

GéoDispo

Un outil simple pour le Géoréférencement automatique de dispositifs expérimentaux structurés dans des systèmes de coordonnées orthogonales

Jean-Luc Denou¹

Je suis Technicien de Recherche au sein de l'Unité Expérimentale Forêt de Pierroton. J'ai suivi des études en Gestion et Maîtrise de l'Eau et en Productions Horticoles, avant d'intégrer l'INRAE en 2007. Mes activités au sein de l'unité concernent l'installation et la maintenance de dispositifs de mesure, d'observation et d'expérimentation en milieu forestier. Je suis responsable du suivi des paramètres « végétation » et « cycles biogéochimiques » des deux sites ateliers Aquitains du SOERE F-ORE-T (Observatoire de Recherche en Environnement sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers).

Résumé. Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) sont de plus en plus utilisés pour implanter, spatialiser, optimiser et analyser les dispositifs expérimentaux de terrain. Ils nécessitent cependant que les coordonnées de chacun des objets d'étude appartiennent à un système de coordonnées de référence géodésique, comme par exemple le système Lambert-93. Cependant, dans la plupart des dispositifs expérimentaux existants, les objets d'étude sont identifiés dans un repère orthogonal spécifique au dispositif, avec des coordonnées de type XY qui ne permettent pas directement leurs importations et leurs positionnements cartographiques dans des SIG. On peut pallier ce problème en procédant au relevé des coordonnées de tous les individus dans le système de localisation mondial (Global Positioning System, GPS) ou en réalisant un géoréférencement directement sous SIG. La première solution est très coûteuse en matière de temps et la seconde requiert une procédure particulière réservée aux utilisateurs avertis. C'est pourquoi j'ai élaboré un outil simple qui évite ces difficultés : GéoDispo. Il permet de transformer facilement les coordonnées XY de tous les individus en coordonnées Lambert-93, à partir des coordonnées GPS de seulement quatre objets d'étude. GéoDispo se présente sous la forme d'un tableur Excel® comprenant quatre feuilles explicitant les conditions d'utilisation, le mode opératoire, l'outil « Géoréférencer » et enfin les équations utilisées. GéoDispo peut fonctionner avec tous les systèmes de coordonnées cartographiques de référence.

¹ INRAE, U.E. Forêt Pierroton, 69 Route d'Arcachon (Domaine Hermitage), 33612 Cestas Cedex, France
jean-luc.denou@inrae.fr

Mots clés : Géoréférencement automatique ; Dispositifs Expérimentaux ; Systèmes d'Information Géographique ; Coordonnées Lambert-93 ; GéoDispo.

Abstract. Geographic information system (SIG) are pretty used to analyse experimental devices in the field. However they need that coordinates of each studied object take part of a coordinate system of geodesique reference, as for example Lambert-93. In most of existing experimental devices, studied objects are identified within an orthogonal grid in the device, with coordinates like XY unmachable with the use of SIG. In order to point out sometimes thousand of GPS coordinates, a simple device has been set out : GeoDispo. It allows transforming easily XY coordinates of every items in Lambert-93 coordinates from GPS coordinates of only four studied objects. GéoDispo is an Excel® spreadsheet and comprises four sheets that explaine use conditions, how to use mode, « Georeferencer » tool and also equations used. GeoDispo can work with every system of cartographic coordinates.

Keywords : automatic georeferencing, experimental devices ; Geographic information system ; Lambert-93 coordinates ; GeoDispo

Introduction

Les outils de géolocalisation et de cartographie se multiplient dans le domaine de la recherche, notamment agronomique ou en écologie. Ils présentent en effet un grand intérêt pour la conduite des programmes expérimentaux de recherche tant pour l'analyse des résultats que pour la superposition de couches d'information. Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) sont ainsi de plus en plus utilisés au sein de l'Institut National de Recherche en Agriculture, Alimentation et Environnement (INRAE), notamment au niveau des unités expérimentales.

Les SIG permettent de visualiser et d'analyser des données géographiques. En pratique, ils utilisent deux types de format (Bernier et al., 2014) : le format *raster* (images satellites, photographies aériennes, cartes scannées, etc.) et le format *vecteur*. Ce dernier intègre une composante graphique, avec la localisation et la forme des objets d'étude (individus, points de prélèvements, parcelles, etc.), et une composante descriptive, dite attributaire, provenant par exemple de fichiers de données recueillies sur des dispositifs expérimentaux (identifiants, observations, mesures, etc.).

Les principales fonctionnalités des SIG (représentation cartographique des données, requête attributaire, analyse spatiale, etc.) nécessitent au préalable que les coordonnées de chacun des objets d'étude appartiennent à un système de coordonnées de référence. Les systèmes officiels utilisés en France métropolitaine sont les coordonnées géographiques du système géodésique RGF93 et les coordonnées cartographiques Lambert-93 de la projection associée au système géodésique RGF93 mis en place par l'Institut Géographique National.

