce mode, le calculateur détermine alors des paramètres de corrections grâce aux données de la station de référence, dont la position est connue avec exactitude. Pour des corrections en temps réel, le récepteur GPS doit recevoir ces informations via une liaison hertzienne. Vu la complexité de mise en

**Figure 2 – Géométrie des satellites et PDOP**



### Encadré 2 GPS et Argos : deux systèmes très différents

Il ne faut pas confondre le système de localisation GPS avec le système Argos, car ils sont très différents dans la mesure où leurs principes de fonctionnement sont opposés : pour Argos, le mobile est équipé d'un émetteur et la localisation est connue aux centres de contrôle des satellites ; alors que pour le GPS, le mobile est équipé d'un récepteur lui permettant de calculer sa position.

Mis en service en 1978, Argos est un système mondial de localisation et de collecte de données par satellites dont l'utilisation est réservée à l'étude et à la protection de l'environnement de la planète. Argos permet de localiser, à l'échelle mondiale, tout mobile équipé d'un émetteur compatible, avec une exactitude de l'ordre de 150 m (au mieux, pour de la localisation animale en France, l'exactitude est en général plutôt de l'ordre du kilomètre). Il offre aussi la possibilité de collecter des données de capteurs de mesures connectés à cet émetteur.

Les deux systèmes, GPS et Argos, sont disponibles 365 jours par an et 24 heures sur 24. Enfin, l'utilisation du système GPS est gratuite, alors que celle d'Argos est payante, et cela en fonction du nombre de jours de localisations par balise. Le coût de ce service devient rapidement élevé dès lors que la durée de l'opération et le nombre de balises utilisées sont importants.

œuvre, ce sont les corrections différées qui sont le plus souvent utilisées. Les informations sont enregistrées pour une utilisation ultérieure, une fois récupérées les données du récepteur. Cette méthode de correction s'applique à chaque localisation obtenue et l'exactitude des données obtenues est alors de quelques mètres.

Note : Si on « agrège » un grand nombre de localisations obtenues par un récepteur placé sur un point donné et fonctionnant en continu, on augmente très nettement l'exactitude du positionnement du point : les coordonnées sont estimées par le barycentre des nombreuses localisations prises en compte. Les récepteurs de poche opèrent suivant ce mode.



**Chevre équipée d'un collier GPS dans la RNCFS des Bauges (Savoie).**

## Applications de la technologie « GPS » à l'étude de la faune sauvage

### Localisation de points

L'usage du GPS sur le terrain concerne en premier lieu la localisation des points, que ce soit pour un retour périodique dans le cadre de suivi d'indice (floristique, de présence...) ou pour une cartographie sur SIG. Les appareils sont nombreux pour un usage courant, avec des exactitudes théoriques de 5 à 10 m car fonctionnant en continu (voir note plus haut). L'exactitude est affectée par les causes citées plus bas (topographie, canopée, obstacles rocheux).

Pour un relevé sur un maillage préalablement établi sur SIG (maillage systématique ou points repérés par DGPS), les coordonnées sont préalablement transférées de l'ordinateur sur le récepteur GPS. Lorsqu'on est muni d'un système de navigation, ce dernier permet de cheminer rapidement d'un point à un autre sans recours à une boussole ou un topofil. Le contournement d'un obstacle, même très large, ne pose alors pas de problème. Nous l'utilisons donc régulièrement pour ces opérations de contrôle régulier. Si l'opération consiste à visiter périodiquement des points précis, il est nécessaire qu'ils soient matérialisés sur le terrain (piquet, borne de géomètre), en raison de l'inexactitude actuelle du système GPS. Mais le gain de temps lors des cheminement est considérable et permet d'approcher le but, la recherche des indices précis se faisant ensuite à vue, sans grande difficulté dans la plupart des cas. Pour un relevé de points exacts destinés à alimenter une base de données, il est préférable de recourir à la correction différentielle ultérieure.

