



Prédiction et diffusion d'éphémérides à long terme GPS et GALILEO pour appareils connectés

Rapport du stage effectué du **6 avril 2010** au **2 juillet 2010**

Destinataires :

- Tuteur pédagogique : **M. Brahim HAMID**
- Responsable de stage : **M. Yves BARDOUT**

Remerciements

Avant de commencer ce rapport, j'aimerais remercier **Thales Alenia Space** dans son ensemble pour m'avoir accueilli dans son département **Ingénierie** de l'unité de business **Navigation et Communications Intégrées** dans le cadre mon stage de fin de licence 3 MIASHS.

Plus particulièrement, je remercie mon tuteur de stage, **M. Yves BARDOUT**, qui a su m'encadrer et me conseiller. Je tiens à lui exprimer toute ma reconnaissance sa disponibilité, sa pédagogie et sa patience tout au long de ces trois mois de stage.

J'aimerais également adresser ces remerciements à **M. Thibaud CALMETTES** et **M. Michel MONNERAT** pour l'écoute et l'aide qu'ils ont su me fournir pour les quelques difficultés que j'ai rencontré.

Pour finir, je remercie mes collègues de bureau qui sont **Mlle Ana PETCU**, **M. Olivier WAFFLARD** et **Mlle Marine LIEVIN** pour l'ambiance sympathique qu'ils ont su apporter.

Sommaire

Remerciements.....	2
Sommaire.....	3
Introduction.....	5
I - Présentation de l'entreprise	6
A - Le groupe Thalès.....	6
1) Secteurs d'activité.....	6
2) Actionnariat.....	7
3) Organisation.....	7
4) Quelques chiffres.....	7
B - Thales Alenia Space.....	8
1) Historique.....	8
2) Activités.....	8
3) Clients.....	9
4) Implantation géographique	9
5) Site toulousain.....	10
C - La Business Unit Navigation et Communication Intégrées.....	11
1) Principaux projets.....	11
2) Organisation.....	13
II - Présentation du sujet.....	13
III - Etude de l'existant	15
A - Historique	15
B - L'environnement.....	15
C - La plateforme.....	16
1) Fonctionnement externe.....	16
2) Fonctionnement interne.....	17
3) Qualité de service	19
IV - Travail effectué.....	21
A - Environnement de développement.....	21
B - Corrections	21
C - Statut du service	23
D - Graphiques supplémentaires.....	23
1) JPGraph.....	23
2) Historique de l'erreur utilisateur	24

3) Disponibilité des satellites	28
E - Filtrage des LTE	29
1) Indisponibilités	29
2) Visibilité	30
F - Alerte des utilisateurs	30
G - Simulation d'assistance GALILEO	30
H - Guide du développeur	31
I - Client SUPL.....	31
J - Evolutions.....	32
Conclusion	33
Table des illustrations.....	34
Index lexical.....	35
Abstract	36

Introduction

A la fin de ma licence MIASHS, j'ai été amené à effectuer un stage du 6 avril 2010 au 2 juillet 2010 au sein de Thales Alenia Space située sur Toulouse. J'ai été intégré dans l'unité business Navigation et Communications Intégrées sous la direction de M. Yves BARDOUT.

Durant mes 3 mois de stage, j'ai dû apporter des améliorations sur un service d'assistance destinée à des terminaux AGPS¹ dans le cadre du projet européen GAMMAA² ainsi qu'à des fins de Recherche et Développement. Mon travail a principalement consisté à corriger des erreurs et assurer le bon fonctionnement d'outils déjà développés.

Ce stage m'a permis de découvrir le secteur industriel orienté vers le spatial à travers une structure importante. J'ai pu mettre en pratique les techniques acquises au cours de ma formation dans un cadre différent de celui vu jusque-là dans la mesure où il s'agissait d'un secteur scientifique non informatique de formation. Ce fut d'ailleurs pour moi l'occasion de transmettre mes connaissances en termes de démarche de développement en rédigeant un guide d'une trentaine de pages.

Nous allons dans un premier temps faire une présentation de Thales Alenia Space à travers son historique, ses activités ainsi que le service dans lequel j'ai été accueilli. Nous ferons une courte présentation du sujet de stage. Nous allons ensuite aborder l'environnement et l'objectif du système sur lequel j'ai travaillé à travers une étude de l'existant. Nous continuerons sur les différentes améliorations que j'ai dû y apporter. Pour finir, nous prendrons un peu de recul pour évaluer ce que m'a apporté ce stage.

¹ **AGPS** : Assisted **GPS**

² **GAMMAA** : **GALILEO** Receiver for **Mass Market Applications** in the **Automotive Area**

I - Présentation de l'entreprise

A - Le groupe Thalès

Thales est un des leaders mondiaux des systèmes d'information critiques sur les marchés de l'aéronautique et de l'espace, de la défense et de la sécurité.



