

# FORÊT • NATURE

OUTILS POUR UNE GESTION  
RÉSILIENTE DES ESPACES NATURELS

## Tiré à part de la revue **Forêt.Nature**

La reproduction ou la mise en ligne totale ou partielle des textes  
et des illustrations est soumise à l'autorisation de la rédaction

[foretnature.be](http://foretnature.be)

**Rédaction** : Rue de la Plaine 9, B-6900 Marche. [info@foretnature.be](mailto:info@foretnature.be). T +32 (0)84 22 35 70

Abonnement à la revue Forêt.Nature :  
**librairie.foretnature.be**

---

Abonnez-vous gratuitement à Forêt.Mail et Forest.News :  
**foretnature.be**

Retrouvez les anciens articles de la revue  
et d'autres ressources : **foretnature.be**



© FW

# LE FONCTIONNEMENT DU GPS

*Confronté quotidiennement aux problèmes de positionnement, de mesure de surface, de cartographie, etc., le forestier a rapidement perçu l'intérêt que pouvait présenter la technologie GPS dans de nombreux domaines dont celui de l'aménagement de ses forêts. Cependant son enthousiasme fut initialement tempéré par quelques limites d'utilisation inhérentes au milieu forestier. Relief et surtout couvert forestier constituaient des obstacles majeurs à la bonne réception des informations provenant des satellites.*

Aujourd'hui, suite aux évolutions technologiques des récepteurs, la qualité de la réception GPS s'est fortement améliorée. Moyennant l'utilisation d'un matériel relativement perfec-

tionné et le respect de quelques règles de travail, il est à présent possible de tirer de la technologie GPS des informations dont la précision suffit amplement aux exigences de l'aménageur.

C'est pour bien comprendre les possibilités et les limites d'utilisation du GPS en forêt, que nous abordons ici les grands principes de son fonctionnement.

## LES COMPOSANTES DU SYSTÈME

La base du système GPS est constituée d'une série de 24 satellites NAVSTAR circulant autour de la terre à une altitude d'environ 20 000 km. Ceux-ci émettent en permanence des signaux sur deux fréquences, l'une d'entre elles

Le système GPS, de l'anglais Global Positioning System, est un système de positionnement par satellite conçu à la base à des fins militaires et qui est devenu aujourd'hui un outil incontournable pour la navigation civile. Il permet de connaître, en n'importe quel point du globe et à n'importe quel moment, l'heure, la position et la vitesse d'un récepteur.

Comment fonctionne le GPS ? Quelles sont ses qualités et ses limites ? Quelles utilisations peut-on en faire dans le domaine forestier ? Quel modèle choisir ? Voici quelques-unes des questions auxquelles le présent cahier technique tente de répondre. Il est par ailleurs complété par un article présent dans la revue et touchant à l'utilisation du GPS dans l'étude de l'éthologie du grand gibier en région wallonne.

étant réservée à des fins militaires, l'autre étant exploitable pour une utilisation civile.

Les 24 satellites sont répartis de telle façon qu'à chaque instant 4 à 8 d'entre eux soient bien visibles (élévation de minimum 15° par rapport à l'horizon) et ce, quel que soit l'endroit où l'on se trouve sur terre.

Le récepteur GPS constitue pour sa part l'outil de l'utilisateur. Il s'agit d'un appareil pesant de quelques centaines de grammes à quelques kilos et dont le prix se situe, selon les modèles, entre quelques milliers et quelques centaines de milliers de francs voire de l'ordre du million. Ce récepteur capte les informations émises par les satellites et, sur base de celles-ci, détermine sa position (longitude, latitude et éventuellement altitude). Par mesures successives, il peut également déterminer sa vitesse de déplacement, sa direction, etc.

