

Thierry Hatt
Professeur agrégé de géographie
Lycée Fustel de Coulanges

Février 2001

**LE POSITIONNEMENT GLOBAL PAR SATELLITE
LES APPLICATIONS**

LOGICIELS DE TRAITEMENT DE DONNEES GPS

ETUDE STATISTIQUE D'UN GPS PORTABLE

Ce travail est une mise en page d'une partie du site internet consacré aux essais du GPS MLR SP24XC acheté pour l'opération ministérielle « localisation et collecte de données par satellites » au Lycée Fustel de Coulanges ; ce site est hébergé à l'adresse : <http://thierry.hatt.gps.free.fr/> et à l'adresse : <http://sirius.ac-strasbourg.fr/> dans la rubrique Secondaire/histoire-géographie

Les graphiques posent parfois des problèmes de lecture en noir et blanc, les originaux sont en couleur.

LE POSITIONNEMENT GLOBAL PAR SATELLITE LES APPLICATIONS

On trouvera dans ces pages trois ensembles : d'une part des pointeurs vers des ressources montrant l'utilisation du GPS et d'autre part une revue critique des logiciels disponibles sur l'Internet pour le traitement des données du GPS sur un ordinateur, enfin une campagne de mesures de positions géographiques sur un GPS portable grand public. (seuls les deux derniers points sont traités ici)

- [LES APPLICATIONS](#)
- [LES LOGICIELS](#)
- [MESURES DE LATITUDE LONGITUDE AVEC LE GPS](#)

COLLECTE ET LOCALISATION DE DONNEES PAR SATELLITE

LOGICIELS DE TRAITEMENT DES DONNEES GPS

Objectif de ce travail, rechercher les logiciels qui aient les caractéristiques suivantes

1. Interfaçage avec la norme NMEA, de manière à ne pas être limité par tel ou tel modèle constructeur. Cette norme est produite par tous les récepteurs actuels, avec des variantes propres qu'il s'agit de contourner.
Cette norme est décrite dans le [document joint en format texte](#).
2. Permettre des calculs statistiques sur des temps de pose réglables pour améliorer la précision des mesures. Le débit des appareils portables est de l'ordre de 4800 à 9600 bauds ce qui représente rapidement de gros volumes de données, ceci nécessite un ordinateur pouvant récupérer les données, portable sur le terrain, et un logiciel pour les traiter.
3. Permettre la récupération et la sauvegarde soit des textes NMEA, du type \$GPGSV (caractéristiques des véhicules satellitaires) et / ou \$GPGGA (valeur calculée de position 3D avec erreur horizontale et verticale et heure de mesure) soit, sous une forme facile à relire d'un journal de bord enregistrant les données GPS. Ces sauvegardes sont nécessaires pour les traitements ultérieurs.
4. Si possible représentation des trajets GPS sur des cartes
5. Des logiciels faciles d'utilisation
6. Des logiciels de préférence gratuits ou de faible coût.

Le GPS passionne les amateurs et les professionnels. La production sur l'Internet est très abondante.

J'ai testé une soixantaine de logiciels. De nombreux produits sont de faux freeware, souvent tellement bridés qu'ils en perdent tout intérêt dans leur version téléchargeable. Il reste encore des produits sous DOS pas toujours mauvais mais peu recommandables dans l'état actuel de la technique. Certains sont trop spécialisés (marine, vol à voile, parapente...) pour avoir de l'intérêt pour nous. D'autres sont voués à seul produit : Magellan, Garmin ... et ne relisent pas la norme NMEA. Certains, rares, n'ont pas fonctionné du tout, d'autre sont d'emploi trop difficiles. Parmi ceux qui me semblaient répondre à mon cahier des charges soit un peu plus de quarante j'en ai retenu 16 et éliminé 26.

Les tests ont été faits avec le [GPS MLR SP24XC](#)

LES LOGICIELS RETENUS

NOM	Site Internet	Téléchargement à l'adresse	Remarque	Prix
HYPERTERMINAL DE Windows	Standard sous Windows 95 et 98	Permet de lire les données d'un GPS sur la voie série et de les sauvegarder sur disque pour un traitement ultérieur	Evidemment aucun traitement des données	Gratuit
SA WATCH	Explications, Site Internet	http://huntting.com/files/sawatch361setup.exe	Excellent produit très facile d'utilisation pour les calculs statistiques	20 \$ US
GPS THING	Site Internet	http://www.coastnet.com/~jas/gps586.exe	Très bon produit	Gratuit
NME AGENT DE MICRATEK	Site Internet	http://www.micratek.com/nmeagent.exe	Très bon produit pour sauvegarder des données Ascii NMEA	Gratuit
SEA CLEAR PC NAVIGATION SOFTWARE	Site Internet	http://www.sping.com/seaclear/sc32.zip	Bon produit avec cartographie	Gratuit
WDGPS	Site Internet	http://bruno.basli.free.fr/wdgps_1.54.zip	Produit intéressant et difficile d'emploi	Gratuit
IBIS	Site Internet	http://www.silcom.com/~rwhately/ibis34.zip	Produit remarquable et très complet avec cartographie	Gratuit
GPS TRACKMAKER	Site Internet	http://www.gpstm.com/download/gtm11.exe	Bon produit avec cartographie	Gratuit
GPS UTILITY	Site Internet	http://www.gpsutility.co.uk/files/gpsu400setup.exe	Bon produit	Essai limité 40 \$ US
OZI EXPLORER	Site Internet	http://www.powerup.com.au/~lornew/ozisetup.exe	Très bon produit avec cartographie	Essai limité 75\$

NOM	Site Internet	Téléchargement à l'adresse	Remarque	Prix
ELGAARD POSITIONING SYSTEM	Site Internet	http://www.diku.dk/users/elgaard/eps/eps_all.zip	Logiciel sous Java très complet et pas très facile à mettre en oeuvre	Gratuit
FLEX GPS	Site Internet	http://home.t-online.de/home/flexgps-f/flexgpsf.exe	Très limité pas d'accès au NMEA ?	Gratuit
NAVPAK LITE	Site Internet	http://www.globenav.com/npdemo32.exe	En démo seulement mais très complets	100 \$
NAVSAFE	Site Internet	http://members.nbc.com/_XMCM/kpv/trialns.zip	Complet essai libre	50 \$
WIN GPS 398 DE STENTEC	Site Internet	ftp://stentec.com/pub/wingps/gps398.exe	Bon produit	63 Florins
GPS PAC	Pas de site	GES S.A. 19 rue François-Dussaud CH-1227 Geneva, Switzerland Tel: +41 22 342 78 06 Fax: +41 22 823 0005/0001 Internet: gessa@compuserve.com	Bon produit	100 \$
UTILITAIRE DE CONVERSION DE COORDONNEES	Site Internet	http://128412.free.fr/convers23a.exe ou http://www.multimania.com/vtopo/convers23a.exe	Très puissant	Gratuit
Autres produits testés et non retenus : 3D Tracer, AGPS, Argonaute, Coutraci, Gartrack, les logiciels DSH, Flying GPS, Fugawi, Furuno, G7twin, Gardown, Garwaypt, Gps3d, GpsbD, GpsComm, Gpsman, GPSS, GPStrack, Jnav, Navpack, Navtools, NeverLost, Pan-Terra, Waypoint et Waypoint+, WingWay ...				

LE POSITIONNEMENT GLOBAL PAR SATELLITE LES APPLICATIONS

MESURES DE LATITUDE LONGITUDE

Les mesures ont été faites avec un GPS MLR SP 24 XC
Les images publiées sont de grande taille pour une bonne qualité de reproduction
et de taille moyenne pour les petits écrans

METHODES

- [Le mode opératoire du GPS, le principe de la trilatération](#)
- [Image moyenne](#)
- [Le principe du calcul de la position en latitude, longitude, altitude](#)
- [La précision intrinsèque du système GPS](#)

MESURES FIXES EN MILIEU URBAIN

- [Les conditions d'observation](#)
- [Les résultats statistiques](#)
- [Synthèse](#)

MESURES DE CHEMINEMENT EN MILIEU URBAIN

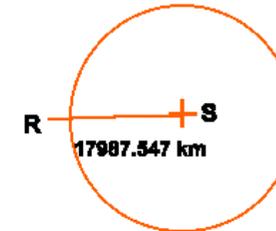
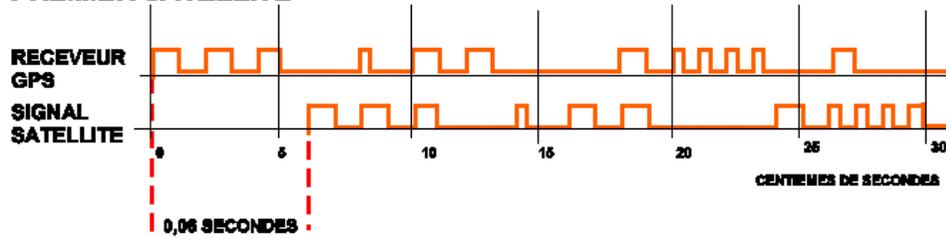
- [Essais en paysage "ouvert" et "fermé"](#)

MESURES EN MILIEU DE MONTAGNE

- [Les observations](#)

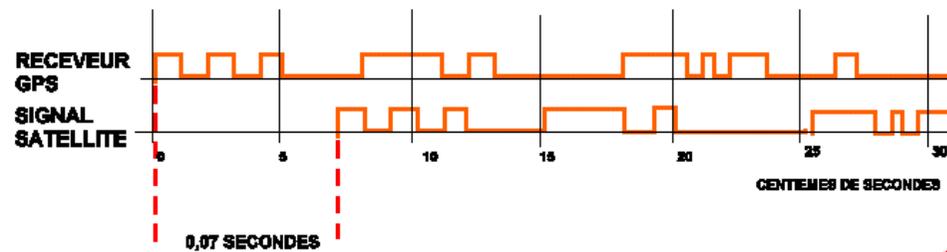
PRINCIPE DE LA MESURE DE POSITION PAR GPS

PREMIER SATELLITE

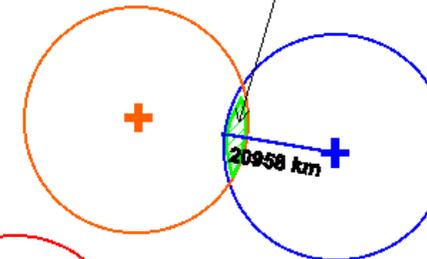


$$\text{Vitesse de la lumière} \times \text{temps} = \text{distance} \quad 299792.458 \times 0.06 = 17987.547 \text{ km}$$

DEUXIEME SATELLITE



Vous êtes quelque part ici

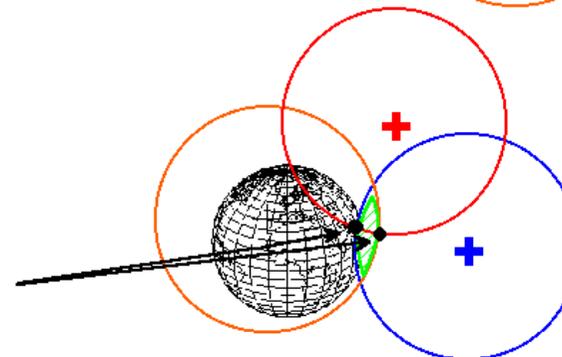


$$299792.458 \times 0.07 = 20985.472 \text{ km}$$

TROISIEME SATELLITE

$$299792.458 \times 0.05 = 14989.62 \text{ km}$$

Vous êtes ici ou bien là
Le GPS sait éliminer le deuxième point



PRINCIPE DU CALCUL DE LA POSITION DU RECEVEUR

- Acquisition du signal par le receveur pour au moins quatre satellites : temps de réception, coefficients ionosphériques, pseudo-distances et données d'horloge
- Acquisition d'une position initiale du récepteur (on demande en général dans quel pays se situe la mesure).
- Boucle sur les n satellites en vue :
 - Calcul de la position des satellites et correction de la rotation de la Terre
 - Calcul de l'azimut et de l'élévation
 - Corrections des pseudo distances
 - Corrections d'horloge, ionosphérique, troposphérique
 - Corrections des pseudo distances
- Calcul de la position du receveur en latitude longitude altitude pour un ellipsoïde donné, WGS 84 par exemple
On trouvera des explications très détaillées et un logiciel en Pascal sur le site <http://home-2.worldonline.nl/~samsvl/index.htm>

LA PRECISION DU SYSTEME GPS

Les causes involontaires de dégradation et leur compensation.

Le principe de positionnement Navstar étant une triangulation, deux facteurs interviennent directement dans l'erreur sur la position finale :

1. - La géométrie des satellites par rapport à l'utilisateur. Le facteur représentatif de cette géométrie est le G.D.O.P (Geometric Dilution Of Precision)
2. - La précision de la mesure de distance entre l'utilisateur et chaque satellite
Mais d'autres facteurs influent :

Source d'erreur	Erreur sur la mesure du temps (en nanosecondes)	Erreur sur la distance (en mètres)	
Stabilité en fréquence du satellite, variations d'accélération et autres	35	10.5	
Connaissance de la position du satellite et autres	33	10	Pour en savoir plus
Traversée de la troposphère	13	3.9	Pour en savoir plus
Traversée de l'ionosphère	33 à 65	9.8 à 19.6	Pour en savoir plus

Stabilité horloge utilisateur et autre, résolution du receveur et bruit, précision de la résolution des équations	9.7	2.9	
Trajets multiples	8	2.4	Pour en savoir plus
Total	131 à 164 ns	39.5 à 49.3	
Données issues du "Navstar GPS user equipment introduction", sept 1996, sans origine, 200 pages, disponible en pdf à l'adresse : http://www.navcen.uscg.mil/pubs/gps/gpsuser/gpsuser.pdf			

On trouvera une analyse remarquable des erreurs - très mathématique - sur le site de Daniel Wilson : <http://users.erols.com/dlwilson/gps.htm>. Le site a été entièrement mis à jour après la suppression de la SA en mai 2000.