Actuellement, dans la plupart des dispositifs expérimentaux dont la surface est relativement importante (sylviculture, viticulture, arboriculture, etc.) les objets d'étude (dans ces exemples, des plantes ligneuses) sont identifiés dans un repère orthogonal spécifique au dispositif, avec des coordonnées de type XY (numéro de ligne et de position, ou abscisse / ordonnée en mètre). Ce type de coordonnées n'est pas directement compatible avec l'utilisation des SIG, sans une procédure complexe réservée aux utilisateurs expérimentés.

L'absence de coordonnées Lambert-93 de tous les individus est donc un obstacle à une utilisation d'un SIG. J'ai été confronté à ce problème de manière récurrente en assurant le suivi des paramètres de sites ateliers d'importance, qui comptent plusieurs dizaines de milliers d'arbres. Il n'est bien sûr pas envisageable de relever les coordonnées GPS de chacun d'entre eux.

Le Cahier des Techniques de l'Inra 2020 (101)

C'est pourquoi j'ai développé un outil, GéoDispo, qui permet de pallier cette difficulté en effectuant un changement de repère automatisé. La méthode nécessite de simplement relever les coordonnées GPS de quatre individus du dispositif et GéoDispo transforme instantanément les coordonnées XY des autres individus en coordonnées Lambert-93. L'outil requière néanmoins que les objets d'étude soient spatialement distribués dans un système orthogonal. Cet outil ayant déjà été utilisé et apprécié par d'autres membres de mon unité expérimentale, il m'est apparu opportun de le mettre à disposition de tout le personnel de l'INRAE concerné par ce type de problématique.

Description de l'outil et de la méthode

La transformation de coordonnées XY appartenant à un repère orthogonal, en coordonnées cartographiques appartenant au repère Lambert-93, correspond à un changement de repère (cf. figure 1). Cela nécessite le relevé des coordonnées cartographiques de quatre individus du dispositif (A, B, C et D) qui serviront de référence pour calculer celles des autres individus (exemple de l'individu M dans la figure 1).