### Cartographie des habitats

La plupart des études sur l'utilisation des habitats par les espèces sauvages que nous conduisons nécessitent des cartes numérisées des habitats, d'autant plus précises que les localisations animalières sont obtenues avec des systèmes GPS ou DGPS.

En forêt de montagnes ou dans les régions rurales vallonnées, le tracé des cartes IGN est parfois inexact. Il est alors nécessaire de rectifier la cartographie de certains chemins et pistes forestières avant de représenter les habitats qui nous

intéressent à l'aide d'appareils GPS spécifiques à la cartographie. Ces derniers sont précis, possèdent une autonomie importante (mémoire et batteries) et offrent la possibilité de renseigner de nombreuses variables descriptives sur le terrain, tout en relevant les tracés ou localisations. Au cours d'un seul passage, l'opérateur est donc à même de décrire et cartographier les différentes entités qui l'intéressent. Les données recueillies doivent être corrigées. Nous avons jusqu'à présent toujours eu recours à la correction différée.

Le couplage de ces récepteurs au SIG permet un transfert simple et fiable des données et simplifie la cartographie.

Cette technique de cartographie nécessite cependant une forte mobilisation en moyens humains. On peut aussi utiliser des ortho-photographies aériennes dont la fiabilité s'est souvent avérée équivalente à celle obtenue par DGPS pour cartographier les entités visibles, telles que des chemins, des pistes ou des limites de peuplements (canopées). Il est cependant nécessaire de revenir sur le terrain pour contrôler les caractéristiques des unités repérées. Il est d'autre part impossible de distinguer la nature de l'éventuel sous-étage présent sous les houppiers des arbres dominants.

### Suivi animalier

La localisation traditionnelle d'animaux repose sur l'utilisation d'émetteurs VHF. Largement utilisés depuis une trentaine d'années, ces appareils ont beaucoup évolué par la miniaturisation des composants, la réduction des consommations ou l'intégration de nombreux capteurs d'activité, de mortalité, de température, de pression... Ils présentent plusieurs inconvénients. L'exactitude des localisations est largement conditionnée par l'expérience de l'opérateur, la distance d'approche, le milieu de vie... Dans les meilleures conditions, il est possible de localiser les ongulés étudiés à 50 m près ; mais en pratique, l'exactitude est souvent moins bonne. Le risque de déranger l'animal étudié est un réel problème, surtout quand on opère de nuit sur des animaux en activité, parfois en milieu ouvert plus fréquenté à ces moments. La durée de travail pour obtenir une localisation limite nettement le nombre d'animaux étudiés simultanément. Le suivi en continu nécessite plusieurs opérateurs travaillant en simultané et est compliqué : en terrain plat, on peut utiliser des systèmes d'enregistrement automatique,

difficilement envisageables en terrain plus accidenté. Sans système automatique, la fréquence de localisation est fortement réduite. Enfin, l'animal doit être accessible par l'opérateur, ou tout au moins approchable à une distance réduite, pour garantir une localisation fiable.

Tous ces inconvénients n'existent pas avec les systèmes GPS, ce qui explique leur grand intérêt. Ils sont automatiques, programmables, opérationnels en permanence, précis, d'un usage aujourd'hui simplifié grâce à des logiciels de plus en plus conviviaux (voir l'**encadré 1**). On dispose aujourd'hui de colliers pesant moins de 300 grammes, autorisant leur utilisation sur les petits ongulés comme le Chevreuil et sur les carnivores tels que le Loup ou le Lynx. Il est possible de fabriquer des dispositifs plus légers encore, en réduisant la taille des batteries, donc en réduisant l'autonomie.