La réfraction dans l'ionosphère

"L'Ionosphère est un "nuage" de particules chargées (ions et électrons) qui enveloppe la Terre entre 70 et 2000 km d'altitude. Les ondes émises par les satellites GPS orbitant à 20000 km d'altitude doivent donc traverser cette couche avant d'arriver sur la Terre. Le signal GPS est perturbé comme toute onde électromagnétique traversant un milieu conducteur. Cette perturbation se manifeste par un retard, c'est à dire que la vitesse de propagation de l'onde dans ce milieu conducteur qu'est l'ionosphère est plus faible que ce qu'elle serait dans le vide. Le temps de propagation de l'onde est donc plus long que ce qu'il serait dans le vide, ce qui conduit à surestimer la longueur de la distance satellite-station. "

La réfraction dans la troposphère

"De la même façon, le temps de propagation de l'onde GPS est affecté par la teneur en vapeur d'eau de la couche basse de l'atmosphère (de 0 à 10 km d'altitude) : la troposphère. Il serait donc nécessaire de connaître cette quantité avec précision tout le long du trajet suivi par l'onde. En pratique cela se révèle très difficile, sinon impossible, même avec l'aide des deux fréquences. En effet, le retard introduit est plus compliqué qu'un simple rapport de proportionnalité avec le pourcentage de vapeur d'eau. La différentiation entre les deux fréquences n'apporte donc pas l'information souhaitée : le délai troposphérique. Il existe plusieurs techniques pour contourner cette difficulté, aucune n'apportant de solution vraiment satisfaisante. La plus simple consiste tout simplement à introduire une nouvelle inconnue dans les calculs : le délai troposphérique de chaque station. Toutefois, comme ce paramètre évolue en fonction de la météorologie locale, il est nécessaire de modifier ce paramètre au cours du temps (toutes les deux heures par exemple). Cela finit par introduire beaucoup d'inconnues, ce qui rend les calculs instables et les solutions moins fiables. En pratique, ce problème prend d'autant plus d'importance que les conditions météorologiques et les épaisseurs troposphériques sont différentes entre deux stations. La ligne de base entre une station située en bord de mer (à altitude zéro) avec un degré d'hygrométrie important et une station située en haute montagne avec un air très sec, sera particulièrement affectée. Enfin, cette erreur se retrouvera plus particulièrement sur la composante verticale de la ligne de base, les erreurs horizontales se compensant plus ou moins du fait que les satellites couvrent à peu près toutes

les directions l'horizon. Du point de vue théorique, des instruments permettant de mesurer directement la teneur en vapeur d'eau le long du trajet suivi par l'onde GPS sont en phase expérimentale. Il est encore trop tôt pour savoir si la précision de ces mesures, basées sur la température de brillance du ciel, sera suffisante."

La précision des orbites des satellites GPS

"Il est évident que si l'on se trompe d'une certaine quantité sur la position du satellite émetteur, cette erreur va se répercuter directement sur la position de la station réceptrice. La distance entre deux stations (ligne de base) sera moins affectée, la plus grosse partie de l'erreur étant éliminée par différentiation. Néanmoins, l'arithmétique veut que l'erreur proportionnelle sur l'orbite est égale à l'erreur proportionnelle sur la ligne de base. L'orbite des satellites GPS peut être calculée très précisément, [mais elle est rendue publique par les militaires américains avec une précision de l'ordre de 200 m] (ceci est terminé depuis mai 2000) . Sur 20000 km cela donne une erreur proportionnelle de 10^{-5} (10 ppm), soit une erreur de 10 cm sur une ligne de base de 10 km ! Cette erreur est totalement inacceptable pour le positionnement précis. Il est donc nécessaire de recalculer les orbites des satellites GPS à l'aide de programmes informatiques d'orbitographie. Ce faisant, on arrive à contraindre l'erreur d'orbite à environ 20 cm, soit 10^{-9} (1 ppM), ce qui ne donne plus qu'une erreur de 1 mm pour une ligne de base de 1000 km de long. "

Les multitrajets

"Ces phénomènes sont parmi les plus difficiles à appréhender. Il est clair que tout objet réflecteur placé dans le voisinage de l'antenne de la station GPS, peut renvoyer une partie du signal provenant du satellite sur cette antenne. Tout comme un miroir crée une image de soi même lorsque l'on se regarde dedans, le réflecteur crée une image de l'antenne GPS. C'est la position de cette antenne virtuelle que l'on risque alors de mesurer en lieu et place de la véritable antenne. Qui plus est, au fur et à mesure que le satellite se déplace sur son orbite, l'angle d'incidence sur le réflecteur change, et l'image se déplace d'autant. C'est donc finalement la position d'une antenne virtuelle mobile que l'on mesure ! Compte tenu de la complexité des calculs correctifs qu'il faudrait effectuer, il n'y a pas vraiment de remèdes aux problèmes des multitrajets. Un "blindage" des antennes contre les réflexions parasites est toujours possible, mais celui-ci ne peut être que partiel puisqu'il faut bien que le vrai signal parvienne à l'antenne. La seule solution consiste donc à essayer d'éviter les multitrajets (c'est à dire les objets parasites) autant que faire se peut, ce qui n'est pas si facile quand on considère que le sol lui même est un réflecteur potentiel !"

Ces textes sont extraits de Christophe Vigny Département Terre Atmosphère Océan École Normale Supérieure <http://geologie.ens.fr/~vigny/>

LE POSITIONNEMENT GLOBAL PAR SATELLITE LES APPLICATIONS

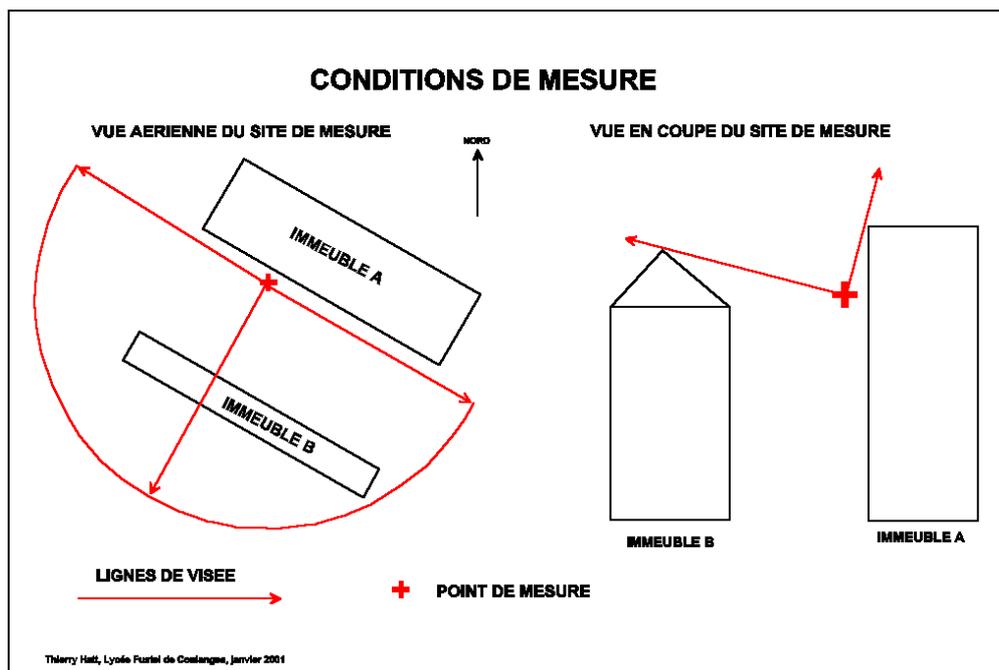
MESURES DE LATITUDE LONGITUDE EN MILIEU URBAIN

- Récepteur GPS utilisé : MLR SP 24 XC à 12 canaux, communication avec le logiciel SA-WATCH par la voie série, mesures prises en janvier 2001.

- Position du GPS

Les mesures ont été faites en milieu urbain, sur la balcon d'un immeuble, prolongé d'un mètre vers la rue par un mât, face au Sud. Le masque vers le N dépasse le lieu de mesure de plusieurs mètres, par contre la vue est dégagée vers le Sud. Les phénomènes de multitrajets sont vraisemblablement très gênants sur un tel site.

- Schéma du site de mesure joint, en plan et en coupe [grande image](#), [image moyenne](#)
- Plusieurs "campagnes" de mesure ont été réalisées, 3618 mesures, 4500, 6800, 10800, 14187, 17500, 27000 et 42000. La campagne de 6800 points représente, par exemple, 18 heures de "temps de pose".
Il est prévu de comparer les résultats à un point labellisé de type IGN.



**LE POSITIONNEMENT GLOBAL PAR SATELLITE
LES APPLICATIONS**

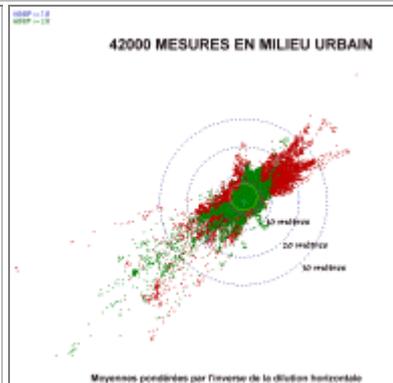
MESURES DE LATITUDE LONGITUDE

**RESULTATS STATISTIQUES 42000 MESURES
EN MILIEU URBAIN**

- Dans cette campagne seuls ont été enregistrés les points dont la dilution horizontale est inférieure à 5.0. Le temps de mesure est de 1 jour, 12 heures et 24 minutes.

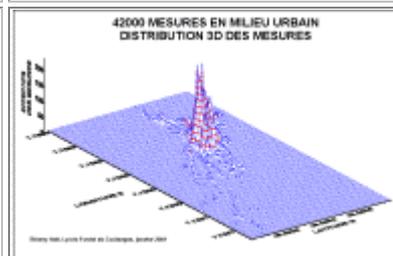
- [Analyse fine des données chronologiques, corrélations et moyennes glissantes](#) (étude de tous les points)

- Latitudes et longitudes



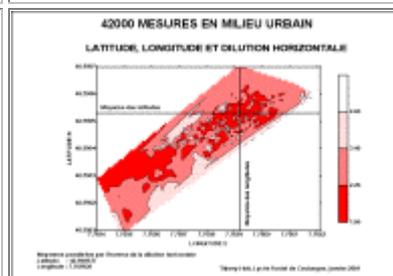
- Bonne concentration de la plupart des mesures (voir aussi l'histogramme 3D) mais quelques mesures, quoique rares sont très éloignées du point moyen (100 mètres)

- Histogramme 3D des mesures (grande image)
- [Image moyenne](#)



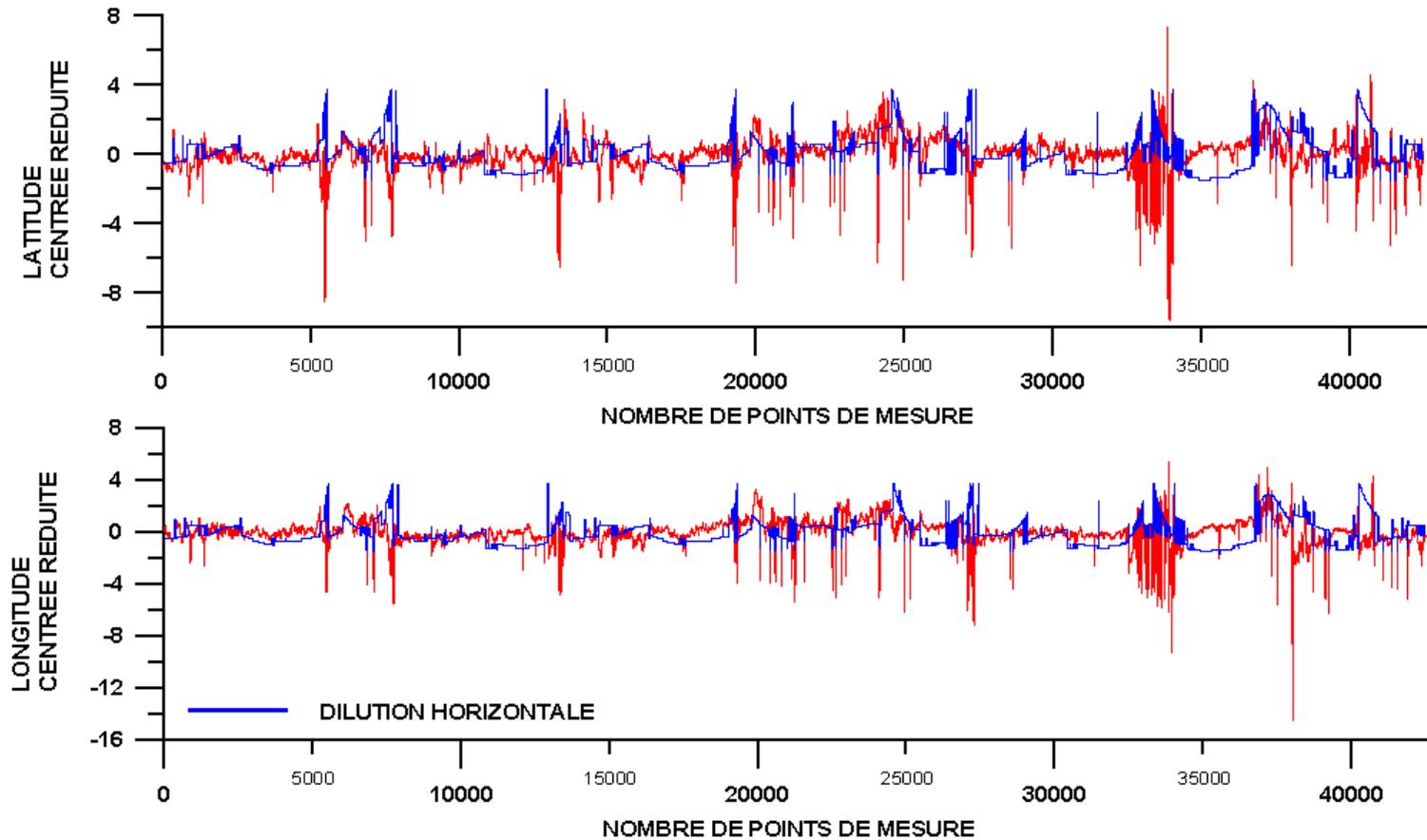
- Bonne concentration des valeurs mais il y a quelques points très éloignés.

