

NIVELLEMENT ET GPS : L'ENTRETIEN DE LA REFERENCE NATIONALE ALTIMETRIQUE

*Michel Kasser, Professeur des Universités, Ingénieur en Chef Géographe
Chef du Service de Géodésie Nivellement,
Directeur du Laboratoire de Recherches en Géodésie*

Institut Géographique National, 2 Av. Pasteur, 94 165 Saint-Mandé Cedex, France

<michel.kasser@ign.fr>

ملخص

إن هذا المقال، الذي يسترجع، وهذا لتسهيل الفهم، اعتبارات منشورة على نطاق واسع في مجلة "جيومتر" سنة 1998، يرمي إلى إبراز الكيفية التي تظهر بها إشكالية قياس الارتفاع بأجهزة تحديد المواقع عندما نطرح مسألة صيانة شبكة وطنية. إن الإجراء المتبع حديثاً في فرنسا، والمطروح هنا، إضافة إلى الخلاصات التي أدى إليها، يستعمل قياسات أجهزة تحديد المواقع على عدد صغير من النقاط، مع تكثيف محلي للمعالم التي قيست بالتسوية المباشرة التقليدية.

RESUME

Cet article qui reprend pour faciliter la compréhension, des considérations largement publiées en 1998 dans la revue "Géomètre", vise à exposer comment se présente le problème de la mesure altimétrique par GPS lorsqu'on se pose la question de l'entretien d'un réseau national. La démarche suivie récemment en France est ici exposée, ainsi que les conclusions auxquelles elle a conduit : emploi de mesures GPS sur un petit nombre de points, avec une densification locale de repères mesurés par nivellement direct traditionnel.

ABSTRACT

This article, taking back some considerations widely published in "Géomètre" journal, to facilitate the understanding, aims at exposing how the problem of altimetric measurements by GPS presents itself, when we ask ourselves the question concerning a national network maintenance. the procedure followed recently in France and exposed here, as well as the conclusions to which it led : uses GPS measurements on a small number of points, with a local condensing of markers measured by direct traditional levelling.

Introduction.

L'emploi du GPS en altimétrie, motivé par des considérations économiques et par l'intuition que l'opération est probablement jouable, pose de très nombreux problèmes techniques et théoriques. Nous rappellerons ici tout d'abord le contexte théorique de la mesure des altitudes, puis nous résumerons l'apport possible du GPS dans un tel processus.

longtemps été obligé de s'intéresser au champ de pesanteur terrestre : en effet, la seule orientation accessible absolument partout est la direction de la verticale, qui est donc une référence obligée pour le topographe, d'autant qu'elle est repérable partout et à peu de frais (une simple nivellement) avec une précision tout à fait extraordinaire (aucune autre référence d'orientation n'offre de telles facilités).

I/ Les surfaces de référence et l'altimétrie.

La surface que tout le monde connaît, c'est bien entendu la **topographie**, c'est-à-dire la surface limite entre la Terre solide et l'atmosphère ou les océans. Cette surface peut être décrite très grossièrement comme une sphère de l'ordre de 6400 km de rayon, avec des écarts autour de cette sphère susceptibles d'atteindre plusieurs dizaines de kilomètres. Mais si l'on cherche à la décrire plus finement, on a

Si l'on étudie le champ de pesanteur, champ en $1/r^2$ (comme le champ électrique par exemple), on pourra définir des surfaces équipotentielles dont l'espacement varie d'un endroit à l'autre en fonction des variations de l'intensité du champ. Lorsque ces surfaces se rapprochent, et comme on s'en souvient pour le champ électrique, le champ de pesanteur augmente, ce qui se traduit par des valeurs de g plus importantes que lorsque ces surfaces s'éloignent (Une

surface équipotentielle du champ de pesanteur n'a donc rien à voir avec une surface où g serait une constante). Une telle surface équipotentielle est partout perpendiculaire à la pesanteur, donc à la verticale locale (toute direction horizontale y est donc tangente), mais g n'y est pas uniforme. Si les océans n'étaient traversés d'aucun courant, s'ils étaient de densité constante, et s'ils étaient au repos, leurs surfaces décriraient des équipotentielles du champ de pesanteur. L'une de ces surfaces, proche en général du niveau moyen de la mer, a été prise pour origine des altitudes (tout au moins des altitudes orthométriques) : on l'appelle **géoïde**. Le géoïde est assez voisin d'un ellipsoïde de révolution, par rapport auquel il présente des irrégularités plus ou moins corrélées avec la topographie, n'excédant pas la centaine de mètres. On recherche donc l'ellipsoïde qui est le plus proche du géoïde, et on privilégie cette nouvelle surface parce qu'elle se décrit mathématiquement par deux nombres seulement : le demi-grand axe a et le demi-petit axe b . On va donc repérer de manière fiable tout point par rapport à sa position sur l'ellipsoïde par trois nombres (par exemple une longitude, une latitude et une hauteur).