## LE FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME

Le principe de fonctionnement du GPS repose sur le calcul de la position

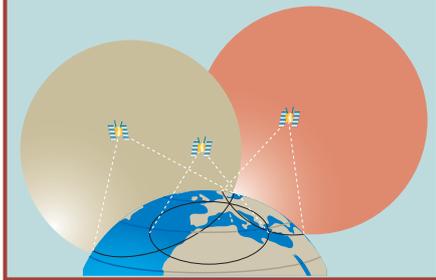
d'un point par triangulation. Ainsi, pour se situer dans l'espace, le récepteur considère la *position* de différents satellites (théoriquement 3 ou 4) ainsi que la *distance* qui le sépare de chacun de ceux-ci. Sur base de cela, il peut calculer ses coordonnées géographiques et son altitude (voir encart).

### MESURE PAR TRIANGULATION

La position d'un point sur la terre se calcule par les mesures de distance entre ce point et plusieurs satellites dont les positions sont connues précisément. Imaginons un instant que la distance qui sépare un satellite de notre point représente le rayon d'une sphère ayant pour centre ce satellite. La prise en compte de ce seul satellite renseigne donc déjà une possibilité d'emplacement du point égale à toute la surface de la sphère entourant le satellite.

Les différentes distances qui séparent les autres satellites de notre point forment également autant de sphères.

Si nous prenons à présent l'intersection d'une de ces sphères avec la terre, notre point pourra se situer sur le cercle formé par l'intersection des deux. Rajoutons encore une sphère et nous réduisons encore davantage les possibilités. Ainsi de suite, en rajoutant des sphères, on réduit le nombre de possibilités de points et on précise encore davantage la position.



La *position* des satellites du système GPS est connue avec une grande précision. D'une part, ceux-ci sont sur des orbites de haute altitude, très stables et symétriques et d'autre part ils font l'objet d'observations régulières : on mesure deux fois par jour leurs altitude, coordonnées et vitesse. Ces informations leur sont transmises et, à leur tour, les satellites en font part aux récepteurs GPS.

La *distance* séparant un récepteur GPS des satellites dont il se sert pour calculer sa position peut être mesurée de deux façons différentes :

- ◆ le récepteur évalue le temps de parcours du signal émis par le satellite

et le transforme en distance satellite-récepteur (mesure sur le code) ;

- ◆ le récepteur décompose la distance qui le sépare du satellite en un nombre entier de longueur d'onde et en une fraction de longueur d'onde (mesure sur la phase).

La mesure sur base de la longueur d'onde est plus précise et permet d'obtenir un positionnement avec une marge d'erreur de l'ordre du centimètre. Seuls les appareils « haut de gamme », qualifiés également de « géodésiques », proposent ce système de calcul.

Remarquons néanmoins que l'utilisation de tels appareils nécessite une réception continue des signaux ce qui, en forêt, étant donné le couvert, peut faire défaut.

La plupart des GPS proposent la mesure sur code. Elle offre une précision, en utilisation normale, jusqu'à 3 à 5 mètres. En effet, il est possible d'obtenir une précision plus importante avec ce type d'appareil en augmentant, par exemple, le temps de stationnement.

Théoriquement, la réception de 3 signaux permet un positionnement en deux dimensions, le quatrième signal permet de calculer également l'altitude.

## LES PROBLÈMES DE PRÉCISION

Extrêmement performant et précis dans des conditions idéales d'utilisation (terrain découvert et nombreux satellites répartis de manière homogène autour du récepteur), le système GPS peut s'avérer nettement moins précis dans des conditions peu favorables comme... en forêt ! Dans ce cas, des erreurs de plusieurs dizaines de mètres, incompatibles avec certains objectifs, sont à craindre si l'on ne prend pas les précautions d'usage.

Il est dès lors indispensable de bien connaître les différentes imprécisions qui peuvent affecter une mesure GPS, leurs origines, leurs échelles et la manière de les corriger ou de les minimiser.