### Contraintes liées à l'utilisation du GPS en milieu naturel

#### Le relief

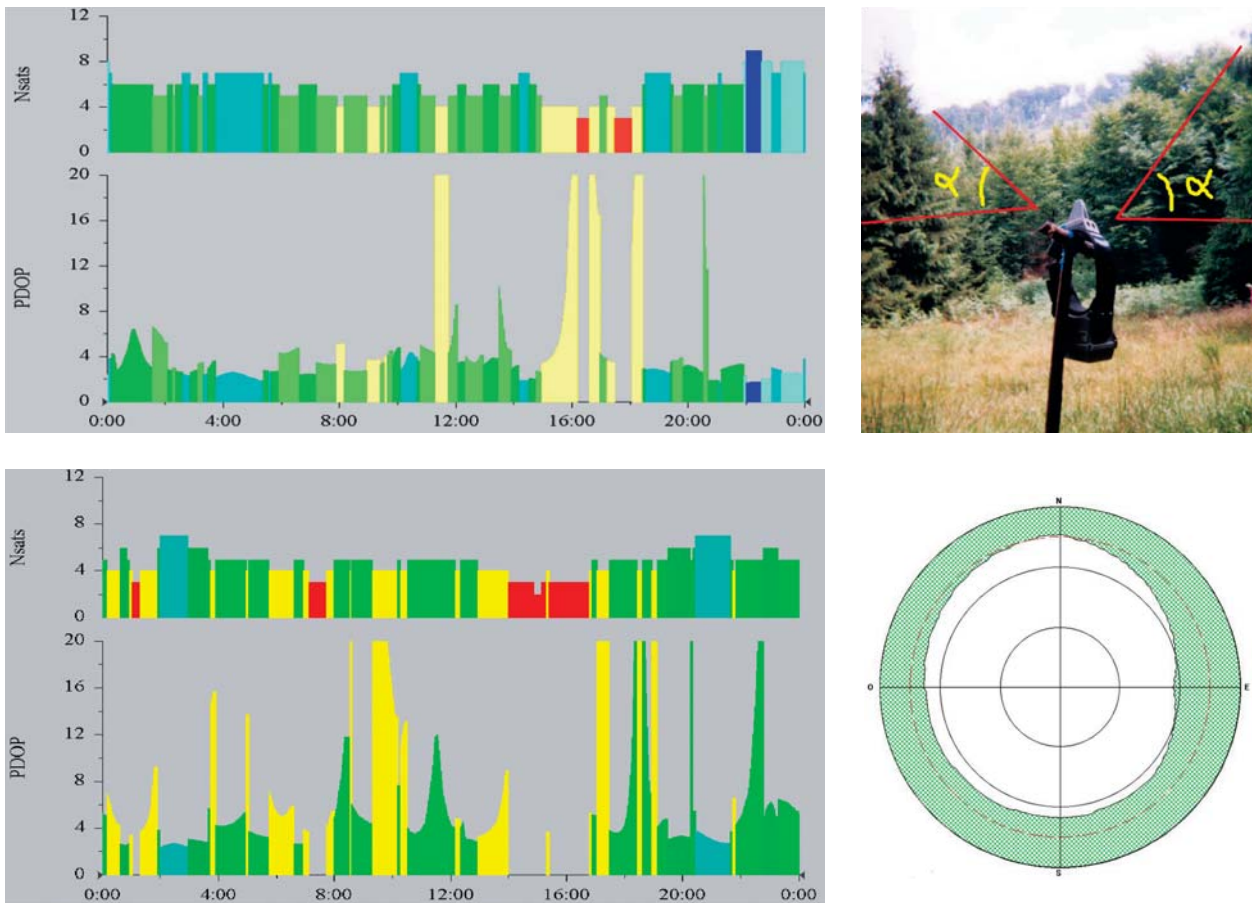
Dans sa configuration optimale, le GPS est conçu pour que le récepteur capte quatre satellites au moins. La topographie est une limite importante du système GPS. En réduisant la portion apparente de ciel, le relief affecte directement la probabilité qu'au moins quatre satellites soient visibles en direct. Cette réduction physique de l'espace visible a une autre conséquence sur l'exactitude de la localisation, liée cette fois au fait que les satellites visibles sont nécessairement proches les uns des autres. La DOP (*dilution of precision*) est donc généralement dégradée.