On retient donc ici quelques points importants :

- Le géoïde est par obligation la surface de référence des altitudes (le nivellement sert d'abord à faire couler l'eau par gravité avec le moins de pente possible, sa référence au champ de pesanteur et à ses anomalies est donc inévitable).

- Quoique choisi proche du niveau de la mer, il en est toujours distinct puisque le niveau moyen des mers ne cesse de changer au cours du temps (fonte des glaces polaires, effets météorologiques divers, mouvements verticaux de l'écorce terrestre, etc...)

- C'est une surface entièrement fictive, et généralement inaccessible à l'observation directe.

- Elle ne représente pas une surface à g constant (et c'est dommage, car g se mesure très bien aujourd'hui...)

II/ Définition d'un type d'altitudes

Une fois rappelée la notion de géoïde, tous les problèmes ne sont pas réglés, et de loin. Prenons un repère de référence, doté d'une altitude conventionnelle (cette origine en France est à Marseille, son altitude a été fixée après une campagne marégraphique de 1885 à 1897 : depuis

lors le niveau de la Méditerranée a changé de plus de 10 cm). Si nous additionnons les dénivelées successives pour passer de ce point à un autre, nous trouvons un résultat qui dépend significativement de l'itinéraire suivi. A quoi ceci est-il dû ? Essentiellement au fait que les équipotentielles successives du champ de pesanteur (le géoïde en est une parmi d'autres) ne conservent pas en tout point du globe une distance constante, ces distances dépendent en effet des variations de l'intensité de la pesanteur g . On est ainsi obligé d'appuyer la notion d'altitude sur une grandeur indépendante du chemin suivi, et on choisit à cet effet le travail effectué contre la pesanteur par l'unité de masse :

$$W_{OA} = \int_0^A g \, dh$$

Et l'on peut ainsi sans difficulté bâtir un type cohérent d'altitudes, en additionnant depuis le point origine les produits élémentaires "dénivelée \times valeur de g locale". L'inconvénient majeur de ce système dit **géopotential**, est que la différence entre deux altitudes ne ressemble en rien à la dénivelée mesurée (qui est une longueur), puisque toutes les mesures ont été multipliées par des valeurs de g , toujours assez proches de $9,8 \text{ m.s}^{-2}$. Pour corriger cette petite difficulté pratique, les divers systèmes d'altitudes courants consistent tous à diviser W_{OA} par une valeur conventionnelle g_c , par exemple :

- g_c étant pris égal à la valeur moyenne de g entre le géoïde et le point A , on obtient un système dit **orthométrique** (mais cette valeur de g est impossible à mesurer directement et fait intervenir des modèles pas forcément fidèles à la réalité). Ou alors,

- g_c étant pris égal à la valeur du champ de pesanteur dit "normal" (calculé pour une Terre "théorique" ellipsoïdique), on obtient une altitude **normale**. Mais dans ce cas on montre que la surface de référence n'est plus strictement le géoïde, mais une surface théorique qui en est proche, que l'on appelle communément le *quasi-géoïde* : ce point passablement complexe ne sera pas davantage évoqué.

La dernière source de complications est maintenant la suivante : un ensemble d'observations de nivellement direct sur un grand réseau reste toujours entaché de nombreux systématismes, *qui font intégralement partie de la réalisation du système d'altitude*. Ainsi pour la France, les nivellements NGF de premier ordre effectués par C. Lallemand (1890-1920) et par

L'IGN (terminé en 1969) s'écartaient ils de 60 cm à Dunkerque par rapport à une référence commune à Marseille, uniquement à cause des systématismes résiduels des observations.