### Les erreurs systématiques

Les erreurs systématiques sont inhérentes à la technologie même du GPS : il s'agit principalement d'imprécisions

sur les positions des satellites, sur la coordination des horloges des satellites et des récepteurs ainsi que des effets atmosphériques rencontrés lorsque les signaux traversent l'ionosphère et la troposphère. Cumulées, ces erreurs induisent une imprécision sur la mesure d'environ 12 à 15 mètres.

Pour faire face aux erreurs systématiques de la mesure sur code on a recours au *mode différentiel* (dGPS). Ce mode dGPS repose sur l'idée que les erreurs induites par le système sont identiques pour deux mesures simultanées calculées à partir d'une même série de satellites. Il s'agit alors d'estimer l'écart entre la mesure fournie par un récepteur statique (appelé station de base) localisé en un point et les coordonnées de ce point connues avec grande précision. Le facteur de correction ainsi obtenu est ensuite utilisé pour calculer la position du récepteur sur le terrain. L'erreur variant continuellement, elle doit être recalculée pour chaque instant de mesure.

Les mesures en mode dGPS réduisent en général l'effet des erreurs systématiques à l'ordre du mètre (en fonction du récepteur utilisé et de la distance entre la station de base et le récepteur mobile).

Pratiquement, la correction différentielle est intégrée dans le calcul, soit *a posteriori* après la campagne de mesures sur le terrain, soit en temps réel. Dans ce cas, la station de base enregistre et envoie, par l'intermédiaire d'un signal radio, les corrections obtenues pour chaque satellite au fur et à mesure qu'elle reçoit les données. Ces corrections sont reçues par le GPS sur le terrain et directement appliquées au calcul de la position mesurée.

La correction en temps réel n'a que peu d'intérêt dans le cas de la levée de points mais peut s'avérer indispensable pour de la navigation de précision (recherche de bornes géodésiques...).

### Les erreurs locales

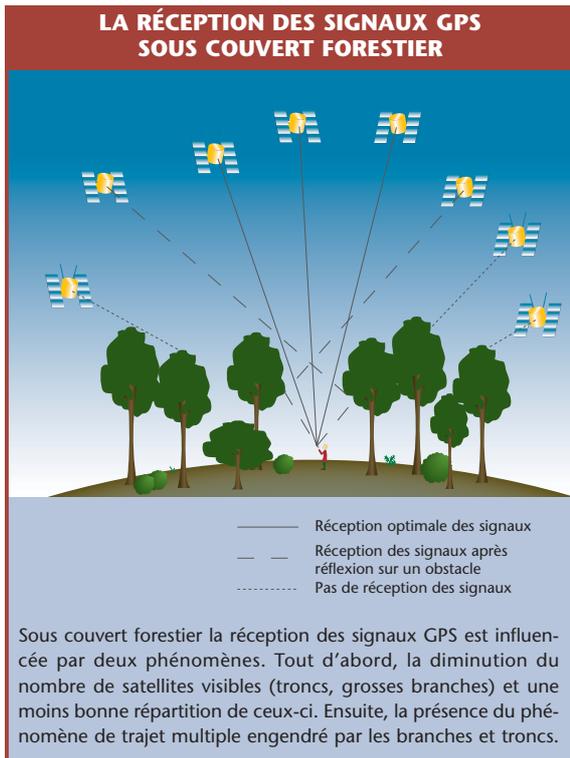
Aux erreurs de type systématique viennent s'ajouter les erreurs dites « locales » qui sont liées à un environnement particulier. Il s'agit du *trajet multiple* ainsi que du *nombre et de la disposition des satellites visibles*. Ces erreurs ne peuvent pas être éliminées par la correction différentielle mais par l'uti-

lisation d'un récepteur à hautes performances technologiques et/ou le choix d'une bonne période de mesure.

## Le nombre de satellites visibles et leur disposition

En conditions idéales, le récepteur GPS reçoit les signaux de nombreux satellites répartis régulièrement autour de l'utilisateur. Par recouplement, les différentes informations reçues par les satellites se complètent pour atteindre la précision maximale.