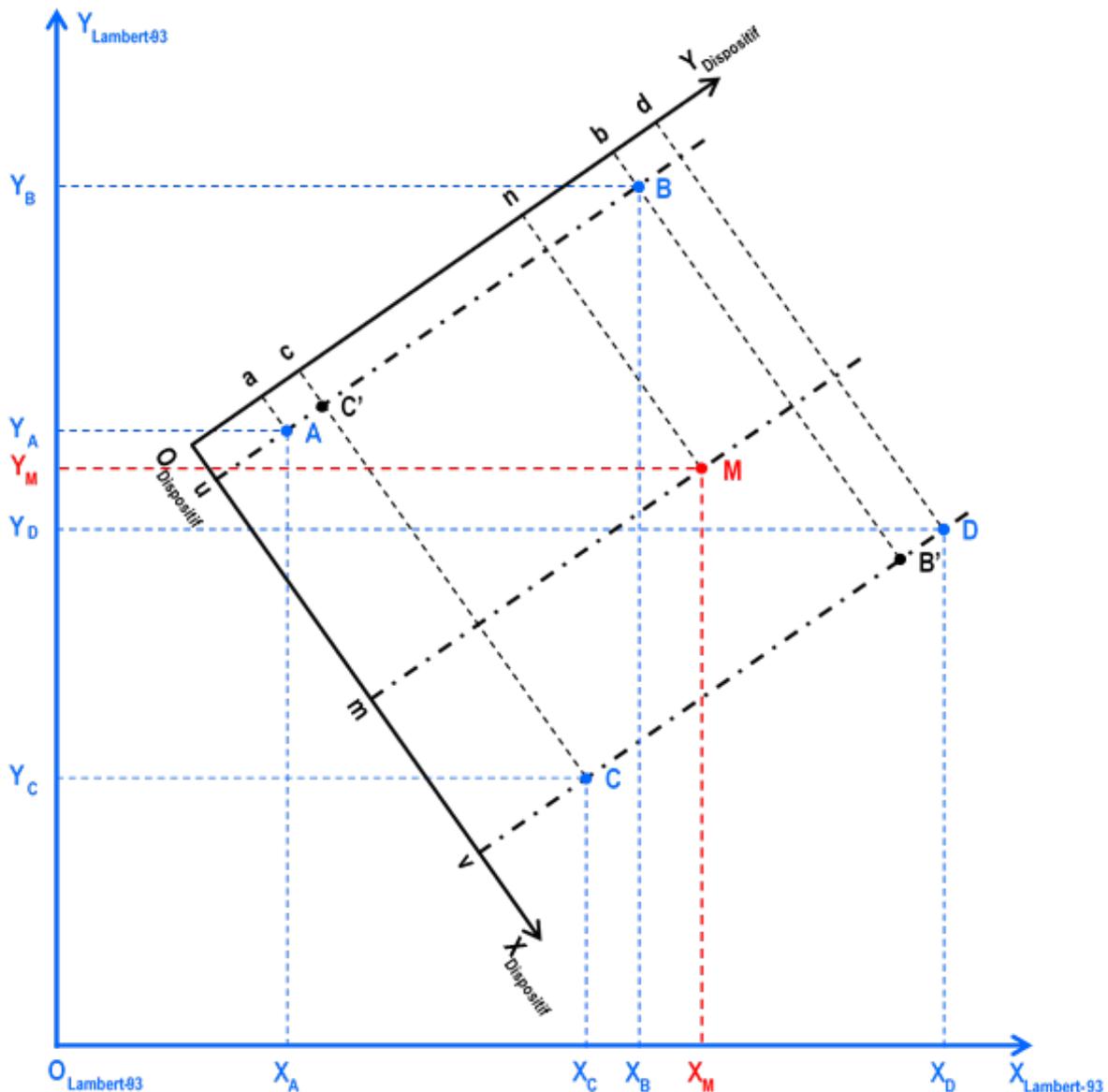


Figure 1. Coordonnées Lambert-93 d'un individu M appartenant à un dispositif expérimental installé dans un repère orthogonal quelconque.

J'ai tout d'abord identifié les équations établissant les relations entre les coordonnées planes des deux repères situés dans un même plan horizontal. Cela passe par des équations intermédiaires, calculant notamment des mesures algébriques de projections orthogonales, nécessaires pour le calcul final des coordonnées X et Y dans le repère Lambert-93 (cf. GéoDispo, feuille « Equations utilisées »). Pour des raisons de simplification des équations, j'ai choisi de positionner les couples (A, B) et (C, D) sur des lignes d'abscisse identique.

Les notions de coordonnées XY et de distribution spatiale des objets d'étude sont explicitées dans la figure 2.

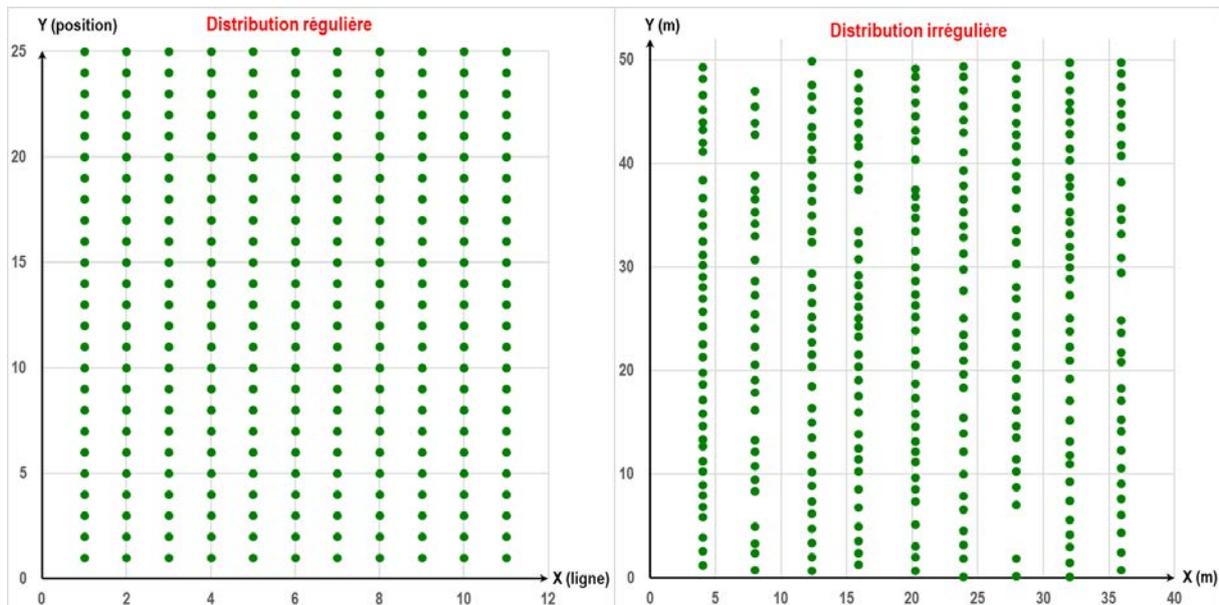


Figure 2. Distribution spatiale des objets d'étude.