Nous définissons alors la dernière surface de référence, mais à vrai dire la seule qui serve vraiment pour l'usager, la **surface d'altitude zéro** : il s'agit de la surface ayant, vis à vis d'un système d'altitude donné, une altitude constamment nulle. Habituellement, cette surface ressemble beaucoup au géoïde, mais elle subit des déformations à plus ou moins grande longueur d'onde matérialisant les défauts des observations élémentaires (systématismes, mouvements des repères par instabilité du sol, etc...). Ainsi il semble aujourd'hui, sur la base de nombreux indices, que les surfaces d'altitude zéro des nivellements Lallemand et IGN-69 aient par rapport au géoïde des pentes sensiblement Nord-Sud, de part et d'autre de celui-ci, sans que l'on ait vraiment compris pourquoi. D'où les discordances entre altitudes anciennes et nouvelles d'un même repère NGF, de l'ordre de 30 cm à Paris, à l'origine de nombreux tracés chez les techniciens (de nombreux plans de villes à grande échelle ont gardé les altitudes anciennes, l'IGN-F de son côté ne publiant plus le NGF que sous forme d'altitudes IGN-69).

Cette longue présentation de concepts de base nous permet de comprendre qu'avec des observations purement géométriques (GPS par exemple), et même en les supposant infiniment précises (ce qui est loin d'être le cas en général), il est impossible d'accéder à des altitudes calculées dans le nécessaire référentiel du NGF sans un modèle précis de surface d'altitude zéro, ce qui exige des calculs très importants.

III/ La mesure d'altitudes par méthodologie GPS

Les géomètres sont désormais familiers avec le GPS. Les matériels employés couramment pour nos applications de haute précision n'ont, malheureusement pour nos finances, rien à voir avec les récepteurs désormais très largement diffusés, pour quelques centaines de francs, pour la randonnée ou la navigation de plaisance ou automobile, qui donnent une position absolue à 100 m près au mieux. Nos récepteurs travaillent en effet toujours en mode différentiel, et mesurent la phase du signal reçu souvent sur deux fréquences. Les principales sources d'erreurs résiduelles du GPS sont :

- Connaissance de la position des satellites. Cette position est nécessairement imprécise au niveau de quelques mètres, mais l'observation différentielle

élimine la plus grosse partie de cette erreur. Lorsqu'on recherche la précision maximale, on est amené à stationner avec des récepteurs un jeu de points connus avec une bonne précision dans un référentiel mondial (eux-mêmes obtenus d'autres méthodes spatiales - radioastronomiques (VLBI) ou mesures de distances Terre/satellites avec un télémètre laser très puissant, ou encore comme sous-produit du système DORIS d'orbitographie ultra-précis du CNES -). On recalcule alors a posteriori la position exacte des satellites. Depuis 1992, un service international (IGS, pour International GPS Service) fournit de telles orbites à des fins scientifiques à quelques centimètres près.

- Connaissance du contenu électronique de l'ionosphère. Pour les ondes radio, l'ionosphère est une couche très perturbatrice, le signal qui se propage y est ralenti en fonction de la teneur locale en charges libres (qui varie parfois très rapidement avec le flux de particules venant du Soleil et de l'espace) et de la fréquence du signal. Lorsqu'on recherche la précision maximale, en recevant les deux fréquences émises et en comparant les temps de propagation sur ces deux canaux, on sait éliminer l'essentiel de cet effet qui n'est gênant que sur des bases assez longues (> 10 km). Mais ceci exige des récepteurs dits "bifréquence", que l'on emploie désormais volontiers malgré leur coût aussi parce qu'ils reçoivent deux fois plus de données et donc accélèrent notablement les opérations de terrain.

- Connaissance de l'indice de réfraction des derniers kilomètres de l'atmosphère : cette erreur que nous savons analyser (la vapeur d'eau, dont la présence dans l'atmosphère est quasiment aléatoire, en est un facteur d'erreur prépondérant) s'élimine en partie lorsque les deux récepteurs sont à la même altitude et dans des conditions climatiques proches, car l'observation différentielle soustrait l'un de l'autre deux facteurs mal connus mais presque égaux, ce qui n'est plus le cas si les altitudes des antennes sont très différentes (montagne). Dans tous les cas on note que la détermination de la coordonnée verticale (altitude ellipsoïdique) est toujours moins bonne que les coordonnées horizontales : son exactitude est rarement meilleure que 3 à 5 cm, même si les résultats des logiciels de calculs mettent en évidence une précision apparente souvent bien plus flatteuse que le centimètre.