M. Corillon

Femelle de Chamois équipée d'un collier GPS

**Figure 3 – Influence du relief sur le nombre de satellites visibles et la PDOP correspondante pour une journée donnée**  
(la géométrie spatiale des satellites se décale quotidiennement d'environ 4 min)



L'influence du relief est illustrée par la **figure 3**. A l'aide d'un logiciel approprié (*Path finder, Quick plan*), il est possible de prédire l'influence du confinement topographique du récepteur sur le nombre de satellites visibles et la PDOP. Le masque de confinement (cercle à droite) est

obtenu par relèvement de l'élévation (angle  $\alpha$  sur la photo) sur 360°. Dans cet exemple, l'est est bouché à 60°, tandis que le nord est plus dégagé (85°). Sans ce confinement, quatre satellites au moins sont visibles durant toute la journée, à l'exception de quelques minutes vers 16h00 et 18h00. De plus, la PDOP est inférieure à 6 durant la grande majorité de la journée, assurant des localisations de qualité. Dans ce confinement, la situation change sensiblement et on observe d'une part, que la localisation n'est plus possible durant une période plus longue et d'autre part, que la qualité des localisations est largement affectée.

#### **Le couvert végétal**

La présence de végétation est une autre limite à l'usage du GPS. Les troncs des gros arbres et les plus grosses branches font obstacle aux signaux émis et peuvent réduire directement le nombre de satellites « visibles ». Le feuillage dense atténue les signaux et affecte ainsi les performances du système.

Ces deux contraintes peuvent affecter sérieusement les résultats finaux. En effet,

les différentes études nécessitent que l'animal puisse être localisé dans tous les habitats qu'il fréquente. Si la probabilité d'obtenir une localisation dans certains habitats (fermés ou très encaissés) est plus faible que dans d'autres, le résultat brut des analyses surestimerait l'utilisation des habitats où le taux de réussite de localisation est le plus fort. On peut contourner cette difficulté en adaptant la programmation (doublant ou triplant les localisations afin que le risque de n'avoir aucune localisation soit réduit). Il est aussi possible de recourir à la modélisation du taux de réussite des localisations sous ces contraintes et de corriger ensuite les résultats enregistrés.

#### **Quelques exemples d'utilisation de la technologie GPS dans les projets de recherche menés par l'ONCFS**

Les premiers colliers GPS ont été utilisés à titre expérimental sur cerfs et biches à La-Petite-Pierre entre 1996 et 2001. Ce n'est que depuis 2002 que leur usage a



dans la RNCFS des Bauges (Savoie).

été généralisé dans nos travaux. Plusieurs programmes de la Direction des études et de la Recherche (DER) de l'ONCFS concernant l'étude de l'utilisation de l'habitat reposent actuellement sur leur utilisation. Ils concernent le Cerf élaphe (La-Petite-Pierre), le Chevreuil (Chizé, Trois-Fontaines, La-Petite-Pierre et Les Bauges), le Chamois (Bauges), le Mouflon (Caroux et Bauges), le Bouquetin (Belledonne) et le Sanglier (Arc-en-Barrois). Les ours relâchés dans les Pyrénées seront suivis par GPS.

Les colliers que nous avons utilisés sur les grands ongulés sont des GPS 1000 et 4400, ainsi que des 2200 et 3300 (voir photo d'ouverture) fabriqués par la société canadienne Lotek. Les 1000 et 2200 sont les matériels de première

génération, fabriqués entre 1996 et 2002 ; les suivants sont les déclinaisons récentes de ces produits. Les 2200 et 3300 fonctionnent par liaison filaire ; les 1000 et 4000 intègrent une liaison radio. L'autonomie théorique des batteries actuelles est de 6 000 à 12 000 localisations suivant les modèles. La durée totale de fonctionnement du collier dépend donc de la programmation retenue pour répondre à la question scientifique posée.