- Latitude, longitude et dilution horizontale (grande image)
- [Image moyenne](#)

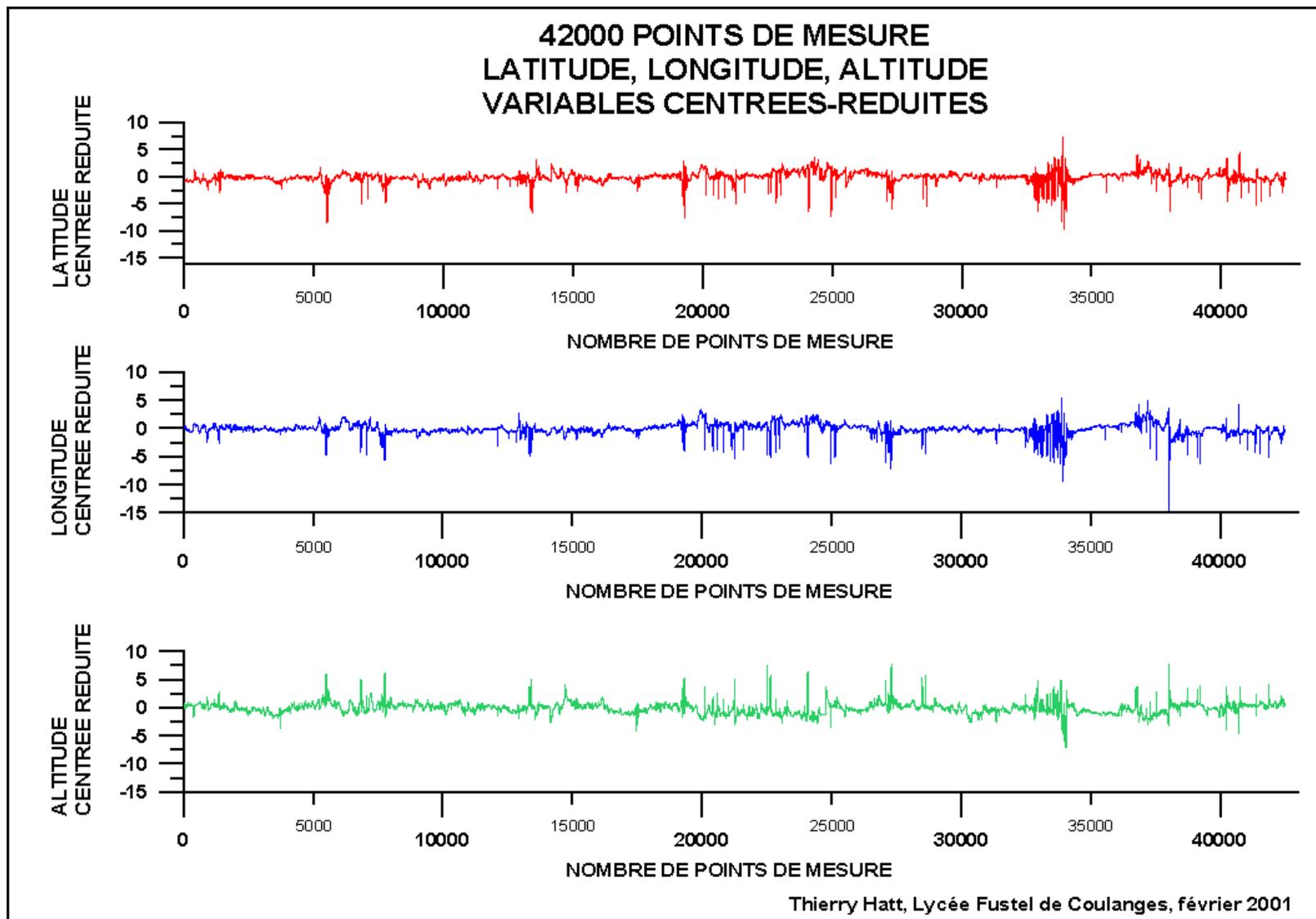


- L'absence de relation, assez surprenante entre dilution et qualité des mesures est ici confirmée

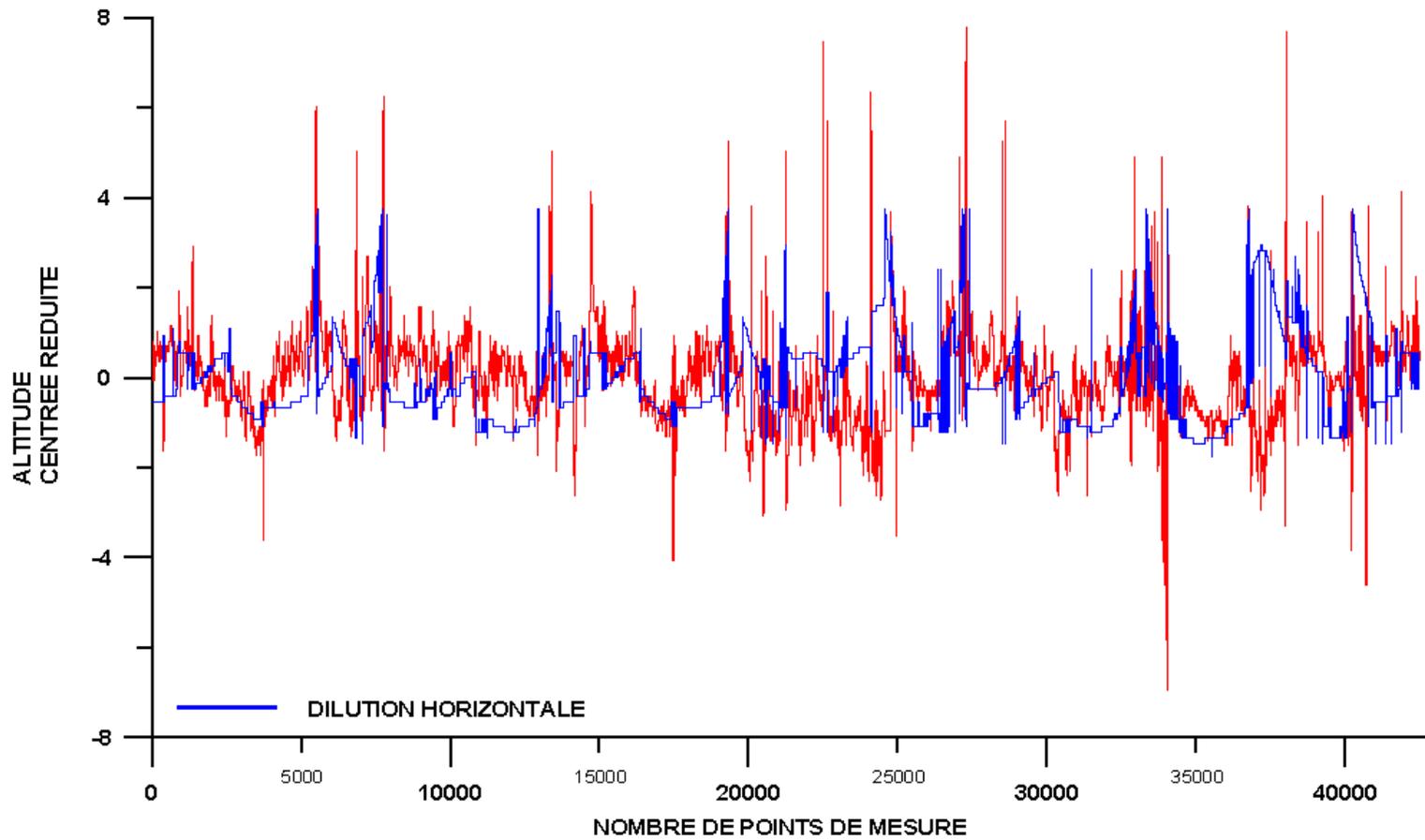
**42000 POINTS DE MESURE
LATITUDE LONGITUDE ET DILUTION HORIZONTALE
VARIABLES CENTREES-REDUITES**