Malheureusement le nombre de satellites visibles ou utilisables est souvent limité au strict minimum. Soit parce que leur disposition est telle, soit parce que la topographie du milieu et/ou le couvert ne permettent pas au récepteur d'entrer en contact avec l'ensemble de ceux-ci.



### Le trajet multiple

Le trajet multiple est un phénomène constaté lorsque le signal du satellite est réfléchi par un obstacle proche c'est-à-dire lorsque le signal arrive au récepteur après avoir suivi un autre chemin que le chemin direct. Il s'ensuit une surévaluation de la distance séparant le satellite du récepteur. Cela se produit fréquemment en forêt étant donné la présence de nombreux troncs, branches et feuillages.

Le trajet multiple affecte surtout les mesures sur le code et peut donner lieu à des erreurs de quelques dizaines de mètres ; il est beaucoup moins important pour la mesure sur la phase.

Comme il n'existe pas de modélisation de cet effet, la seule solution est de s'en affranchir par :

- ◆ le choix de la station en évitant les surfaces réfléchissantes ;
- ◆ le choix d'antennes munies d'un plan absorbant, à large bande et équipées de filtres digitaux ou qui traitent la polarisation du signal ;
- ◆ le choix des satellites, les « plus bas » étant plus sensibles au trajet multiple ;
- ◆ le choix de récepteur GPS « moyenne gamme » proposant des algorithmes spécifiques filtrant les réceptions parasites.

Dans certains cas aussi, l'utilisateur se refuse à prendre en compte certains satellites parce que l'angle qu'ils forment avec la terre est à l'origine d'erreurs importantes. Ainsi, on ne tient généralement pas compte des satellites ayant une inclinaison inférieure à 15°.

Rajoutons enfin que la géométrie de distribution des satellites autour de l'utilisateur pourra également influencer la précision des mesures. En effet, compte tenu des incertitudes liées aux différentes erreurs qui influencent le signal, la portée de celui-ci s'apparente à une bande de largeur variable. L'intersection des signaux n'est donc pas un point mais une « boîte » dont le volume s'agrandit pour certains angles. On parle alors du phénomène de « dilution de précision ». Pour traduire cet effet, on utilise la PDOP qui est un « coefficient d'affaiblissement de la précision du résultat de positionnement instantané » pour la position en trois dimensions.

Pour remédier aux problèmes du nombre et de la disposition des satellites, l'utilisateur aura soin de préparer sa mission en déterminant les périodes de la journée qui lui permettront de capter les signaux d'un maximum de satellites. Il lui suffit pour cela de consulter les abaques que lui fournissent des logiciels ou qui sont dispo-

nibles sur internet, par exemple. Ces abaques calculent, pour un point donné (coordonnées, pente éventuelle) et pour un degré de précision déterminé, les plages horaires favorables à la prise de mesures.

Remarquons enfin que la précision des mesures n'est pas affectée de manière significative par les conditions atmosphériques (nuages, brouillard, neige, etc.).

### Les erreurs volontaires

Rappelons pour mémoire que jusqu'en mai 2000, le département de la Défense des États-Unis, à l'origine du système NAVSTAR, introduisait des dégradations volontaires du signal pour des questions de sécurité militaire.