Nous présentons ci-après trois opérations représentatives. Leur objet est de montrer l'intérêt et l'adaptation de cette technique pour trois projets d'étude dont les résultats, en cours d'analyse, feront l'objet de publications scientifiques et de vulgarisation dans les années à venir.

## I. Suivi du Bouquetin sur la Réserve de Belledonne

Les études sur l'utilisation de l'habitat du Bouquetin des Alpes se sont appuyées jusque dans les années 2000 sur le suivi d'animaux marqués de façon optique (bagues auriculaires ou colliers de couleur), ou bien grâce aux émetteurs VHF. L'utilisation de balises GPS permet un niveau d'investigation bien supérieur. Vingt-huit bouquetins, capturés dans la Réserve de chasse et de faune sauvage de Belledonne (Isère), ont été équipés entre 2000 et 2003 pour étudier leurs déplacements et leur utilisation du milieu alpin. La récupération des colliers et des données qu'ils contiennent est pratiquement achevée à cette date.

Ce nouvel outil permet de connaître avec exactitude le cheminement des animaux entre leurs différents habitats saisonniers. Les conditions difficiles d'étude liées au milieu montagnard (relief accidenté, déplacements limités en période hivernale...) ne sont plus alors des obstacles au recueil de données.

Par ailleurs, la description des milieux utilisés est également possible à partir des documents cartographiques disponibles (cartes de végétation, modèles numériques de terrain (MNT)...).

L'amélioration de nos connaissances sur la biologie et l'écologie de cette espèce, acquises en partie grâce à ce nouvel outil de suivi, va permettre de comprendre les stratégies de déplacements entre les catégories d'âges et de sexes, et d'aider au choix de sites potentiels de réintroduction.

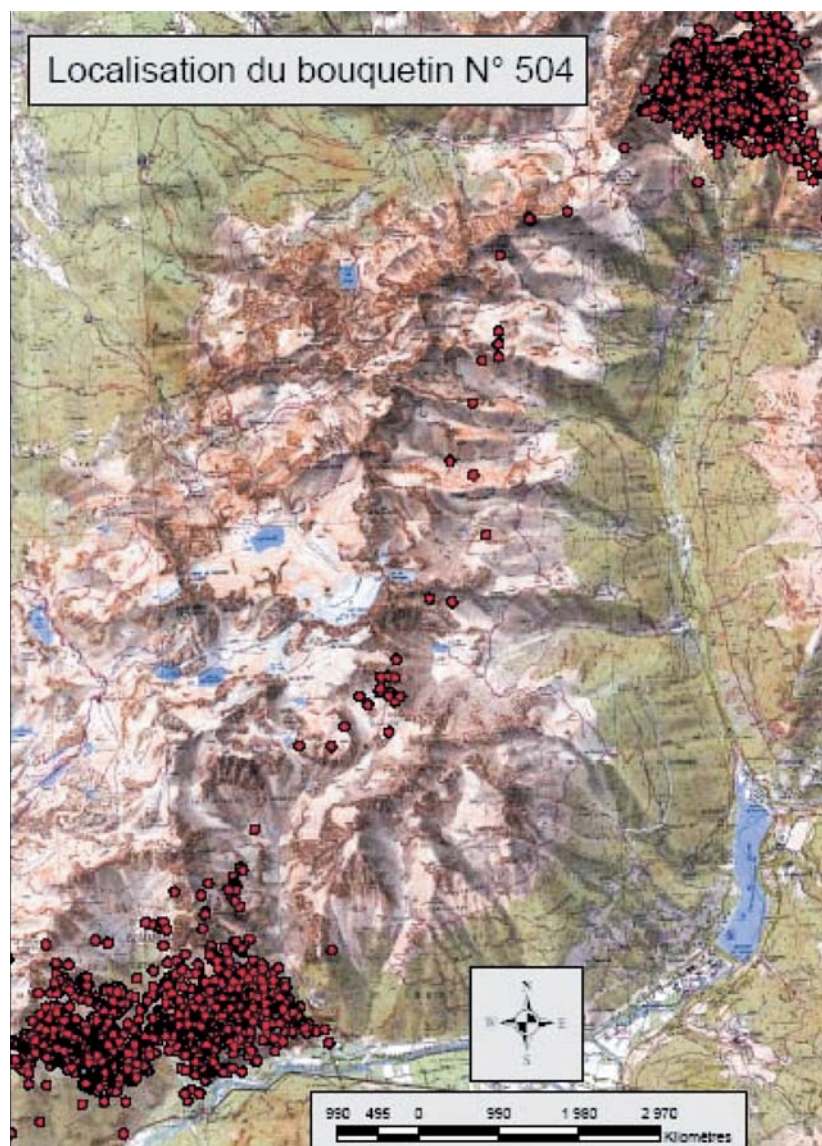
L'exemple présenté sur la **figure 4** montre le cas d'un mâle adulte de 7 ans. Ce bouquetin utilise un domaine vital de 2000 ha, réparti selon deux quartiers saisonniers : un espace plutôt utilisé au printemps et en été, distant de près de 20 km de son habitat d'hiver. Le changement de quartier s'est effectué sur trois journées entre le 2 et le 4 novembre 2001.