IV/ Analyse de l'erreur du GPS employé en altimétrie de précision.

A/ Effets atmosphériques et instrumentaux

La symétrie de la figure formée par les satellites vus depuis le récepteur GPS est, en termes statistiques, une symétrie cylindrique autour de la verticale. Cela signifie que toute erreur sur l'indice de l'air, modifiant globalement les distances apparentes entre l'antenne et les satellites, fera peu bouger le point calculé en planimétrie, mais toujours beaucoup plus en altimétrie. Ceci, joint à notre précédente remarque sur l'effet de l'humidité aléatoire de l'air, explique pourquoi le GPS donne en détermination altimétrique un modèle d'erreur comme suit :

- Pour des points à une altitude voisine, une erreur qui augmente avec la distance (à cause de la variabilité de l'humidité de l'air)

- Pour des points à des altitudes différentes, une erreur d'autant plus forte que cette dénivelée est grande (le mode différentiel n'élimine en effet pas ce qui se passe dans la tranche horizontale d'atmosphère comprise entre ces deux altitudes, et les modèles utilisés sont nécessairement assez différents d'une réalité qui change tout le temps).

En plus, parmi les différents problèmes instrumentaux qui sont plus ou moins heureusement résolus par les fournisseurs de matériels GPS du marché, il faut en noter un qui est directement lié à la physique de la propagation des ondes radio (phénomène de diffraction). Il s'agit de l'impossibilité d'empêcher l'antenne de recevoir un signal réfléchi par le sol, et qui n'a donc pas effectué un trajet direct "réglementaire" vers l'antenne et se superpose au signal désiré. Si le sol est assez conducteur et d'une rugosité inférieure à la longueur d'onde (qui est de l'ordre de 20 cm), l'onde réfléchie est très intense mais sa polarisation est inversée par la réflexion, de sorte que l'antenne (sensible à une seule polarisation) reçoit assez peu de signal parasite, mais en reçoit tout de même. Toute la partie du signal diffusée par les aspérités du sol a acquis une polarisation aléatoire, et donc ne peut être discriminée par l'antenne. Et si le sol (avec les objets qui sont dessus) est rugueux autour de l'antenne (cas général), même s'il est peu conducteur, un signal diffusé important pourra être reçu.

Cette superposition entre le signal normal et ce signal parasite, appelé "multitrajet", engendre une série d'erreurs dont la moyenne est statistiquement nulle en planimétrie mais pas en altimétrie, sauf pour de très longues durées d'observation (une demi-journée par exemple), qui ne sont pas pensables dans un contexte de production courant.

Tous ces éléments concourent à donner souvent une exactitude assez modeste pour la composante verticale de la mesure GPS. Néanmoins le géomètre travaille souvent sur de courtes distances (de l'ordre du kilomètre) et avec de faibles dénivelées, et dans ces conditions l'exactitude sur cette dénivelée ne peut descendre en dessous de 2 cm. Mais bien souvent les erreurs moyennes quadratiques fournies par le calcul GPS seront considérablement plus optimistes : le géomètre ne doit pas se laisser abuser par des valeurs de l'ordre de quelques millimètres, qui ne reflètent que la dispersion des résultats, mais pas leur exactitude.

B/ Erreurs liées à la connaissance de la surface d'altitude nulle

Bien évidemment, pour exploiter des résultats GPS (donc purement géométriques) afin d'en tirer une information altimétrique, il est indispensable de disposer d'une cartographie aussi précise que possible de la surface d'altitude nulle dans le même référentiel. Cette surface est aujourd'hui disponible sur toute la France métropolitaine et la Corse, mais sa précision n'est guère meilleure que 2 cm, et dans les zones montagneuses elle est sans doute moins bonne. Ceci permet tout de même d'envisager la possibilité de fournir des altitudes à 2 ou 3 centimètres près sur des chantiers courants, avec un prix de revient nettement inférieur à celui d'un nivellement traditionnel.