Dans une distribution régulière des objets d'étude, l'espacement entre deux lignes est constant, ainsi que l'espacement entre deux objets d'une même ligne. Dans une distribution irrégulière, ces paramètres, interligne et distance entre objets consécutifs sur une même ligne, sont variables.

J'ai ensuite étudié l'influence des conditions topographiques des dispositifs expérimentaux, afin de généraliser les possibilités d'utilisation de GéoDispo.

- ✓ Influence de la pente (cf. figure 3 et tableau 1) :

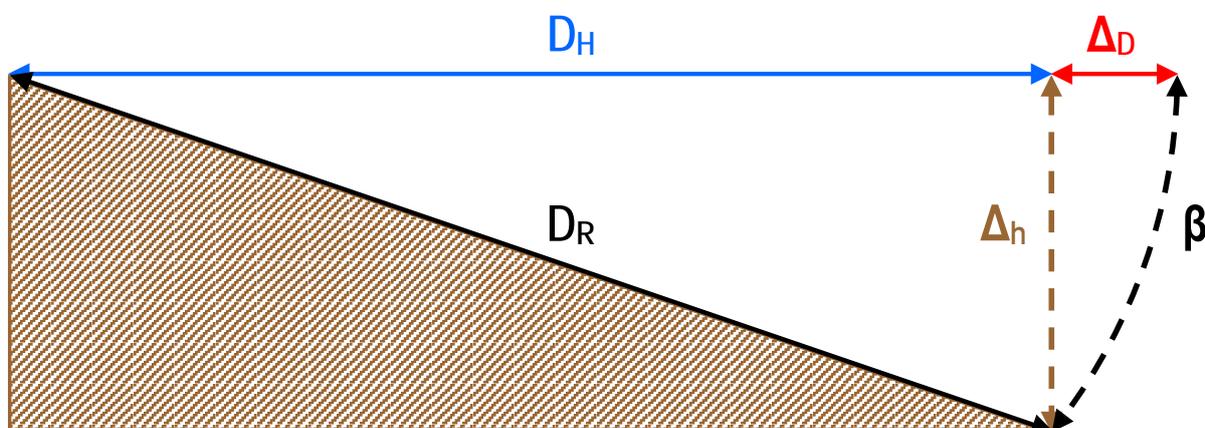


Figure 3. Influence de la pente sur la déformation des distances projetées.

Le Cahier des Techniques de l'Inra 2020 (101)

Les distances horizontales dans le plan du système de coordonnées cartographiques sont dépendantes de la pente observée sur le terrain.

Tableau 1. Déformation des distances réelles, calculée en fonction du niveau de la pente.

Pente (Δ_h / D_H) x 100 ($\tan \beta$) x 100 (%)	Distance Horizontale D_H (m)	Dénivelé Δ_h (m)	$\Delta_D = \sqrt{(D_H^2 + \Delta_h^2)} - D_H$ (m)	Δ_D (cm/m)	Distance Réelle D_R (m)	Inclinaison $\beta = \tan^{-1}(\Delta_h / D_H)$ (°)
1	100	1	0,005	0,005	100,005	0,57
2	100	2	0,020	0,020	100,020	1,15
3	100	3	0,045	0,045	100,045	1,72
4	100	4	0,080	0,080	100,080	2,29
5	100	5	0,125	0,125	100,125	2,86
6	100	6	0,180	0,180	100,180	3,43
7	100	7	0,245	0,245	100,245	4,00
8	100	8	0,319	0,319	100,319	4,57
9	100	9	0,404	0,404	100,404	5,14
10	100	10	0,499	0,499	100,499	5,71
11	100	11	0,603	0,603	100,603	6,28
12	100	12	0,717	0,717	100,717	6,84
13	100	13	0,841	0,841	100,841	7,41
14	100	14	0,975	0,975	100,975	7,97
15	100	15	1,119	1,119	101,119	8,53
16	100	16	1,272	1,272	101,272	9,09
17	100	17	1,435	1,435	101,435	9,65
18	100	18	1,607	1,607	101,607	10,20
19	100	19	1,789	1,789	101,789	10,76
20	100	20	1,980	1,980	101,980	11,31
21	100	21	2,181	2,181	102,181	11,86
22	100	22	2,391	2,391	102,391	12,41
23	100	23	2,611	2,611	102,611	12,95
24	100	24	2,840	2,840	102,840	13,50
25	100	25	3,078	3,078	103,078	14,04
26	100	26	3,325	3,325	103,325	14,57
27	100	27	3,581	3,581	103,581	15,11
28	100	28	3,846	3,846	103,846	15,64
29	100	29	4,120	4,120	104,120	16,17
30	100	30	4,403	4,403	104,403	16,70

Nous pouvons considérer qu'une pente inférieure ou égale à 5 % ne déforme pas les distances réelles ($\Delta_D \leq 1,25$ mm/m, soit moins de 0,125 %) et qu'une pente inférieure ou égale 14 % les déforme peu ($\Delta_D \leq 9,75$ mm/m, soit moins de 0,975 %).