## LE GPS EN FORÊT

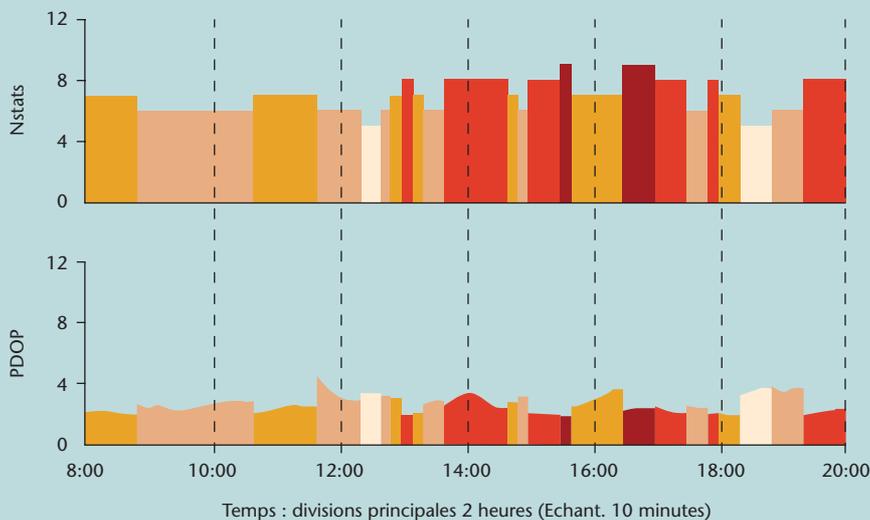
L'utilisation en forêt du système GPS est sujette à des difficultés de réception du signal en raison de la structure hétérogène de la forêt faite de troncs, de branches et de feuilles. L'influence de cette structure sur la qualité du signal est fonction de la composition, de l'âge, de la densité et du stade phénologique du peuplement. Néanmoins, moyennant la prise de précautions méthodologiques et en particulier le choix d'une configuration optimale de satellites, l'utilisation du système GPS est opérationnelle dans nos forêts. Les conditions propices à une réception correcte des données spatiales se retrouvent à raison de 5 heures en moyenne par jour.

Comme nous l'avons déjà signalé des erreurs peuvent être éliminées par la correction différentielle (dGPS). Ce sont les erreurs systématiques qui induisent des décalages de 12 à 15 mètres. En forêt, en dGPS, une précision horizontale de l'ordre de 1 à 5 mètres peut être obtenue. Toutefois, le relief accidenté et la mauvaise couverture des zones forestières par les antennes radio limitent fortement son utilisation en temps réel. Les alternatives opérationnelles en temps réel reposent sur le réseau GSM ou un satellite de télécommunication tout aussi coûteux. Dès lors, une précision de l'ordre de 1 à 5 mètres ne peut être obtenue que par traitement *a posteriori*.