## 2. Utilisation des habitats par le Cerf de jour et de nuit à La-Petite-Pierre

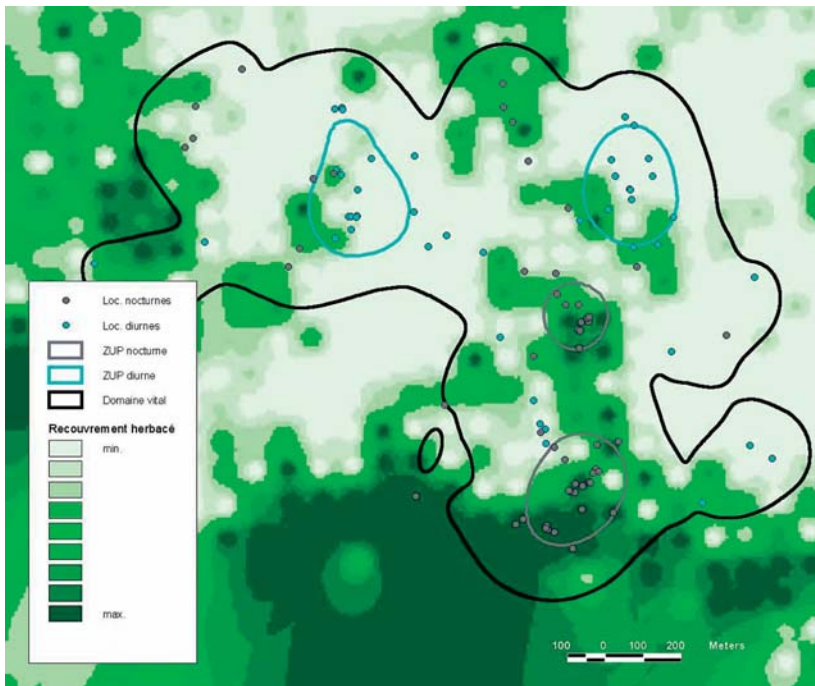
Depuis deux ans, des biches et des chevrettes sont suivies simultanément sur le site d'étude de La-Petite-Pierre (67), afin de déterminer comment ces deux espèces sympatriques se partagent les ressources. Les différentes phases de cette étude bénéficient largement de la technologie GPS.