Thierry Hatt, Lycée Fustel de Coulanges, février 2001

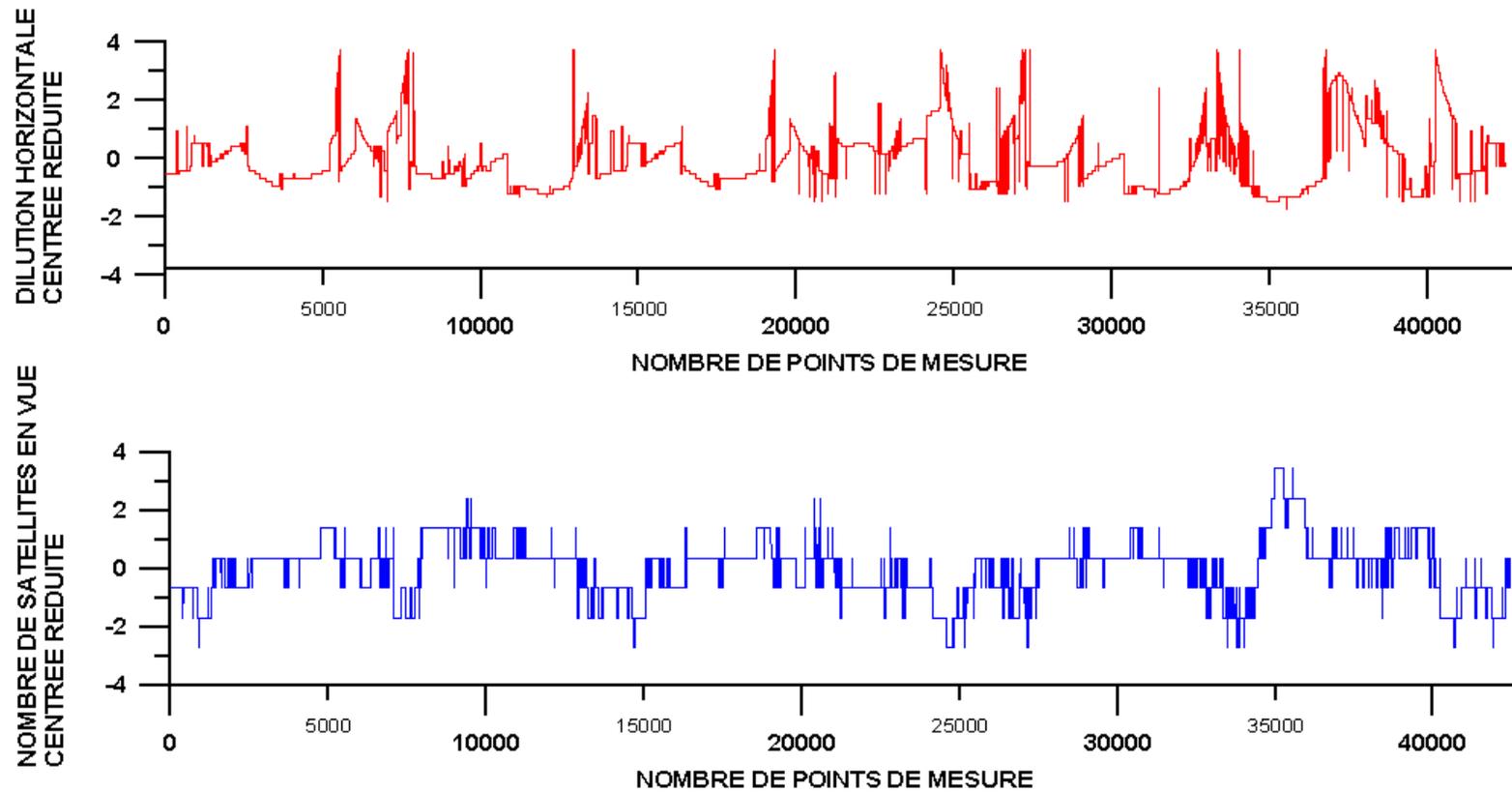


42000 POINTS DE MESURE
ALTITUDE ET DILUTION HORIZONTALE
VARIABLES CENTREES-REDUITES



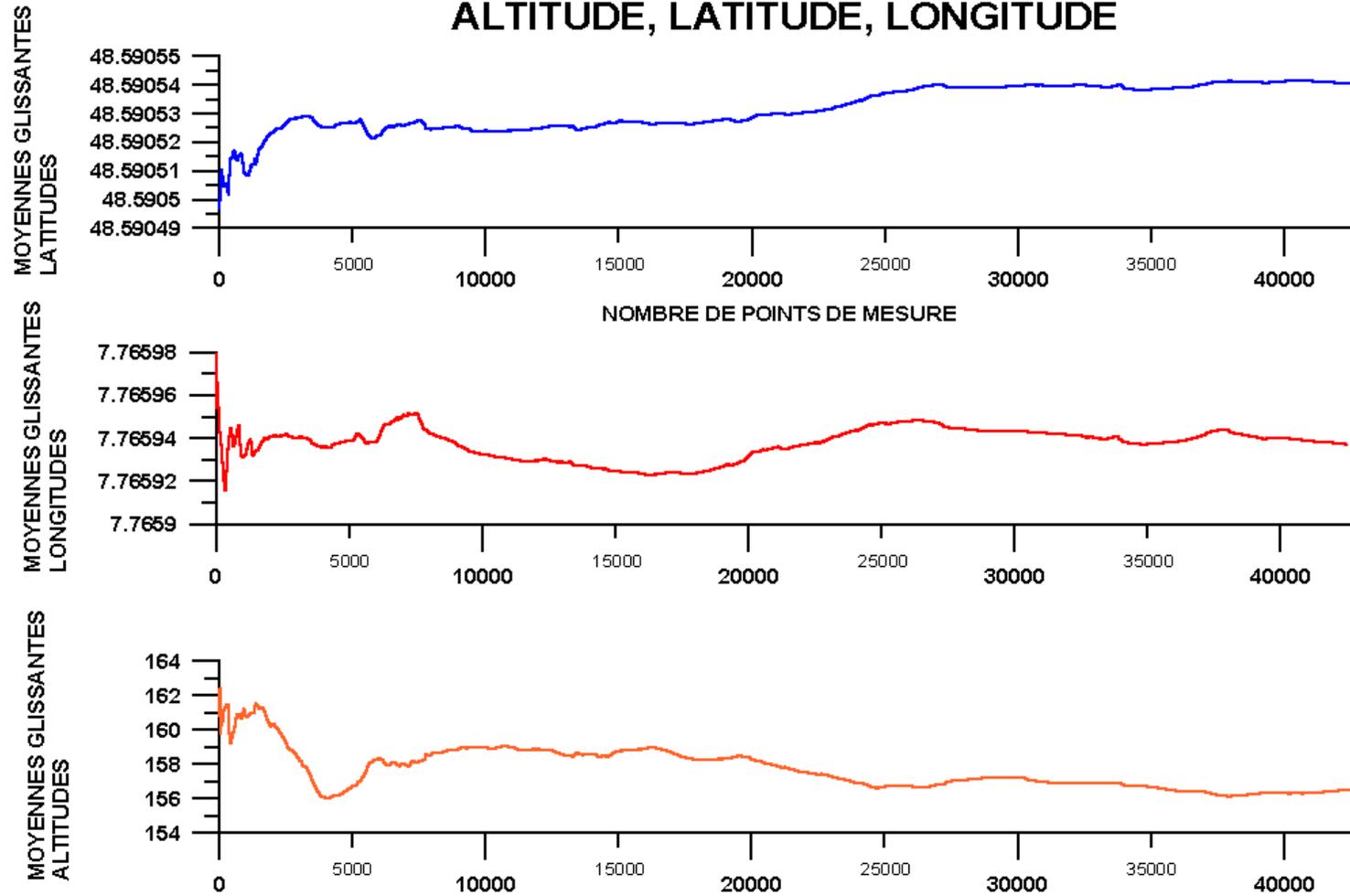
Thierry Hatt, Lycée Fustel de Coulanges, février 2001