## ÉVOLUTION DU NOMBRE DE SATELLITES VISIBLES ET DU PDOP LE 9 OCTOBRE 2001

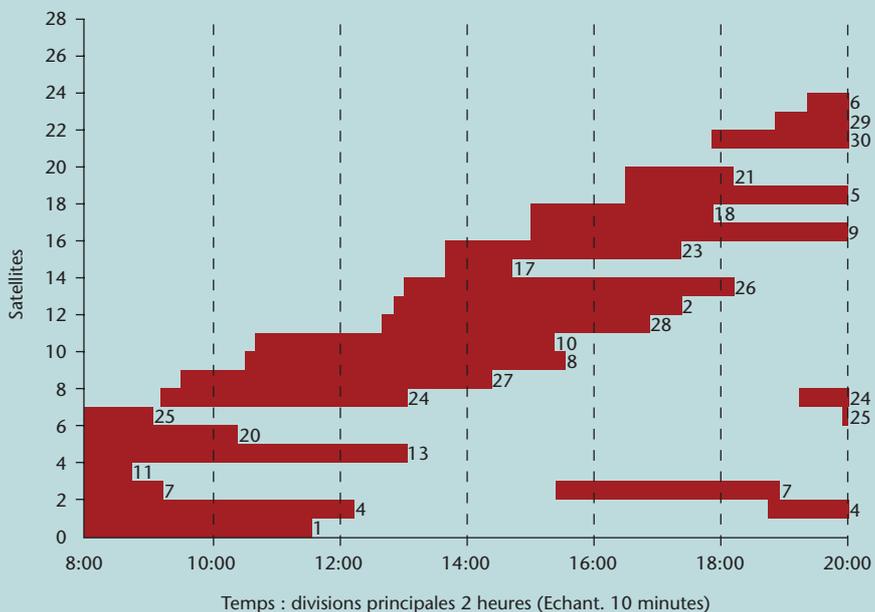
### Satellites

Points : Brussels Lat 50:11:0 N Lon 4:42:0 E Almanach : ALMANAC.SSF 01/10/01  
 Date : Mardi 09 Octobre 2001 Seuil d'élévation 15 (deg) Fuseau horraire 'Belgique Heure ete' 2:00  
 28 satellites considérés : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 13 14 15 17 18 20 21 22 23 24 25 26  
 27 28 29 30 31



### Satellites

Points : Brussels Lat 50:11:0 N Lon 4:42:0 E Almanach : ALMANAC.SSF 01/10/01  
 Date : Mardi 09 Octobre 2001 Seuil d'élévation 15 (deg) Fuseau horraire 'Belgique Heure ete' 2:00  
 28 satellites considérés : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 13 14 15 17 18 20 21 22 23 24 25 26  
 27 28 29 30 31



Le récepteur GPS détermine sa position en captant les signaux des satellites en orbite autour de la terre. Suivant leur nombre et leur position dans le ciel, la réception se fera plus ou moins correctement. Un nombre minimal de 4 satellites disponibles est requis pour un positionnement en 3D.

Des logiciels existent, qui prévoient, pour une date et une heure précise, la position de chacun des satellites.

Le premier graphe indique le nombre de satellites disponibles à chaque moment de la journée, le mardi 9 octobre 2001 à Bruxelles. Le deuxième indique la qualité de la réception globale. Plus le PDOP est bas, meilleure sera la réception des signaux satellites. Cette qualité dépend essentiellement de la position des satellites dans le ciel. Enfin, le dernier graphe présente la disponibilité de chacun des satellites.

Mais à ces erreurs s'ajoutent les erreurs « locales » qui peuvent être nombreuses en forêt : le trajet multiple, le nombre et la position relative des satellites. Cumulés, ces phénomènes peuvent, dans certains cas, aboutir à des erreurs de positionnement de l'ordre de 75 mètres. Ces erreurs ne peuvent être éliminées par la correction différentielle, elles ne peuvent être limitées que par l'utilisation d'un récepteur d'une bonne qualité technologique et par le choix d'un bon stationnement.

### Quel GPS pour quel usage ?

Étant donné le prix croissant d'un GPS en fonction de ses qualités, il est des questions importantes qu'il faut se poser lorsque l'on souhaite s'équiper. Il s'agit principalement du niveau de précision que l'on souhaite atteindre et de la nécessité de disposer ou non de cette précision en temps réel. Sachant que ce sont principalement ces deux facteurs qui déterminent les prix d'un récepteur, on y prêtera l'attention nécessaire.

On peut considérer que le dGPS (erreurs < 5 mètres) s'impose dans :

- ✗ les travaux de cartographie (limites de parcelles, zones de régénération naturelle et de reboisement, chemins forestiers, sentiers, etc.) ;
- ✗ le positionnement de points de repère pour des levés cartographiques classiques (théodolite, boussole) ;
- ✗ le positionnement d'arbres, de sites remarquables, etc.

Par contre, le GPS standard (erreur de 10 à 15 mètres) convient pour :

- ✗ la navigation pour l'identification sur le terrain de parcelles, d'arbres identifiés en préalable à partir de photographies aériennes ou d'images satellites à haute résolution spatiale ;
- ✗ le report sur le terrain de points de coordonnées cartographiques connues, etc.

Enfin, des mesures GPS réalisées sur le code ou même sur la phase, hors forêt, peuvent servir aussi pour le calage des photographies aériennes ou pour le géoréférencement des images satellites. ■