Le processus de détermination est le suivant : tout d'abord le géoïde à proprement parler est calculé, en utilisant un modèle numérique de terrain (au pas de 130 m environ) sur toute la France ainsi qu'une bonne partie du reste de l'Europe autour de la France, un modèle de densité des couches supérieures de la lithosphère, une grande quantité de mesures de l'accélération de la pesanteur (près d'un million) ainsi qu'un modèle global de champ de pesanteur déduit des mesures de géodésie spatiale (l'orbite d'un satellite trahit en effet les moindres variations de la pesanteur) des dernières décennies. Une fois ce géoïde calculé et validé, on le bascule pour l'adapter aux erreurs du réseau NGF, au moyen des points géodésiques GPS du réseau français RGF qui ont reçu une mesure de nivellement et sont donc aussi rattachés au NGF. En chacun de ces points on connaît ainsi l'écart entre la composante verticale du GPS (mesure purement géométrique) et l'altitude NGF.

Si le NGF, le géoïde, ainsi que la détermination du RGF étaient parfaits, ces écarts seraient constants. En fait l'écart varie suivant de très grandes longueurs d'ondes, et l'adaptation du géoïde à ces écarts NGF-RGF est l'information qui permettra à l'utilisateur de GPS de calculer ses altitudes NGF.

Les erreurs que l'on trouve dans cette grille ont finalement pour origine :

- les valeurs de g mesurées parmi lesquelles il y a encore un nombre appréciable de fautes de mesure ou de réduction, et une grande irrégularité spatiale dans les mesures, avec une densité particulièrement faible en montagne,

- les incertitudes sur le RGF, dont la composante altimétrique est forcément assez peu précise comme on a pu le voir auparavant.

La précision du résultat est en général meilleure que 2 cm en plaine, et pourra dépasser 10 cm en montagne. Mais dans beaucoup de chantiers, la précision requise sera moindre dans une zone de fortes pentes...

Il est clair que, pour que les résultats soient homogènes avec les levés habituels, calés ou non sur le NGF, il est indispensable de prendre conscience de l'importance de l'emploi de la correction de géoïde, qui se chiffre souvent à plusieurs centimètres par kilomètre de distance entre les repères. Avec la grille de correction désormais disponible en France, diffusée par l'ESGT et librement accessible à tous (site <http://www.esgt.cnam.fr>), première en son genre dans ce pays mais qui sera certainement améliorée par les uns et les autres dans les prochaines années, le géomètre dispose d'un nouveau moyen d'améliorer sa productivité sur certains chantiers.

L'entretien du réseau national d'altitudes, le NGF

Le schéma Directeur de Géodésie et Nivellement adopté en Janvier 2000 par l'IGN-F prévoit les grandes priorités des prochaines années. Parmi les attendus, notons les remarques suivantes :

- *Malgré leur équipement encore réduit, de plus en plus de géomètres effectuent (ou font effectuer) des travaux altimétriques par GPS. La diffusion d'informations sur les corrections de géoïde à apporter devient impérative. Par ailleurs la grille de corrections RAF 98 calculée par H. Duquenne (ESGT) doit autant que possible être encore améliorée et étendue (Corse, DOM). Ceci implique des démarches dans plusieurs directions :*

étendre le nivellement scientifique (traverse Est Ouest en complément de la traverse Nord-Sud mesurée en 1983), améliorer la couverture gravimétrique sur les points RBF (réseau géodésique de base très précis et couvrant la France) et nœuds de nivellement, reprendre les rattachements altimétriques douteux sur les points RBF.

- *Il manque actuellement des études permettant de conclure en matière d'emploi du GPS pour l'entretien du NGF, même si cette méthodologie est déjà entrée dans les habitudes de certains géomètres. Ces études, ainsi que l'amélioration de la grille altimétrique, sont essentielles pour définir les travaux des prochaines années. Par ailleurs, la visite systématique va en effet montrer l'état réel du NGF, et donnera donc une base objective à des travaux de réfection, pour lesquels les techniques de remesure doivent être optimisées à partir des moyens d'aujourd'hui.*

Et parmi les orientations retenues, nous noterons :

- ** Mettre au point des spécifications pour l'emploi de GPS pour l'entretien du NGF.** Ceci nécessitera de poursuivre des expériences en grandeur réelle afin d'évaluer les cas d'emploi du GPS, ainsi que les modalités de contrôle qualité.