42000 POINTS DE MESURE DILUTION HORIZONTALE ET NOMBRE DE SATELLITES VUS VARIABLES CENTREES-REDUITES



Thierry Hatt, Lycée Fustel de Coulanges, février 2001

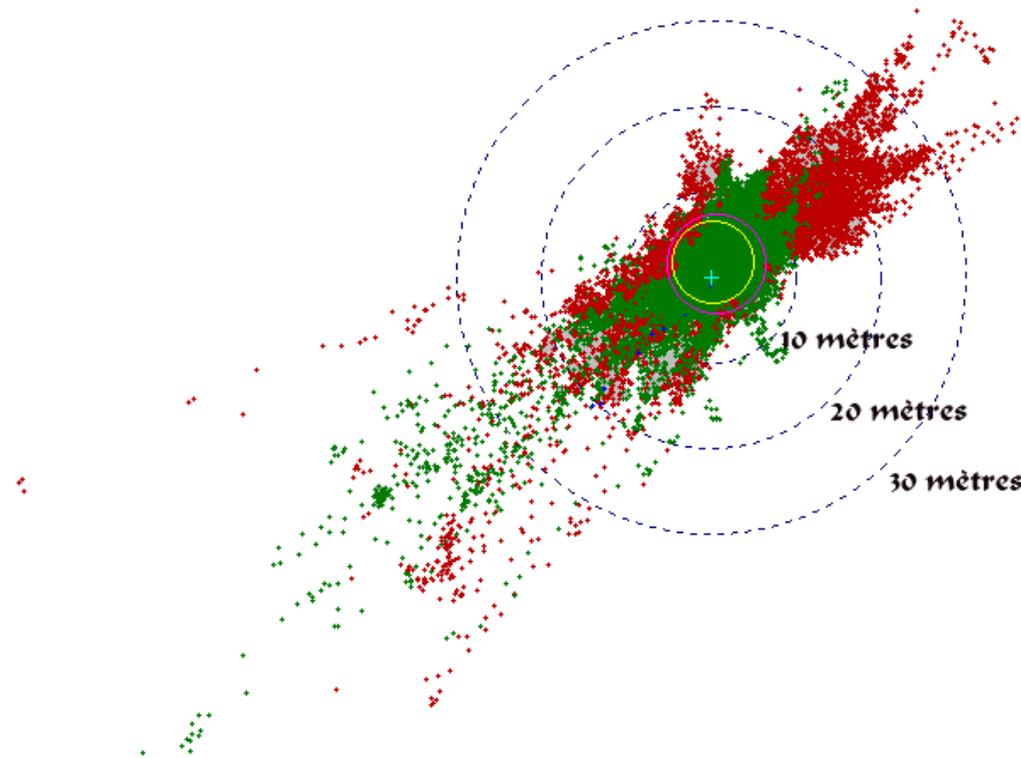
MOYENNES GLISSANTES SUR 42 000 POINTS DE MESURES ALTITUDE, LATITUDE, LONGITUDE



Thierry Hatt, Lycée Fustel de Coulanges, février 2001

HDOP <= 1.0
HDOP <= 2.0

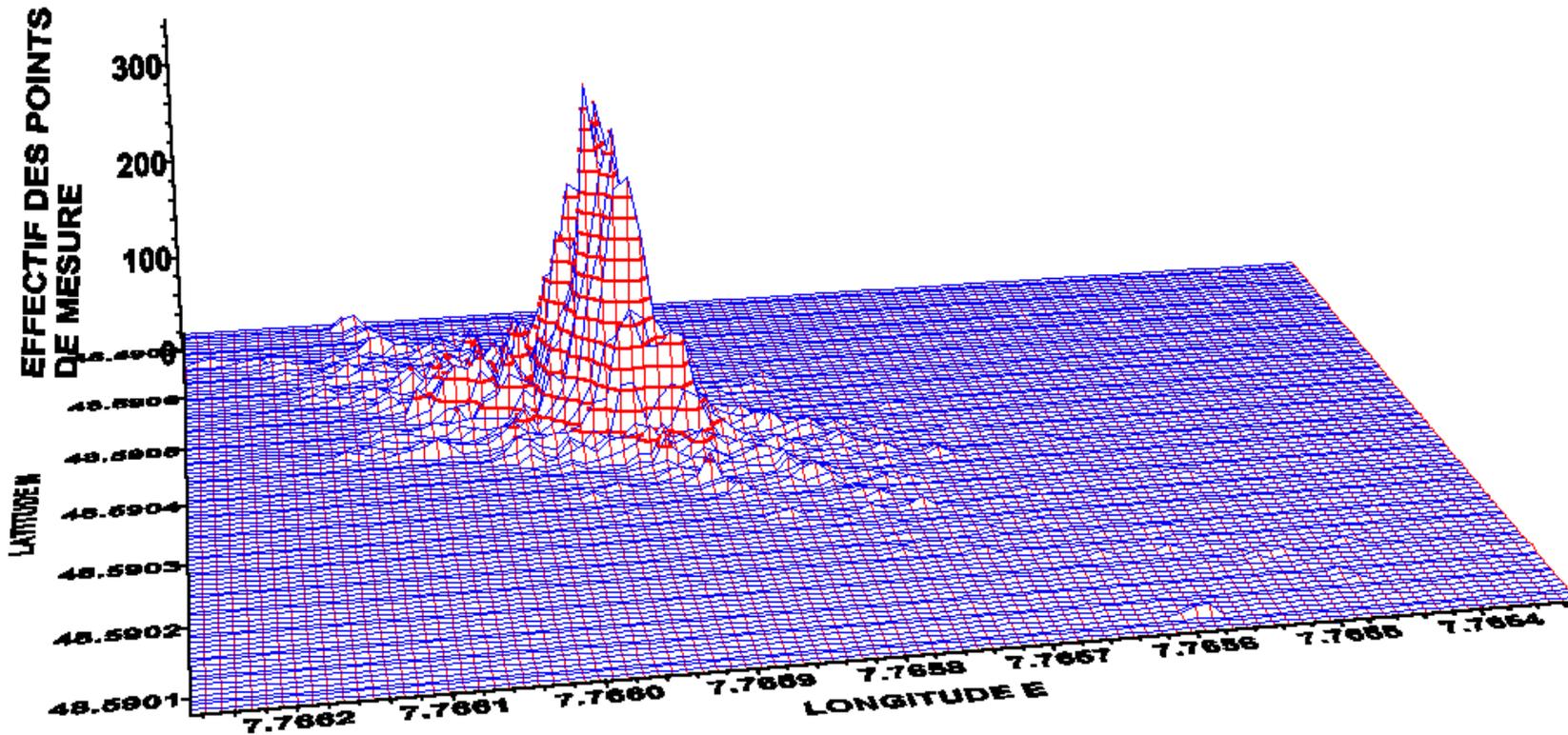
42000 MESURES EN MILIEU URBAIN



Moyennes pondérées par l'inverse de la dilution horizontale

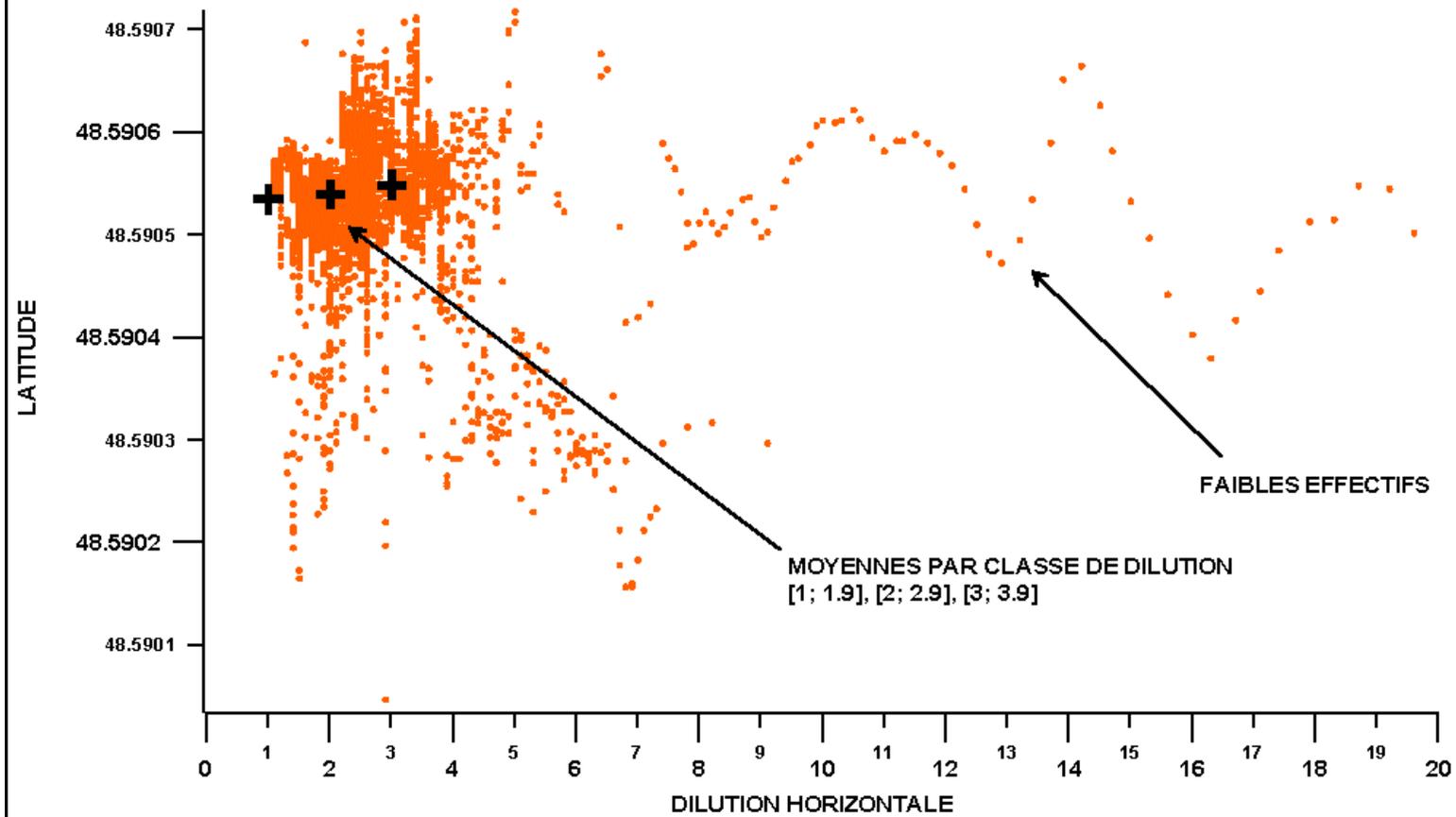
27000 MESURES EN MILIEU URBAIN

HISTOGRAMME 3D DE LA DENSITE DES POINTS DE MESURE



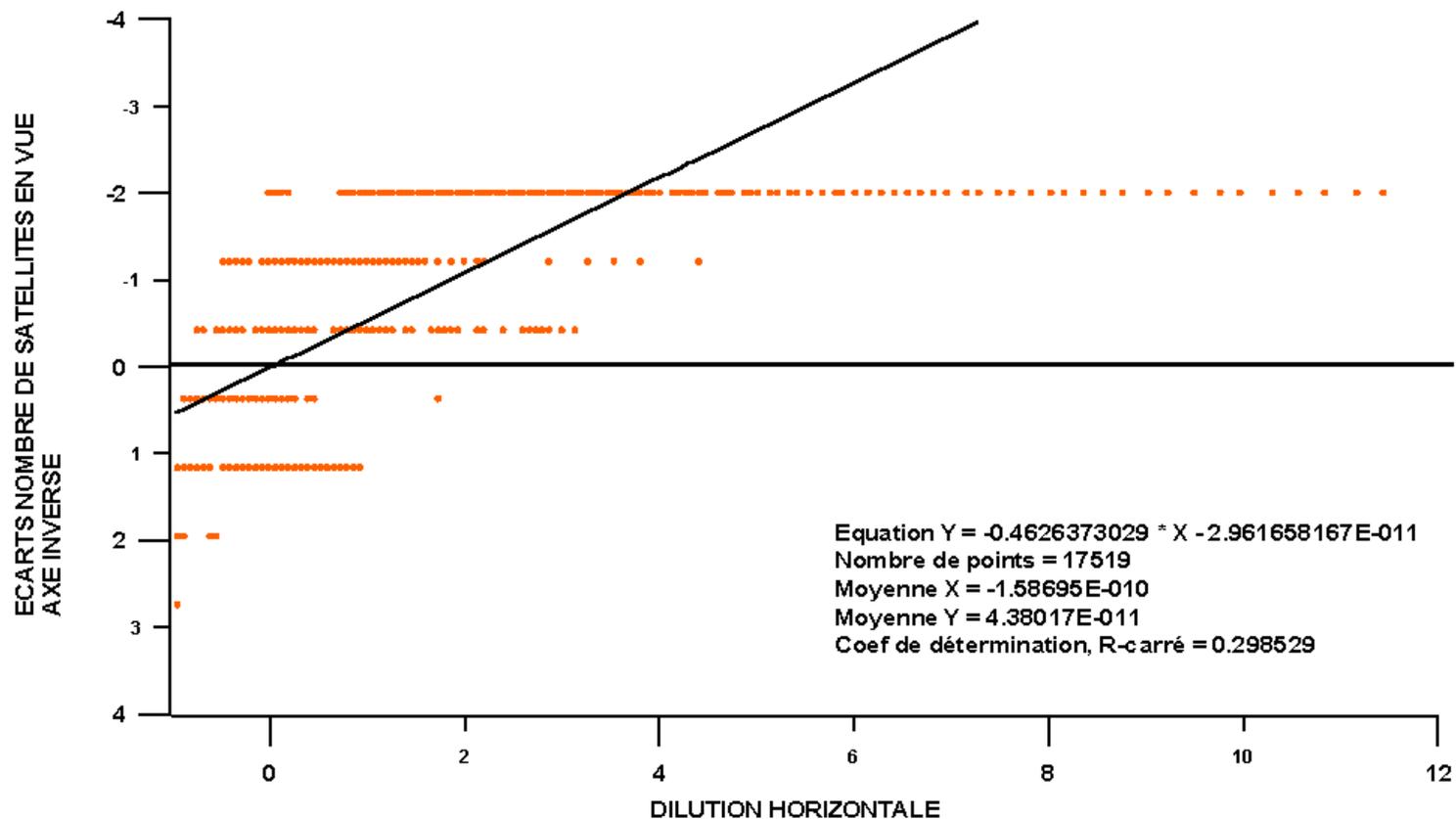
Thierry Hatt, Lycée Fustel de Coulanges, Janvier 2001

17500 MESURES DE LATITUDE LONGITUDE CORRELATION LATITUDE DILUTION HORIZONTALE



Thierry Hatt, Lycée Fustel de Coulanges, janvier 2001

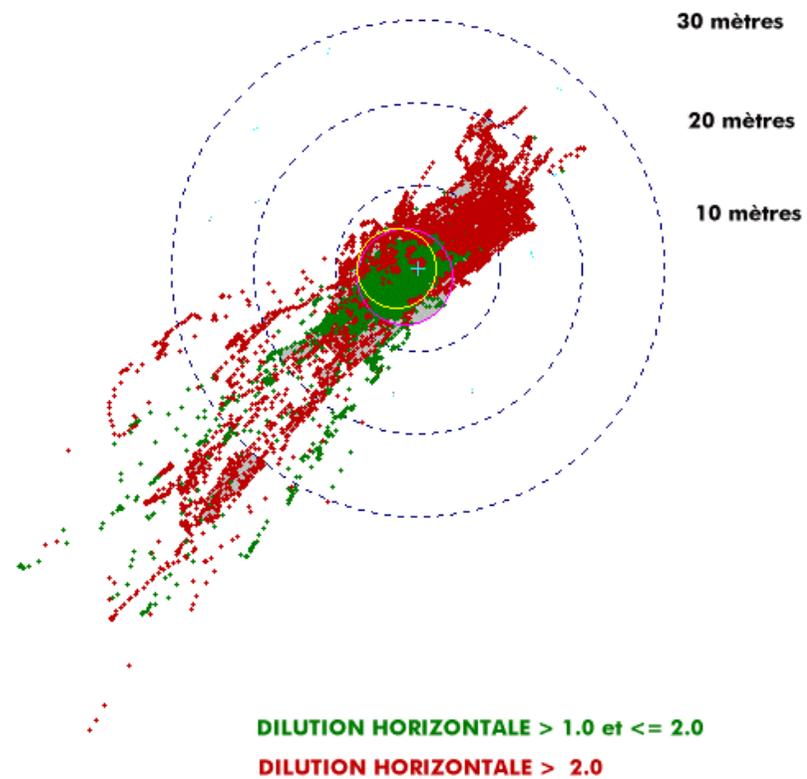
17500 MESURES DE LATITUDE LONGITUDE NOMBRE DE SATELLITES EN VUE X DILUTION HORIZONTALE VALEURS CENTREES REDUITES



Thierry Hatt, Lycée Fustel de Coulanges, janvier 2001

17500 MESURES

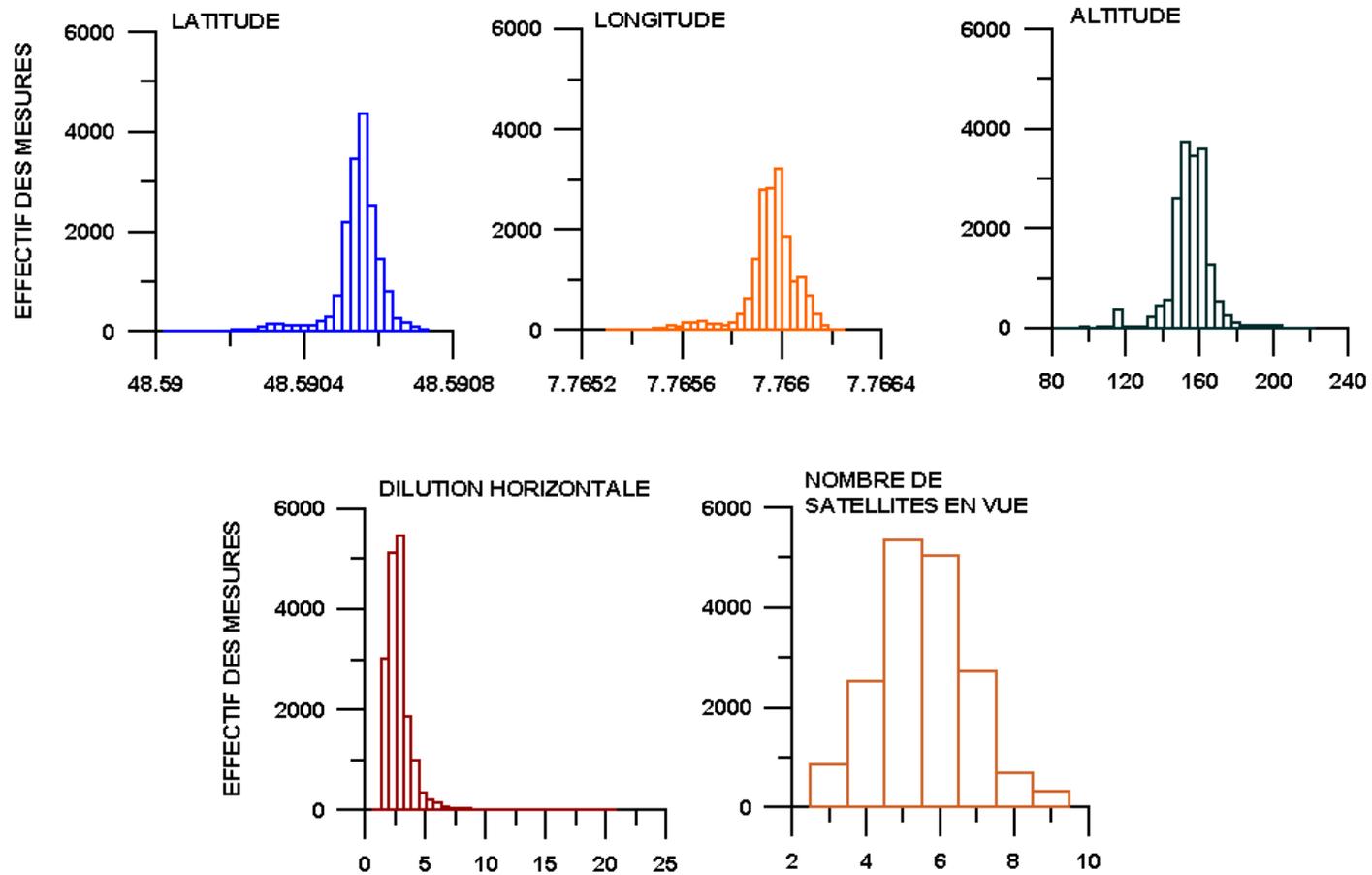
99% DES POINTS EST DANS LA LIMITE DES 41 METRES