✓ Influence de la régularité du relief (cf. figure 4) :

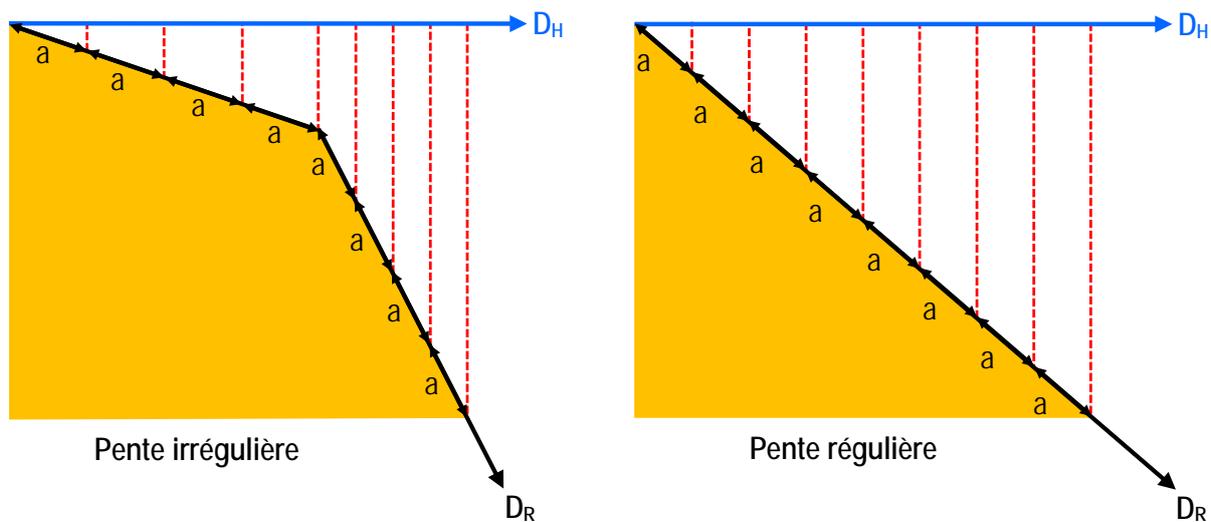


Figure 4. Influence de la régularité de la pente sur la constance de la proportionnalité des distances projetées.

L'irrégularité de la pente provoque des variations dans la proportionnalité des distances horizontales aux distances réelles projetées, pouvant nuire considérablement à la fiabilité des résultats obtenus par GéoDispo.

Les conditions topographiques pour lesquelles l'utilisation de GéoDispo reste possible sont résumées dans le tableau 2.

Tableau 2. Conditions topographiques nécessaires à l'utilisation de GéoDispo.

Site		Système de coordonnées cartographiques		
Topographie	Distribution spatiale des objets d'étude	D_H (Distance Horizontale)	Utilisation de GéoDispo	Unités de $X_{\text{Dispositif}}$ et $Y_{\text{Dispositif}}$ nécessaires à GéoDispo
Terrain plat (Pente $\leq 5\%$)	Régulière	$= D_R$ (Distance Réelle)	✓	Numéros de ligne et de position sur la ligne, ou coordonnées en mètre
	Irrégulière	$= D_R$	✓	Coordonnées en mètre
Pente faible $\leq 14\%$	Régulière	$\sim D_R$	✓	Numéros de ligne et de position sur la ligne, ou coordonnées en mètre
	Irrégulière	$\sim D_R$	✓	Coordonnées en mètre
Pente régulière $> 14\%$	Régulière	$\neq D_R$ (Proportionnalité constante)	✓	Numéros de ligne et de position sur la ligne, ou coordonnées en mètre
	Irrégulière	$\neq D_R$ (Proportionnalité constante)	✓	Coordonnées en mètre
Pente irrégulière $> 14\%$	Régulière	$\neq D_R$ (Proportionnalité variable)	✗	
	Irrégulière	$\neq D_R$ (Proportionnalité variable)	✗	

Le Cahier des Techniques de l'Inra 2020 (101)

La procédure complète de GéoDispo est décrite précisément dans la feuille « Mode opératoire » du tableur. J'insiste sur le fait que les quatre points de référence doivent notamment répondre à des critères précis et être judicieusement choisis (cf. figure 5) :

- ✓ A et B sont situés aux extrémités d'une même ligne du dispositif, parmi les plus grandes premières lignes de celui-ci selon l'axe des abscisses. L'ordonnée du point A doit être inférieure à celle du point B.
- ✓ C et D sont situés aux extrémités d'une même ligne du dispositif, parmi les plus grandes dernières lignes de celui-ci selon l'axe des abscisses. L'ordonnée du point C doit être inférieure à celle du point D.