**Figure 4 – Exemple de suivi d'un Bouquetin par GPS durant un an dans la Réserve de Belledonne**

(chaque point rouge représente une localisation)



**Figure 5 – Suivi GPS de l'utilisation de l'habitat par des biches à La-Petite-Pierre**



Le principe des études sur la sélection de l'habitat est de mettre en relation la distribution spatiale des animaux et la répartition des ressources au sein de leur habitat. Nous avons pour cela équipé plusieurs individus de chaque espèce avec des colliers GPS, programmés pour obtenir des localisations de jour comme de nuit.

Parallèlement, nous avons réalisé un inventaire systématique des ressources alimentaires (floristique) et des ressources de protection (visibilité) disponibles sur les zones fréquentées par les animaux équipés en s'aidant, pour le cheminement, d'un récepteur GPS de poche. En tout, plus de 2 700 ha ont été inventoriés. D'autres éléments susceptibles d'influencer l'utilisation de l'habitat par les cervidés ont également été cartographiés à l'aide d'un récepteur GPS de cartographie, notamment des routes et des enclos de régénération.

La **figure 5**, réalisée grâce à l'intégration des données récoltées sur le terrain dans un SIG, illustre la différence de sélection de l'habitat par les biches. Le domaine vital printanier et les zones utilisées préférentiellement (ZUP) de jour et de nuit par une biche sont délimités sur un fond représentant le recouvrement herbacé. Au sein de leur domaine vital, les biches utilisent durant la journée, les zones à faible recouvrement herbacé (milieux

fermés) où elles trouvent refuge. De nuit, elles sortent dans les zones ouvertes où elles trouvent de la végétation herbacée, qui constitue environ un tiers de leur régime alimentaire toute l'année.

### 3. Etude du comportement des chevrettes à Trois-Fontaines à l'aide de la trajectométrie

L'exploitation des ressources par les animaux à l'intérieur de leur domaine vital est

peu connue, l'animal évoluant dans un milieu relativement fermé et adoptant un comportement discret. Il y a quelques années, la localisation par radio-pistage permettait de décrire la composition des domaines vitaux en termes d'habitats utilisés. Par contre, la compréhension des mécanismes impliqués nécessite un travail plus fin. Le GPS permet aujourd'hui une étude des trajets au sein du domaine vital. Dans l'étude conduite à Trois-Fontaines, les colliers GPS ont été programmés pour enregistrer une localisation et un indice d'activité toutes les 5 minutes, afin de pouvoir déterminer les trajets journaliers. L'activité a pu être déterminée par les capteurs d'activité intégrés dans les colliers. Les suivis ont eu lieu durant les mois de septembre à décembre 2003, et en mai et août 2004.

Dans notre étude, le « *First Passage Time* » (Fauchald & Tveraa, 2003)<sup>3</sup> permet de localiser des « *patches* » d'activité le long du trajet et de calculer le temps passé par un individu dans chacun d'eux. Ce temps dépend de la taille de la zone traversée ainsi que de la vitesse et la tortuosité du déplacement à l'intérieur de la zone (Johnson *et al.*, 1992).

A Trois-Fontaines, sur chaque trajet, on observe de 1 à 3 *patches* dont la surface moyenne avoisine 900 m<sup>2</sup> (rayon moyen de 48,2 ± 15,6 m). Le temps de

<sup>3</sup> - Fauchald, P. & Tveraa, T. 2003. Using first-passage time in the analysis of area restricted search and habitat selection. *Ecology* 84 : 282-288.



**Le Cerf « Jean-Pierre », équipé d'un collier GPS 1000 dans la RNCFS de la Petite Pierre.**

Figure 6 – Représentation de deux trajets (en janvier et décembre) d'une chevrette dans le TEE de Trois-Fontaines



présence dans chaque *patch* est en moyenne de  $4,6 \pm 3,01$  heures.

L'examen des trajets enregistrés sur les même chevrettes en 2003 et 2004 montre une grande fidélité aux *patches* identifiés.