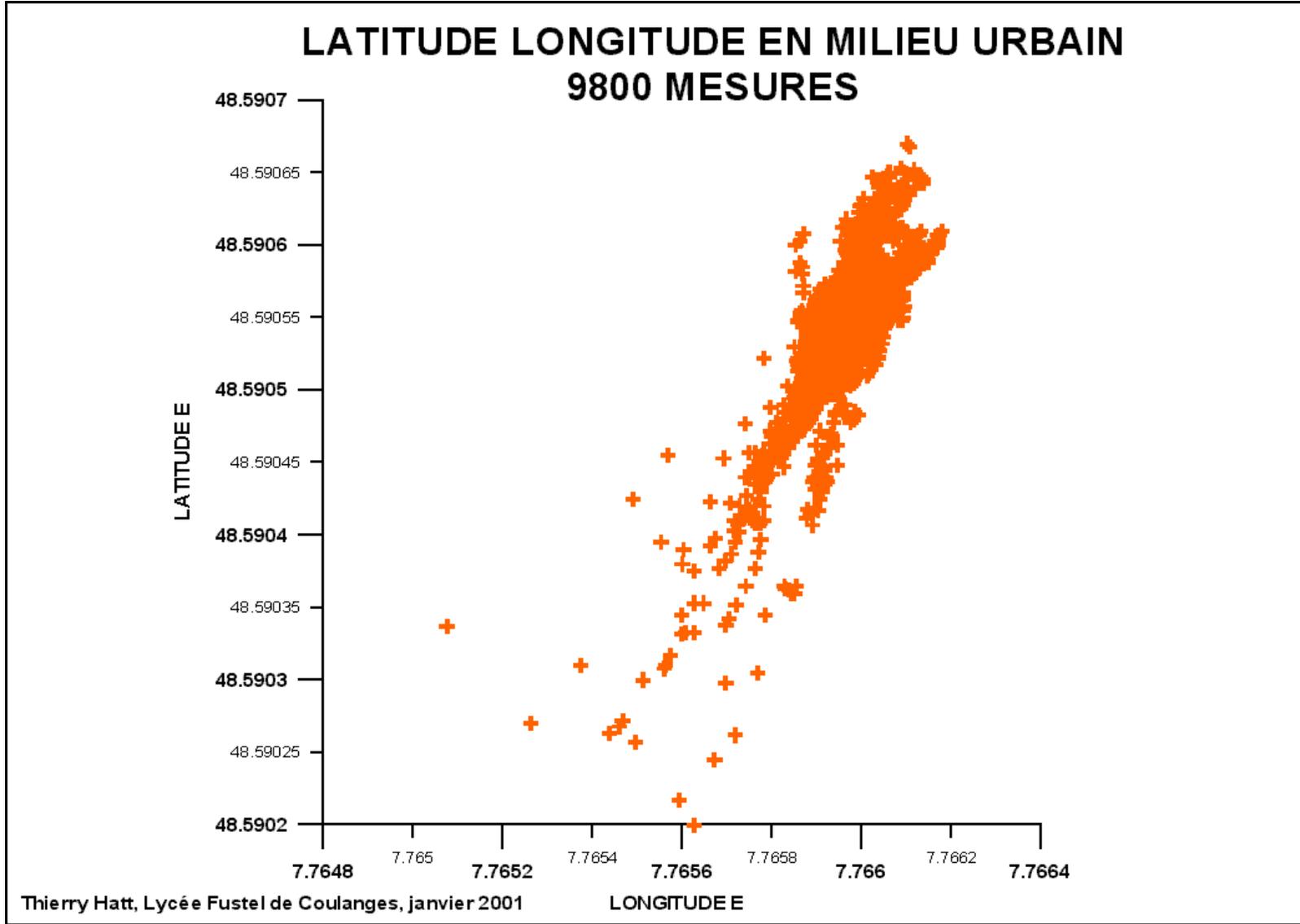
MOYENNE PONDEREE PAR L'INVERSE DE LA DILUTION HORIZONTALE

Th. Hatt, janvier 2001

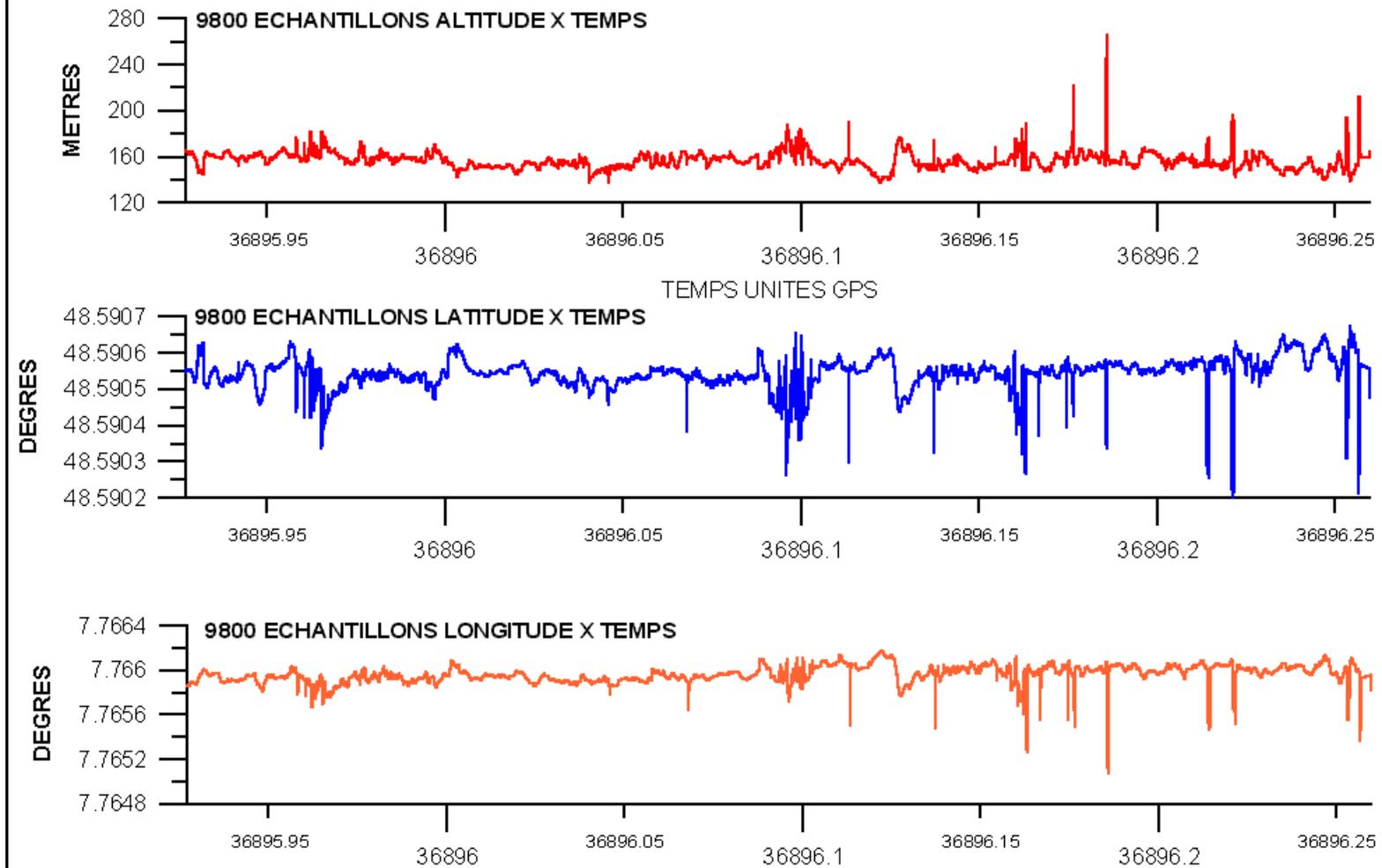
17500 MESURES ETUDE STATISTIQUE DES EFFECTIFS



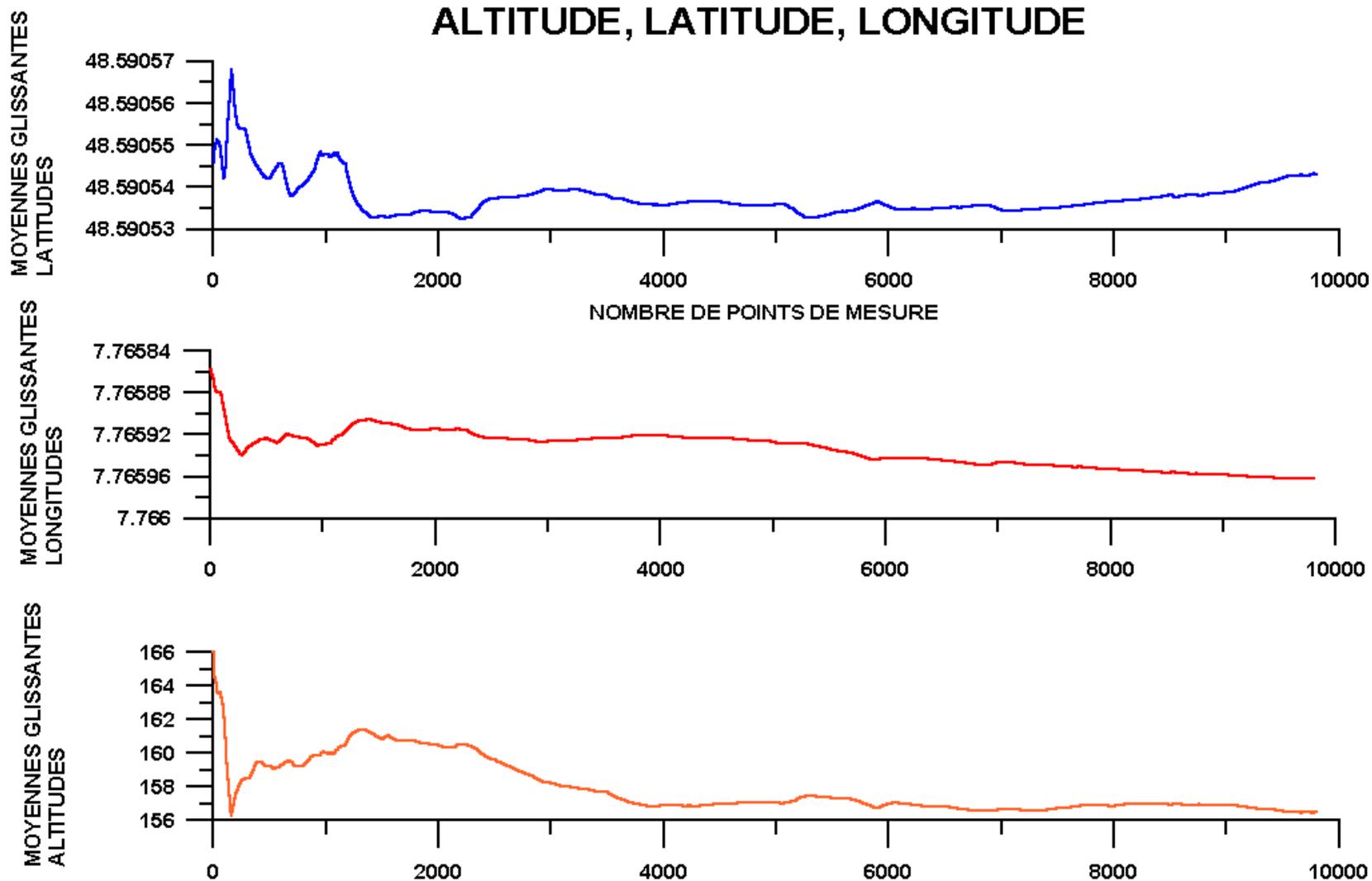
Thierry Hatt, Lycée Fustel de Coulanges, janvier 2001



9800 MESURES GPS SUR 12 HEURES

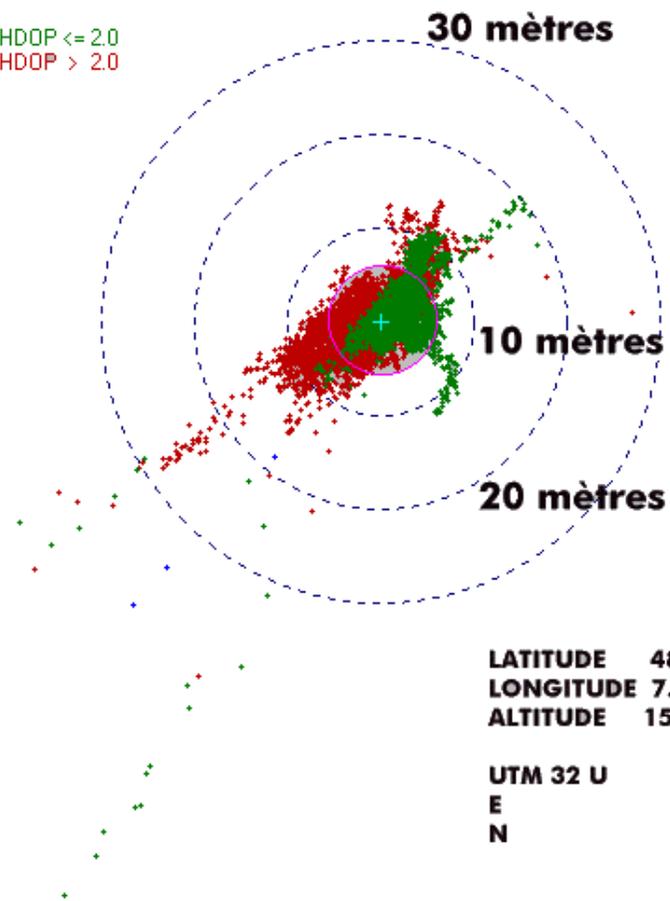


MOYENNES GLISSANTES SUR 9 800 POINTS DE MESURES ALTITUDE, LATITUDE, LONGITUDE



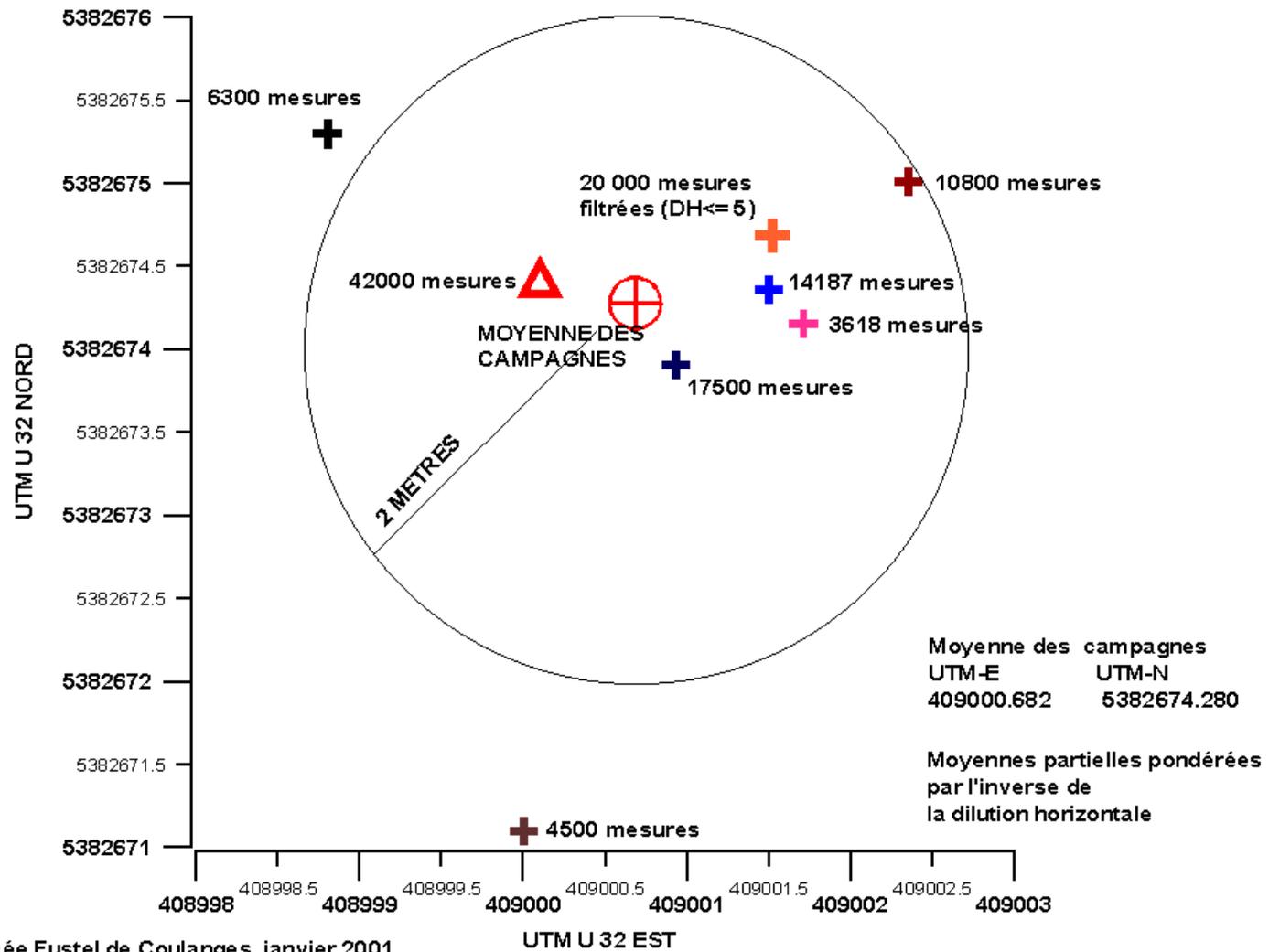
**6800 MESURES EN MILIEU URBAIN
3 ET 4 JANVIER 2001**