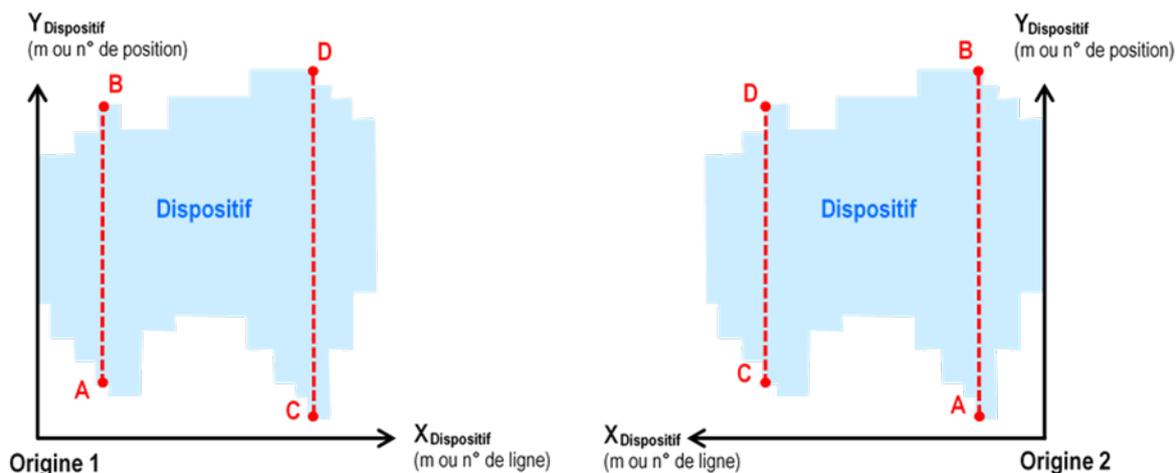


Figure 5. Positionnement des points de référence A, B, C et D, selon l'orientation du repère orthogonal.

Si le dispositif a été piqueté avant la plantation (intervalles entre plants et interlignes constants) et qu'il n'y a aucune rupture à l'intérieur de celui-ci (chemin, fossé, etc.), l'unité des coordonnées X et Y des individus peut correspondre aux numéros de ligne et de position sur la ligne. Dans le cas contraire, les coordonnées en mètre de tous les individus devront être utilisées. La feuille « Géoréférencer » de GéoDispo (cf. figure 6) permet de transformer automatiquement les coordonnées XY de tous les objets d'étude d'un dispositif à partir des quatre points de référence. Leurs coordonnées relevées avec un GPS doivent ensuite être corrigées et converties en Lambert-93. L'ensemble de leurs coordonnées ($X_{\text{Dispositif}} / Y_{\text{Dispositif}}$; $X_{\text{Lambert-93}} / Y_{\text{Lambert-93}}$) sont ensuite saisies ou collées (uniquement les valeurs) dans le tableau 1. Le tableau 2, à droite de la feuille, correspond à la totalité des individus du dispositif dont on cherche à calculer les coordonnées Lambert-93. Il suffit d'indiquer (saisie ou collage de valeurs) leurs coordonnées $X_{\text{Dispositif}} / Y_{\text{Dispositif}}$. Les coordonnées dans le repère Lambert-93 sont alors calculées et apparaissent dans les cellules adjacentes. GéoDispo peut accepter jusqu'à 40 000 individus à la fois.