Figure 1 - Logo de Thales

Il est présent sur toute la chaîne de valeur. Le groupe s'engage dans des technologies à applications duales avec un portefeuille d'activités équilibré entre civil et militaire et des synergies optimisées. Thales, c'est également un partenariat à long terme avec les clients, des opportunités accrues, des accès aux compétences et ressources locales ainsi que le respect des exigences de sécurité nationale.

1) Secteurs d'activité

Nous pouvons distinguer trois secteurs d'activité principaux : Aérospatiale, Défense et Sécurité

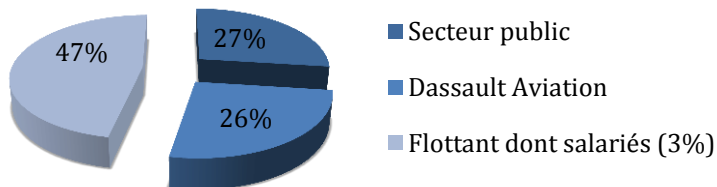


Figure 2 - Secteurs d'activités de Thales

2) Actionnariat

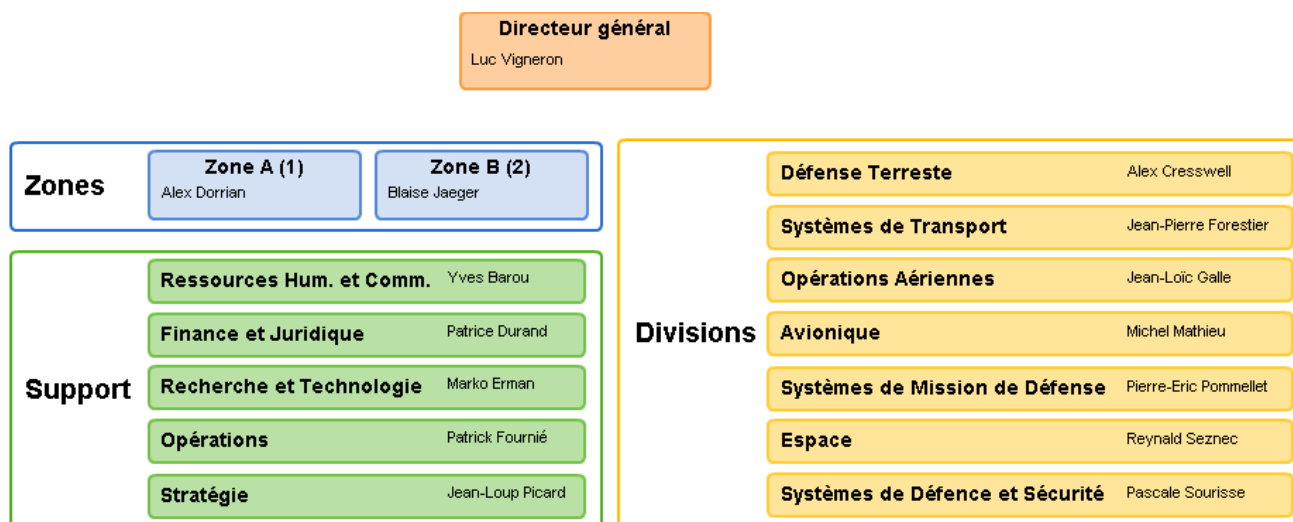
L'actionnariat de Thales est assez diversifié comme le montre ce diagramme :

Actionnariat de Thales en 2009



3) Organisation

Face à la crise, le conseil d'administration de Thales s'est réuni le 10 décembre 2009 sous la présidence Luc Vigneron pour procéder à l'examen des perspectives stratégiques du groupe. Il en est ressorti une nouvelle organisation le 11 décembre 2009 afin de, selon les dires de Luc Vigneron, "se rapprocher encore plus des clients internationaux afin de mieux les satisfaire". Voici un diagramme présentant la nouvelle organisation :



(1) Australie, Canada, Etats-Unis, Norvège, Pays-Bas, Royaume Uni, Asie du Nord, Europe du Nord et Centrale

(2) Allemagne, Autriche, Espagne, Italie, Singapour, Suisse, Afrique, Amérique Latine, Asie du Sud et du Sud-Est, Europe, Moyen-Orient et Asie de l'Ouest

Figure 3 - Organisation de Thales

4) Quelques chiffres

- Effectif mondial : 68 000 personnes dont 50 % hors de France
- Un haut niveau de qualification : 60 % d'ingénieurs et cadres
- Recherche et Développement : 2,2 milliards d'euros au total soit 18 % de l'activité
- 25 000 chercheurs dans des domaines de pointe
- Présent dans 50 pays : France, Espace, Italie, Belgique, Canada, ...
- 300 inventions par an
- Plus de 15 000 brevets
- Plus de 30 accords de coopération avec des universités et des laboratoires de recherche

B - Thales Alenia Space

Thales Alenia Space (souvent citée par le sigle TAS) est numéro un européen des solutions par satellites et acteurs majeur dans le domaine de l'infrastructure orbitale. Il s'agit d'une co-entreprise de Thales (67%) et Finmeccanica (33%) et forme avec Telespazio la "Space Alliance".