HDOP \leq 2.0
HDOP $>$ 2.0

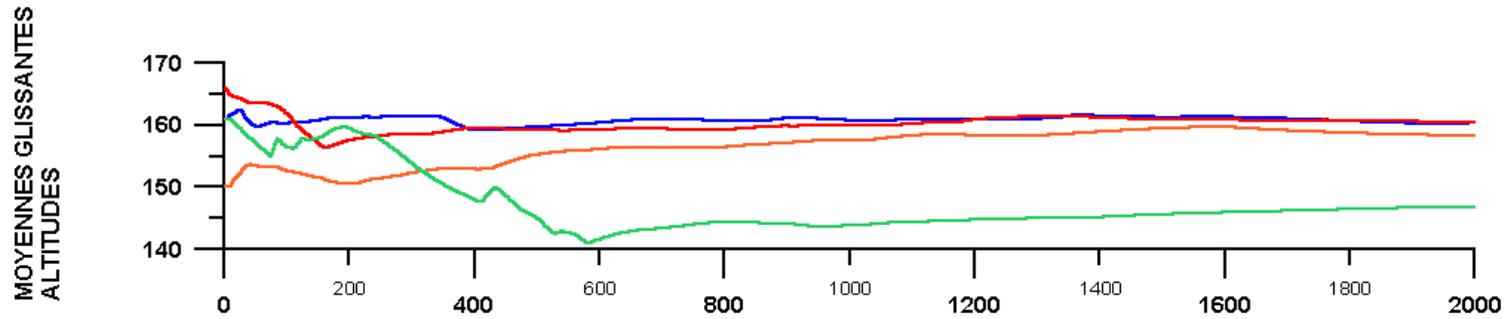
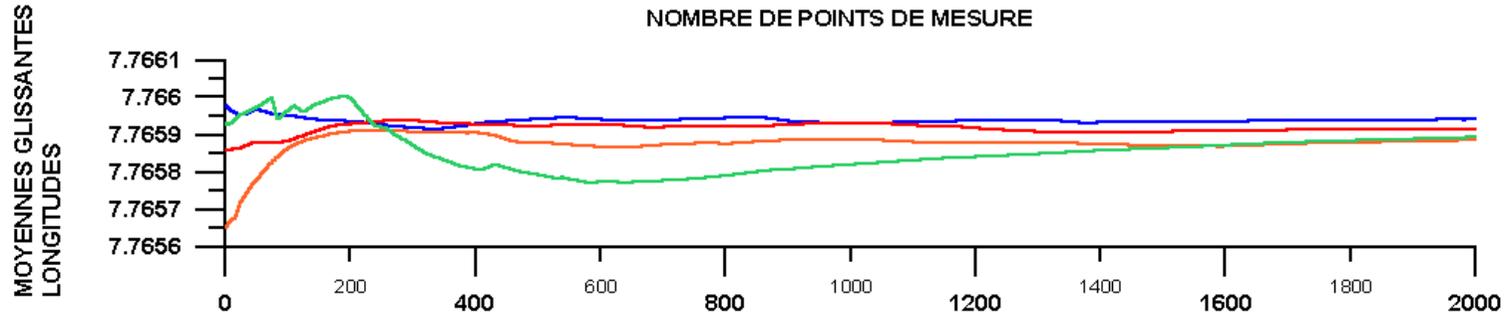
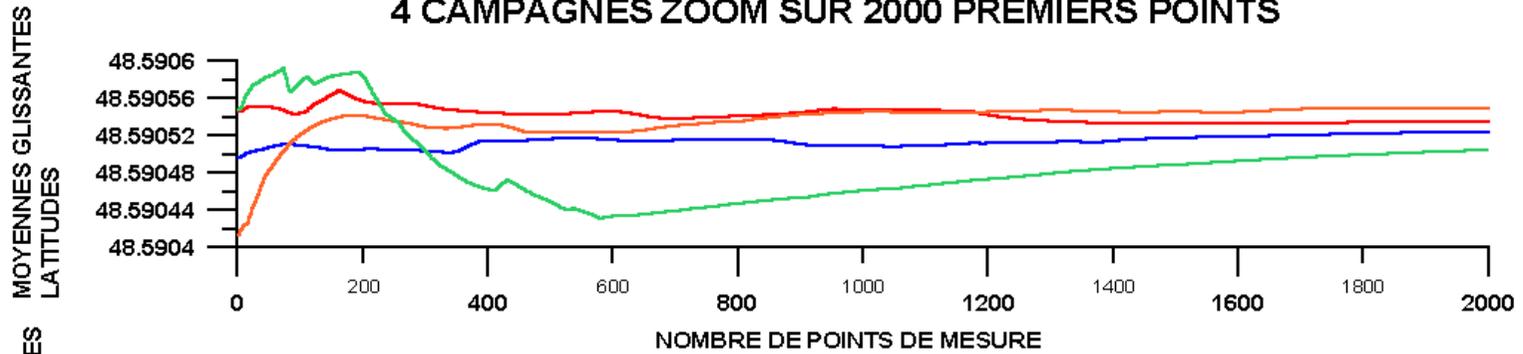


Moyenne pondérée par l'inverse de la dilution horizontale

SYNTHESE DES CAMPAGNES DE MESURE EN MILIEU URBAIN

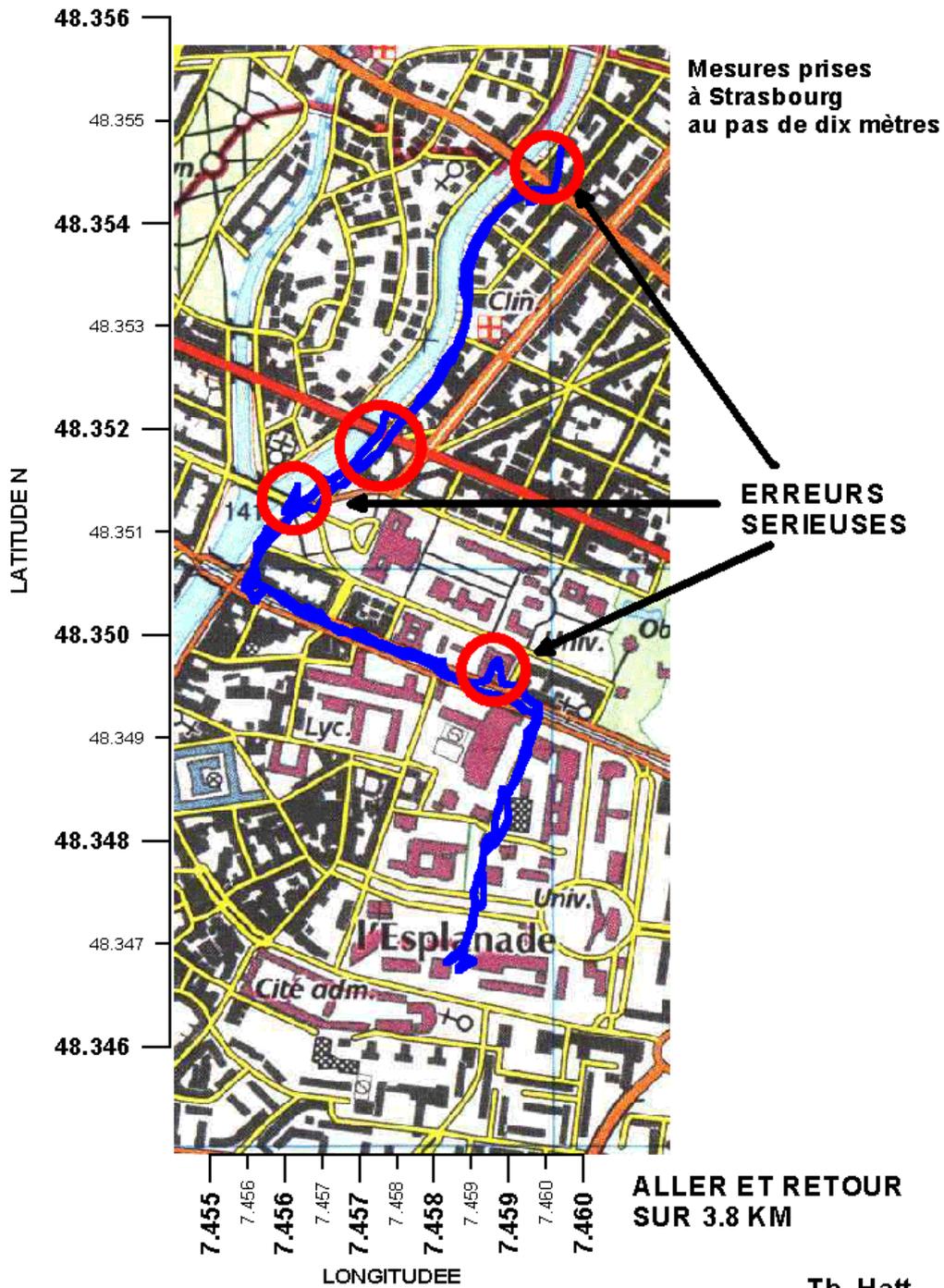


SYNTHESE DES MOYENNES GLISSANTES ALTITUDE, LATITUDE, LONGITUDE 4 CAMPAGNES ZOOM SUR 2000 PREMIERS POINTS



Thierry Hatt, Lycée Fustel de Coulanges, février 2001

GPS EN MILIEU URBAIN SEMI OUVERT



LE POSITIONNEMENT GLOBAL PAR SATELLITE LES APPLICATIONS

MESURES DE LATITUDE LONGITUDE EN MIEU DE MONTAGNE HUNSRUCK

- Objectif : mesurer la précision du GPS sans recours à des temps de pose longs en terrain varié. Pour cela nous avons simplement effectué un aller et retour en montagne, dans les Vosges du S pour mesurer la qualité de répétitivité des mesures.

- Les mesures se développent sur 9 km en quatre parties :
 1. une première partie : masque élevé à l'O sous futaie dégarnie par l'hiver au départ vers 700 m;
 2. la deuxième partie comprend un terrain plus ouvert les masques sont moins élevés, les arbres moins denses;
 3. la troisième se passe sous sapinière dense avec masque élevé à l'E
 4. enfin la quatrième partie est en terrain complètement ouvert sur les chaumes du sommet à 1200 m.
- Les positions ont été mesurées au pas 10 mètres ou 25 mètres (sur les chaumes à l'aller, 10 m au retour).

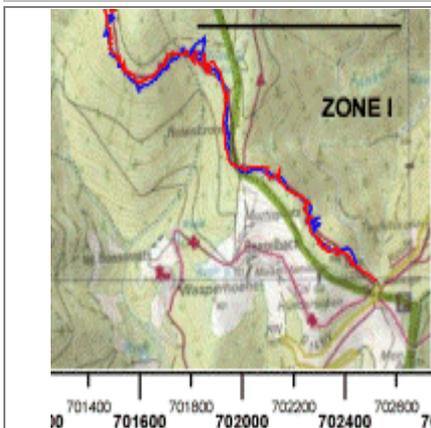
- Le trajet d'ensemble, l'aller est indiqué en bleu et le retour en rouge



Grande image

[image plus petite](#)

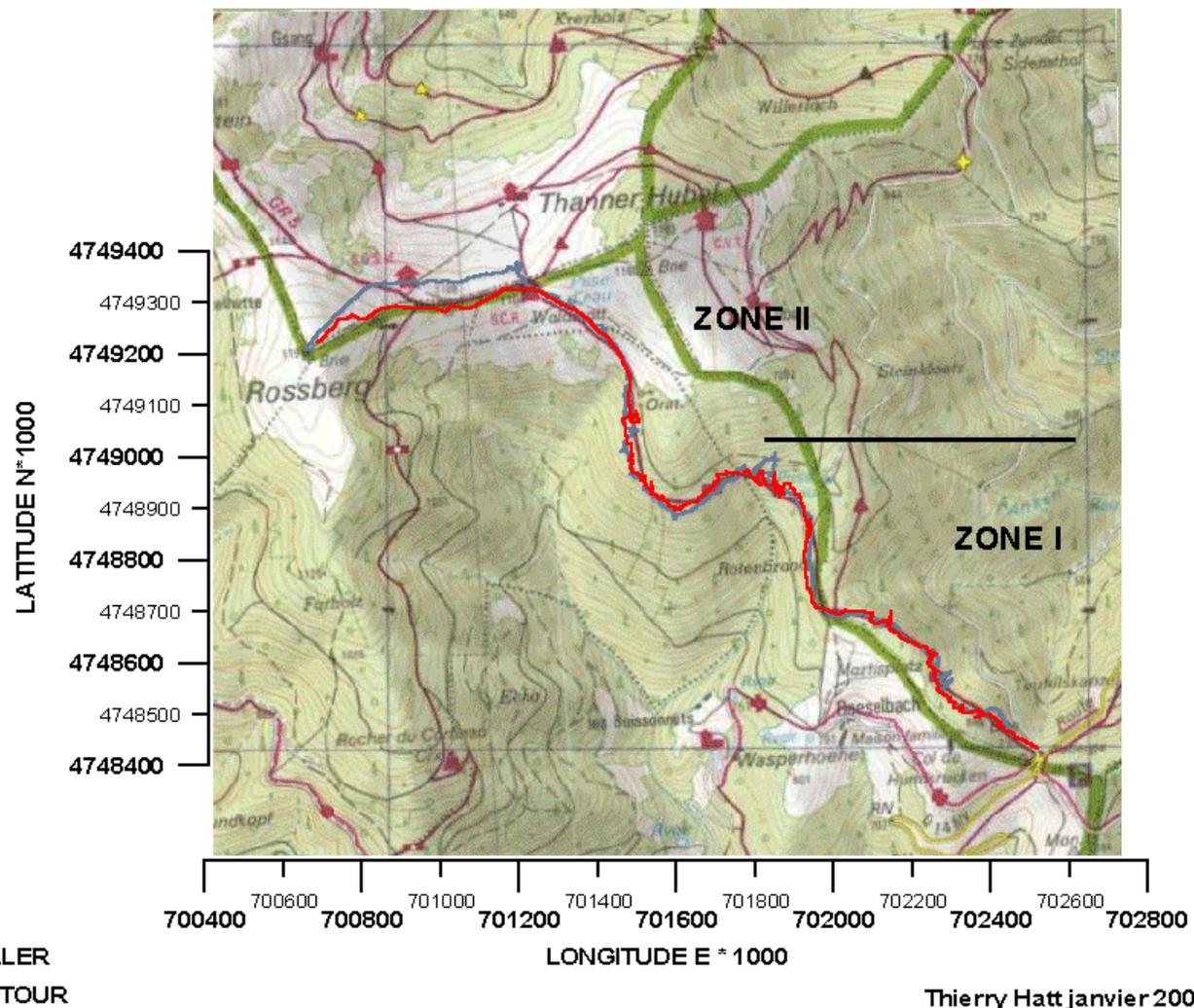
- La section avec masque W ou E, sous futaie ou sapinière dense, on remarque les sauts de position surtout au retour et la faible répétitivité du trajet. Peu de satellites en vue simultanément, de l'ordre de 4 à 5, une mauvaise DOP.