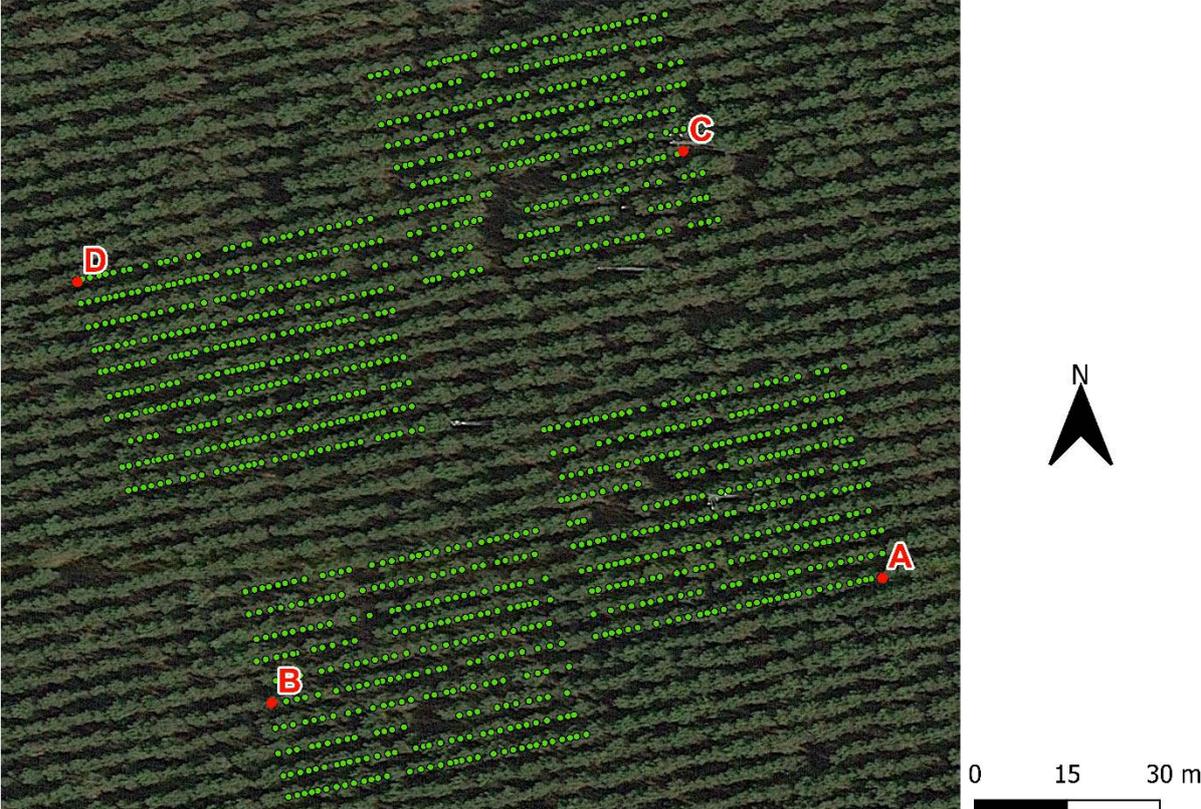


Figure 7. Site atelier ICOS de Salles (33).



Figure 8. Site atelier Xylosylve de Cestas (33).

Intérêts de GéoDispo

Le premier intérêt de GéoDispo est de rendre très rapidement exploitable par les SIG un grand nombre de dispositifs expérimentaux ne disposant pas des données cartographiques de tous les individus. GéoDispo peut s'appliquer à tous les dispositifs où les objets d'étude disposent de coordonnées dans un repère orthogonal, qu'elles soient de type ligne / position avec des intervalles réguliers, ou bien exprimées en mètre. Depuis la création de cet outil, un certain nombre de dispositifs de mon unité a pu ainsi en bénéficier. En effet, son atout principal est d'être utilisable par tout agent de l'INRAE ne maîtrisant pas forcément les SIG. Il est certes possible sous SIG, d'obtenir des données cartographiques à partir d'un maillage créé selon une ligne de référence, mais cela reste réservé à des utilisateurs avertis. GéoDispo s'affranchit de cette limite.

De même, GéoDispo permettra aux agents qui installent de nouveaux dispositifs de transmettre aux chercheurs des fichiers de données contenant les coordonnées cartographiques des individus étudiés. Il leur suffira de relever quatre points de référence avec un GPS. Dans le même ordre d'idée, GéoDispo pourrait par exemple être utile dans le cadre du réseau de Plantations Comparatives génétiques (PlantaComp), qui a inventorié plus de 1000 dispositifs sur 2000 ha. Ces dispositifs sont référencés géographiquement par un seul point. Si une nouvelle campagne d'inventaire devait être réalisée, le géoréférencement de trois autres points par dispositif permettrait de géoréférencer tous les individus de chacun d'entre eux, alimentant alors une base de données exploitable par les SIG.

Dans cet article, nous avons utilisé le repère de coordonnées Lambert-93 car c'est le système de projection officielle en France métropolitaine. GéoDispo peut cependant calculer les coordonnées des individus dans un autre repère de coordonnées, dès lors que les quatre points de référence appartiennent à celui-ci. Les intitulés des colonnes de coordonnées cartographiques $X_{\text{Lambert-93}}$ et $Y_{\text{Lambert-93}}$ ne sont donc qu'indicatifs. GéoDispo peut géoréférencer n'importe quel dispositif, où qu'il soit situé, si le choix parmi les systèmes de projection conforme référencés par l'EPSG (European Petroleum Survey Group) est adapté à la position de la zone à cartographier. Cela permet d'éviter au maximum les distorsions.