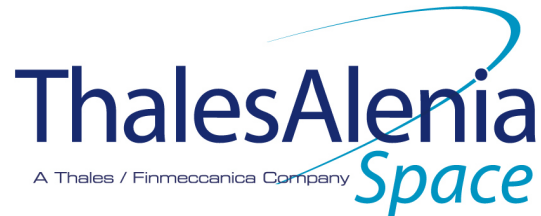


Figure 4 - Logo de TAS

TAS est une référence mondiale dans le domaine des télécommunications, de la navigation, de la météorologie, de la gestion de l'environnement, de la défense et de la sécurité, de l'observation et de la science.

Avec 7200 salariés, TAS est présent en France, en Italie, en Espagne et en Belgique.

1) Historique

Voici un diagramme des différents regroupements et transformations qui ont amené à TAS :

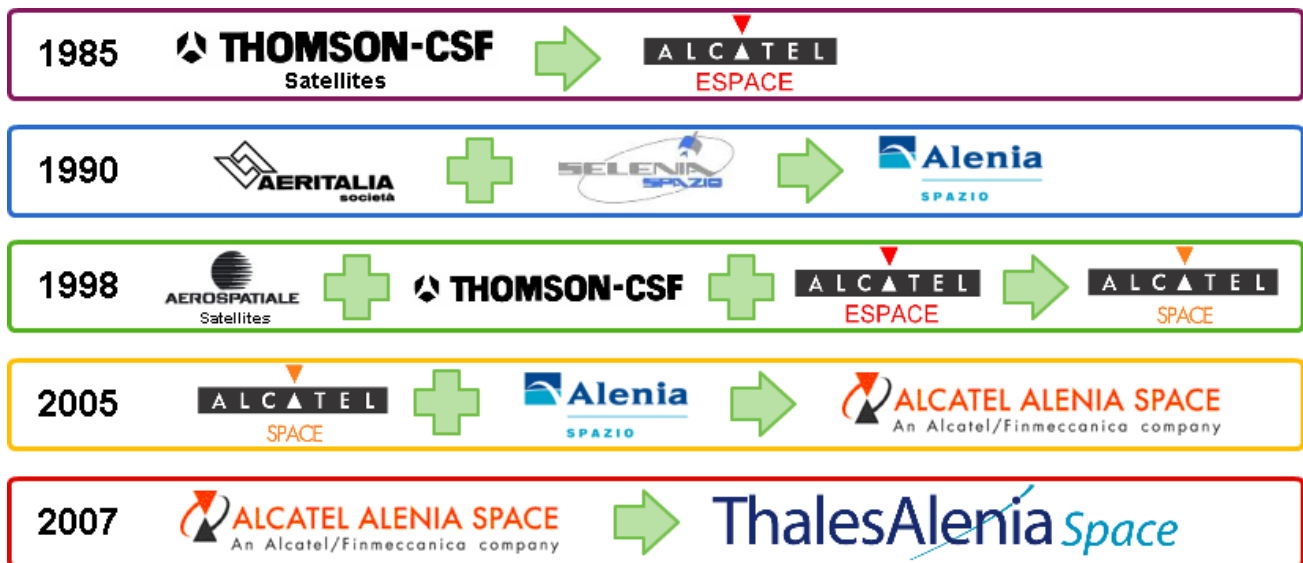


Figure 5 - Historique de TAS

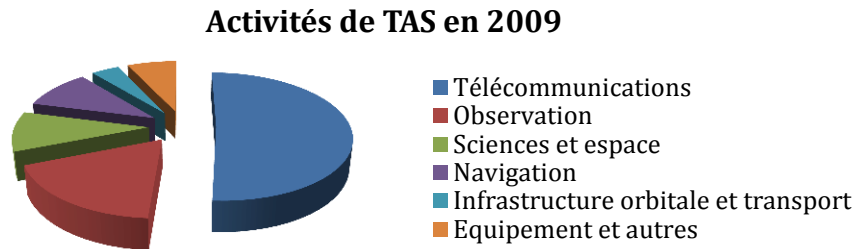
2) Activités

Parmi les activités de TAS, nous retrouvons :

- les télécommunications (51%),
- l'observation (18%)
- sciences et espace (10%)
- la navigation (10%)