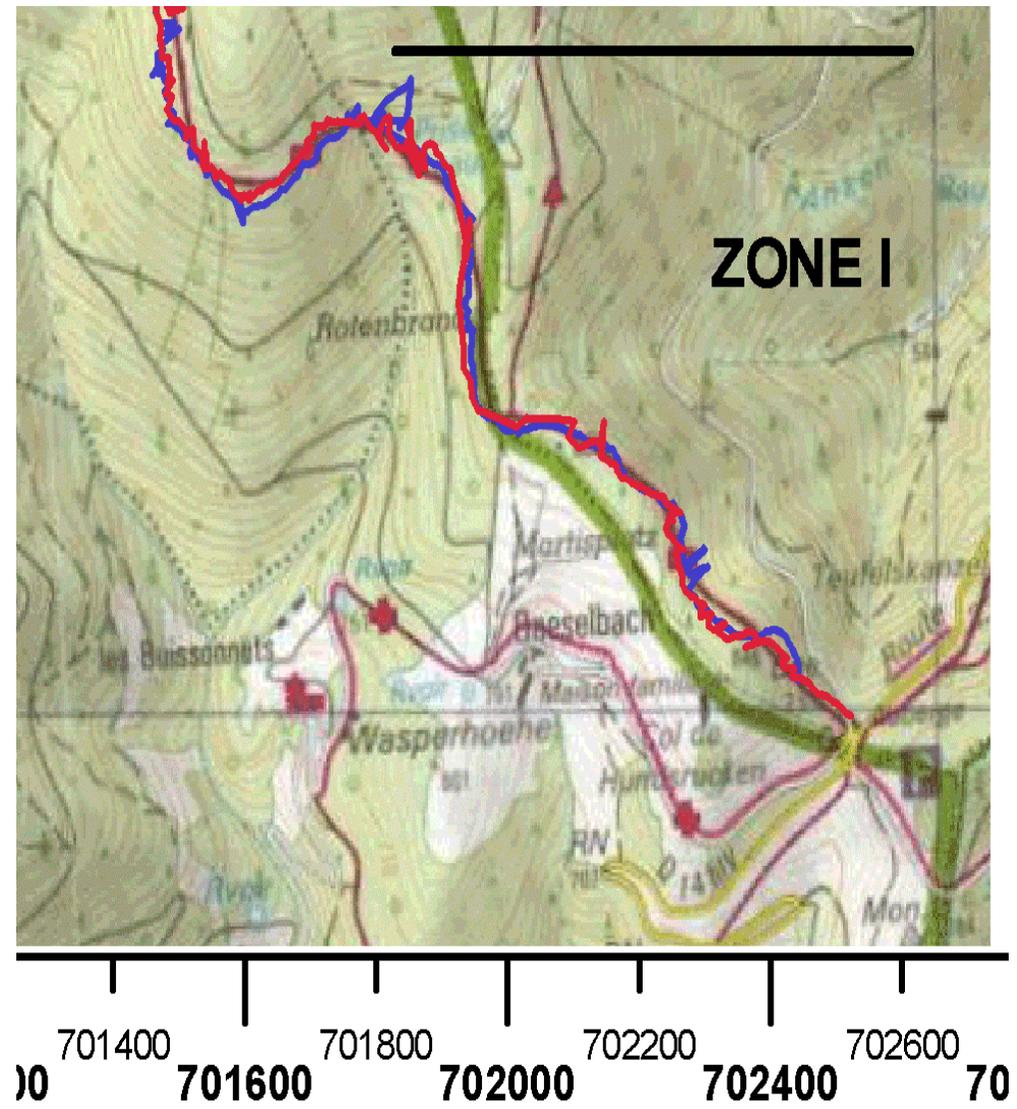


Grande image

[image plus petite](#)

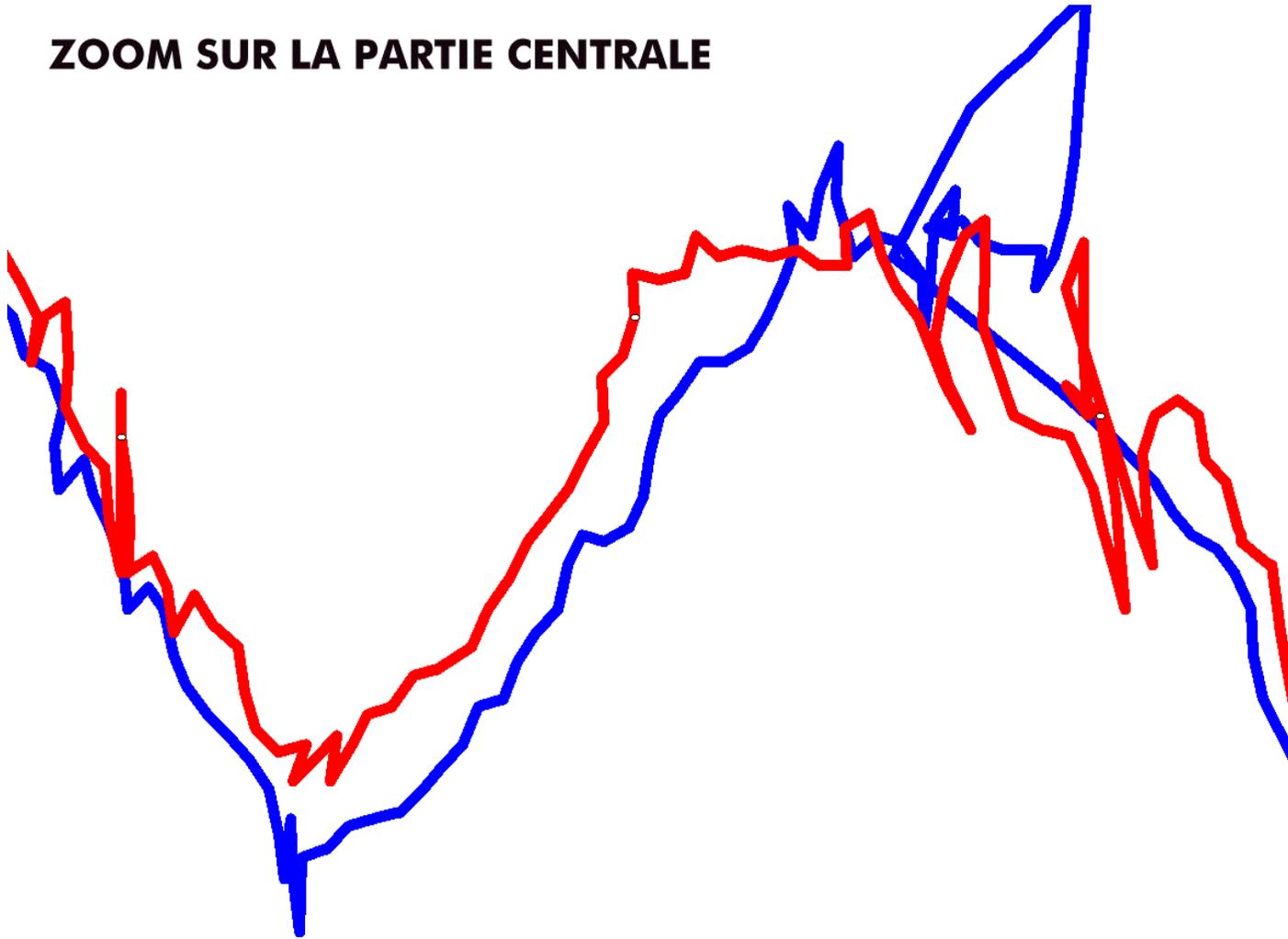
MESURES GPS AU HUNSRÜCK VOSGES DU SUD



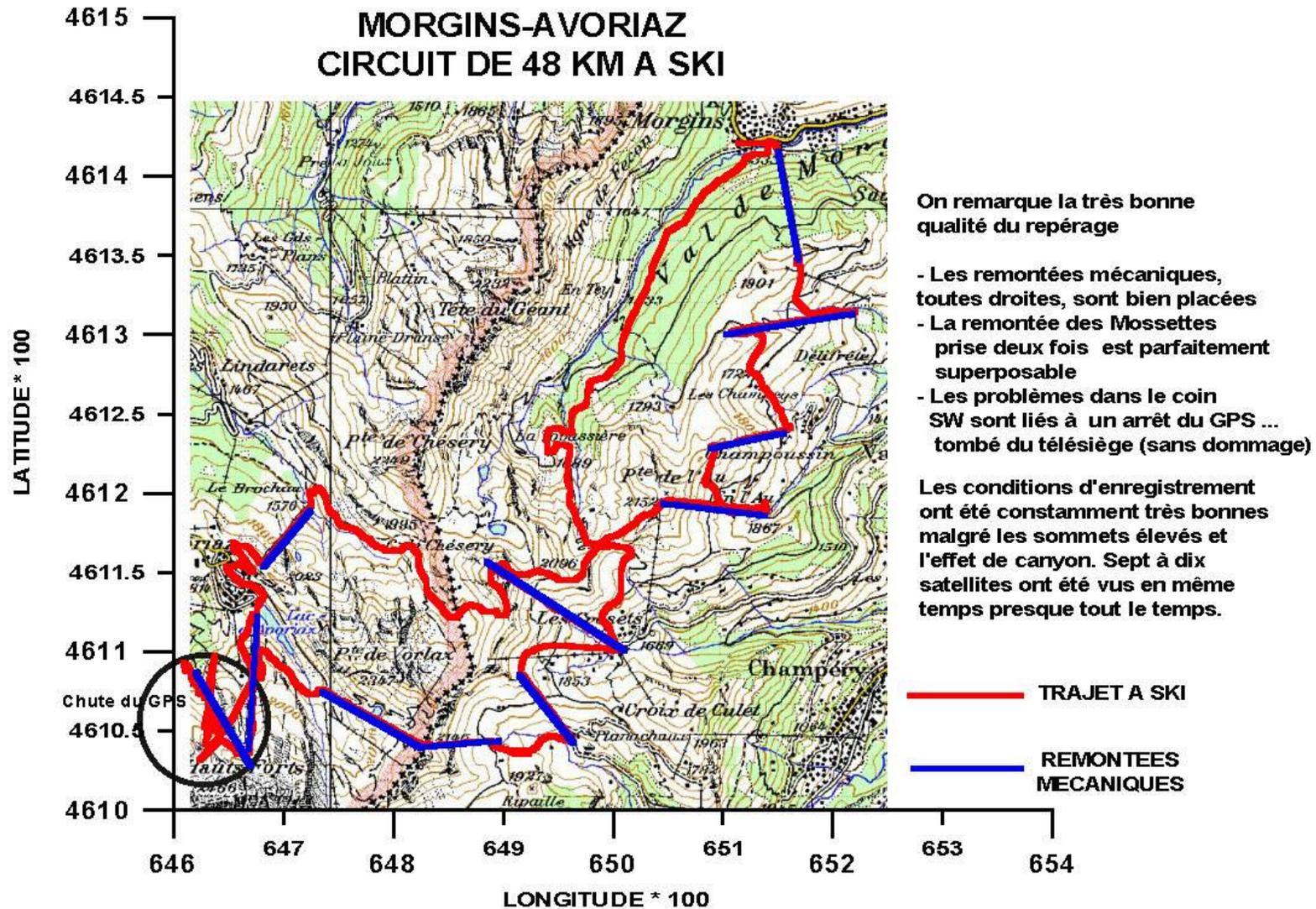


Zone Centrale

ZOOM SUR LA PARTIE CENTRALE



MORGINS-A-VORIAZ CIRCUIT DE 48 KM A SKI



Les commentaires détaillés des graphiques se trouvent sur le site Internet, on a mis l'accent ici sur les figures.

Conclusions

En milieu de montagne :

La précision est très suffisante pour la sécurité d'une promenade. On sait toujours où on est, même avec une visibilité nulle, la direction du retour est toujours indiquée. Mais les conditions de mesure sont clairement fondamentales : une vue dégagée, le moins d'obstacles possible pour éliminer les trajets multiples et permettre l'acquisition du maximum de satellites. Les masques, les obstacles des arbres rendent la précision beaucoup plus aléatoire. On a eu des résultats de qualité étonnante en milieu de haute montagne malgré les masques élevés.

En milieu urbain :

La dispersion des résultats en milieu urbain peut être très grande. Les campagnes longues améliorent notablement les résultats. Des mesures de plusieurs jours permettent de localiser les moyennes de plusieurs campagnes successives dans un cercle de deux mètres. Cela peut suffire à se positionner dans la rue. Mais des campagnes aussi longues ne sont évidemment pas toujours possibles. Pour des temps de pose brefs, les multitrajets, le masque des immeubles font fluctuer les positions sur de +/- 20 mètres. Les objectifs visés doivent donc être bien pesés; il est assez clair qu'il est illusoire de mener, par exemple, un cheminement urbain ou un repérage de position absolue en ville avec un GPS dans les temps compatibles avec un travail de classe en sortie.

- L'étude des moyennes mobiles montre qu'en dessous de 800 mesures les rebonds et les oscillations sont trop fortes pour une qualité suffisante (soit à raison de 2 secondes par point environ 30 minutes de mesure). Au delà, la dérive est beaucoup plus lente et il faut un nombre nettement plus important de mesures pour améliorer les résultats. Une demi-heure par point de "qualité" est donc d'un bon rapport qualité-prix.
- Ces résultats ne sont valables que pour cette campagne, pour cet appareil et ces conditions de mesure. Il m'est impossible de dire s'ils peuvent être extrapolés facilement.

Thierry Hatt, février 2001