Fiabilité de GéoDispo

La fiabilité de GéoDispo et des coordonnées cartographiques calculées dépendent de plusieurs paramètres.

- ✓ L'incertitude liée aux coordonnées cartographiques des quatre points de référence (plus la distance entre ces points sera importante, moins cette incertitude n'aura d'impact sur les résultats de GéoDispo). Celle-ci dépend (Piedallu et al., 2002) :
 - Des appareils GPS utilisés : notre unité dispose d'un Trimble Pro XR, un des plus adaptés aux milieux forestiers car la correction différentielle, en temps réel et post-traitement, permet de diviser par 2 ou 3 l'erreur de localisation des points relevés.
 - Du paramétrage de ces appareils et de leur utilisation : l'intervalle de temps entre les enregistrements, la qualité de la configuration satellitaire à l'aide du seuil de PDOP (Position Dilution Of Precision) maximum toléré et le nombre d'enregistrements ont une importante influence sur l'incertitude des résultats obtenus.
 - Du lieu et de la formation végétale : pour tous les appareils, la qualité du positionnement se dégrade des milieux ouverts aux milieux fermés (de 1,20 m à 4,20 m après correction différentielle pour les peuplements forestiers).

Le Cahier des Techniques de l'Inra 2020 (101)

- ✓ L'incertitude liée à la topographie du site où le dispositif est installé : les irrégularités du relief du sol influencent la constance de la proportionnalité entre les distances réelles sur le terrain et les distances horizontales (projections orthogonales des distances réelles) dans le plan horizontal du système de coordonnées cartographiques.
- ✓ L'incertitude liée à l'homogénéité du dispositif (régularité de l'espacement entre les individus et entre les lignes), lorsque les coordonnées du dispositif sont du type ligne / position).
- ✓ L'incertitude liée à la mesure (outil, opérateur, etc.) des coordonnées XY en mètre, lorsqu'elles sont mesurées sur le terrain.

De manière générale, les relevés de localisation en milieu forestier présentent une grande incertitude (Piedallu et al., 2002). Rappelons que l'objectif de GéoDispo est de permettre l'utilisation de SIG sur des dispositifs expérimentaux. Ce qui importe ici, c'est la précision du positionnement des individus les uns par rapport aux autres dans le dispositif. Dans le cadre de dispositifs structurés dans des repères orthogonaux de manière régulière ou irrégulière, si les coordonnées de tous les individus sont mesurées en mètre avec une incertitude identique à celle d'un relevé de coordonnées GPS, GéoDispo permet un géoréférencement dont l'incertitude n'est pas supérieure à celle qui serait induite par le relevé GPS de tous les individus du dispositif. Cela requiert néanmoins la plus grande attention lors du géoréférencement des quatre points de référence.

Conclusion

GéoDispo peut se révéler très utile pour géoréférencer rapidement les individus d'un dispositif existant ou d'un dispositif en cours d'installation. Il permet de s'affranchir du relevé des coordonnées GPS de tous les individus ou d'une procédure complexe de géoréférencement sous SIG, ce qui représente un gain de temps potentiellement considérable pour les dispositifs de grande envergure. Les données obtenues autorisent ainsi des analyses de type SIG, prenant en compte chacun des individus du dispositif, en fonction de requêtes spécifiques.

GéoDispo est disponible pour toute personne intéressée, sur simple demande par mail auprès de l'auteur. Il pourra faire l'objet de mises à jour, notamment en fonction des retours des utilisateurs.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-SA).



<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Le Cahier des Techniques de l'Inra », la date de sa publication et son URL).

Remerciements

Je souhaite remercier M. Patrick PASTUSZKA (Directeur Adjoint, U.E. Forêt Pierroton, 33612 Cestas Cedex), pour son soutien et ses encouragements.

Je suis très reconnaissant à M. Laurent AUGUSTO (Directeur de Recherche, UMR Interactions Sol Plante Atmosphère, 33800 Villenave D'Ornon) qui a relu de nombreuses versions du manuscrit. Ses conseils très avisés ont permis beaucoup d'améliorations de cet article, tant sur la forme que sur le fond. Je le remercie de ne pas avoir ménagé son temps pour me permettre de mener à bien ce travail.

Bibliographie

Bernier S, Duthoit S, Ladet S, Baudet D (2014) Les concepts de base des systèmes d'information géographique (SIG) : les données et les fonctions générales. *Le Cahier des Techniques de l'INRA*, N° Spécial 2014 : 19-26.

Piedallu C, Gégout JC (2002) Etude de la précision du système GPS en milieu forestier. *Rev Forest Fr* 5 : 429-442.