Parallèlement, les capteurs des colliers montrent une activité au sein des *patches* inférieure à celle observée le long du trajet (36 % contre 45 %). Ces premiers résultats laissent supposer que les *patches* sont des lieux d'alimentation et de repos.

### Perspectives

L'intérêt majeur des systèmes GPS est la grande facilité de mise en œuvre et le développement de produits spécifiques au suivi animalier de plus en plus petits. Ils sont donc aujourd'hui des outils essentiels pour la réalisation des études sur l'utilisation de l'habitat des espèces forestières ou de montagne. Cependant, le coût de ces appareils GPS est actuellement une limite pratique importante à leur usage. Notons cependant qu'une fois posés, ils sont autonomes et le remplacement des batteries permet de prolonger leur durée d'utilisation durant deux à trois années avant révision.

Par ailleurs, les appareils GPS ne remplacent pas les colliers radio, toujours adaptés pour de nombreux suivis : étude de la prédation des ongulés par le Loup, délimitation grossière des domaines vitaux saisonniers, étude de la dispersion de jeunes individus...

Même s'il existe encore des sources d'inexactitude dans les localisations obtenues et des contraintes techniques d'utilisation, le GPS permet de réaliser aujourd'hui des travaux encore impossible il y a une dizaine d'années.

Le développement futur du système européen GALILEO constituera à cet égard une avancée technique très importante. Ce système fournira en effet une indica-

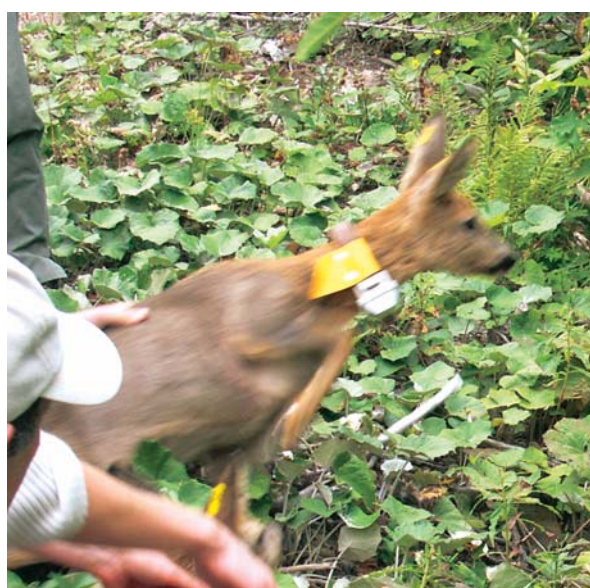
tion de l'exactitude de chaque localisation grâce à l'application EGNOS. Il doublera par ailleurs le nombre de satellites disponibles et augmentera nettement les performances de la localisation satellitaire. Il reste toutefois que cette embellie suppose que les constructeurs intègrent les deux systèmes dans les récepteurs pour le suivi animalier.

### Remerciements

Nous souhaitons remercier tous les étudiants qui ont grandement participé aux premiers tests des appareils GPS de cartographie. Nous nous souviendrons tout particulièrement des pionniers Arnaud et Nathalie...

La capture et le marquage d'animaux mobilisent toujours un grand nombre de participants. Il est impossible de les nommer ici mais que tous soient associés à ces remerciements. Nous savons pouvoir compter sur de nombreux passionnés, bénévoles et agents de l'ONCFS affectés en SD, BMI et DER et de l'ONF.

Enfin, les premières expériences d'utilisation de GPS ont eu lieu sur la RNCFS de La-Petite-Pierre, gérée en collaboration avec l'ONF que nous tenons à associer à ces résultats. Les chasseurs facilitent aussi notre travail. Qu'ils sachent que leur assistance est toujours très appréciée ! ■



Lâcher de la chevrette « Jeanne » dans la RNCFS des Bauges.

T. Chevrier