Ainsi que, pour mémoire :

- ** Améliorer la grille de correction altimétrique.** Ceci implique, en poursuivant les collaborations externes déjà actives) :

- une extension à la Corse et aux DOM,
- une amélioration de la composante verticale du RBF,
- des mesures gravimétriques nombreuses et de grande exactitude, sur des programmes à préciser avec les autres acteurs nationaux concernés.

- un renforcement considérable du réseau de nivellement de référence de très haute précision.

- la reprise de toutes les opérations de rattachement NGF - RBF apparaissant comme douteuses lors des calculs.

- une poursuite des calculs menés à l'IGN puis à l'ESGT, et une diffusion aussi large que possible de cette grille de correction.

- une normalisation du format de cette grille de référence.

Les travaux entrepris depuis l'adoption de ce Schéma Directeur se sont basés sur de nombreuses

expérimentations menées au SGN, en particulier par A. Coulomb, avec des mesures GPS et du nivellement direct mené en parallèle de façon presque synchrone. Il en ressort qu'il n'est pas possible avec les matériels et logiciels actuels de déterminer une altitude par GPS à beaucoup mieux que 2 cm d'écart-type, même sur des bases courtes, aussi longtemps que l'on ne stationne pas chaque point sur des durées de plus de 30 mn. Encore faut-il alors être très attentif à la détection des multi-trajets, dont l'apparition n'est pas toujours facile à anticiper. Dans ces conditions, les mesures altimétriques par GPS n'ont d'intérêt que si les conditions suivantes sont remplies :

- La durée d'observation de 30 mn crée des conditions d'usage économiquement rentables compte tenu de l'effectif de techniciens à employer sur le terrain,

- La sécurité sur le terrain est améliorée pour les techniciens (elle devient de plus en plus problématique le long des routes actuelles),

- Le modèle d'erreur est compatible avec les attentes des usagers.

Après l'étude de ces différents aspects du problème posé, il semble possible dès aujourd'hui de mettre en place un processus acceptable. Il est certain que dans quelques années il y aura encore des changements appréciables en matière de GPS, tant sur des aspects matériels (plus de satellites par rajout des constellations Glonass puis Galileo) que sur les traitements des mesures. Pour le moment nous proposons quand même de passer à l'action et de faire évoluer les méthodes dans le sens suivant :

- Mise à disposition de repères et entretien de ceux-ci avec une densité directement liée à la densité d'habitations. En France, ceci se traduira par l'entretien des repères dans les villages et autres agglomérations, et l'abandon progressif de l'entretien des repères placés en pleine campagne (ces repères étant presque toujours sur des ouvrages de faible stabilité, ponceaux, petits aqueducs, etc...où des tassements centimétriques sont très fréquents, et où les besoins de précision sont moindres).

- Les repères seront alors observés à partir des points du RBF (1000 repères sur toute la France), au fur et à mesure de l'amélioration de leur altimétrie (il reste encore quelques cas où des reprises en nivellement sont requises, cas qui seront rapidement traités), en observant sur une durée longue (typiquement 1 heure) une base entre le RBF et un point dans le village considéré. L'objectif est que la dénivelée sur cette base soit connue à mieux que 2 cm d'écart-type.

- Les autres repères à déterminer dans le village seront alors mesurés depuis ce repère, dans un rayon de quelques centaines de mètres, par nivellement direct. La règle actuelle consiste à implanter les repères par groupes de 3, ce qui permet aux géomètres d'en tester la stabilité aisément et réduit les risques de destruction complète du site.

Cette méthodologie va faire l'objet de campagnes d'essais au cours des prochains mois, qui devront permettre de valider ce concept tant en termes de précision que de gains économiques et de sécurité pour les opérateurs. Mais tout laisse à penser, en l'état de la situation qui prévaut en France, que cette solution pourra être adoptée. En effet le géomètre utilisateur ne rencontrera probablement pas de situation où les discordances du GPS seraient visibles dans ses propres mesures et donc gênantes. Et la précision locale est d'autant meilleure que la zone est plus habitée, ce qui semble cohérent avec les demandes actuelles.

Conclusion

Les mesures altimétriques par GPS posent des problèmes nombreux. Néanmoins il semble qu'il soit actuellement possible de s'en servir moyennant un grand nombre de précautions, avec un bénéfice économique significatif. Néanmoins il ne sera possible de conclure qu'avec les résultats des premières campagnes qui seront effectuées en France sous peu.