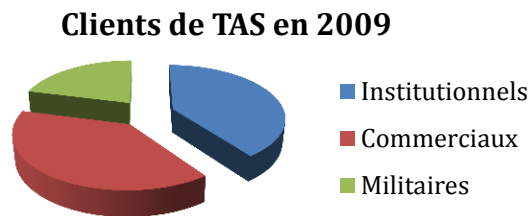
- infrastructure orbitales et transports (4%)
- équipement et autres (7%)

Voici un diagramme regroupant ces différentes activités :



3) Clients

La clientèle est répartie entre secteurs institutionnels (40%), commerciaux (39%) et militaires (21%) :



4) Implantation géographique

TAS est fortement présent en Europe à travers 11 sites dont 3 en France :



Figure 6 - Implantation géographique de TAS en Europe

5) Site toulousain

1) Organisation

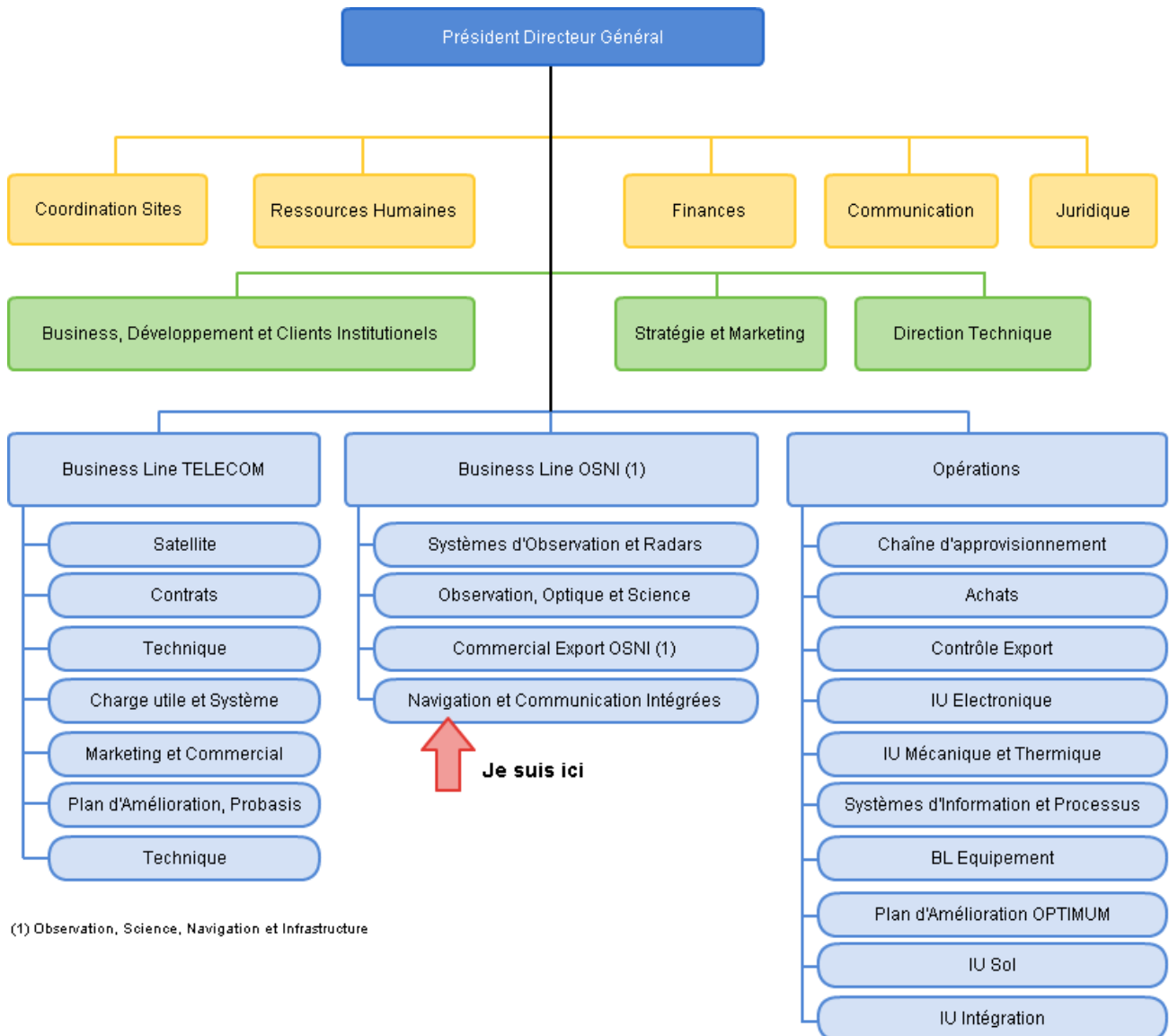
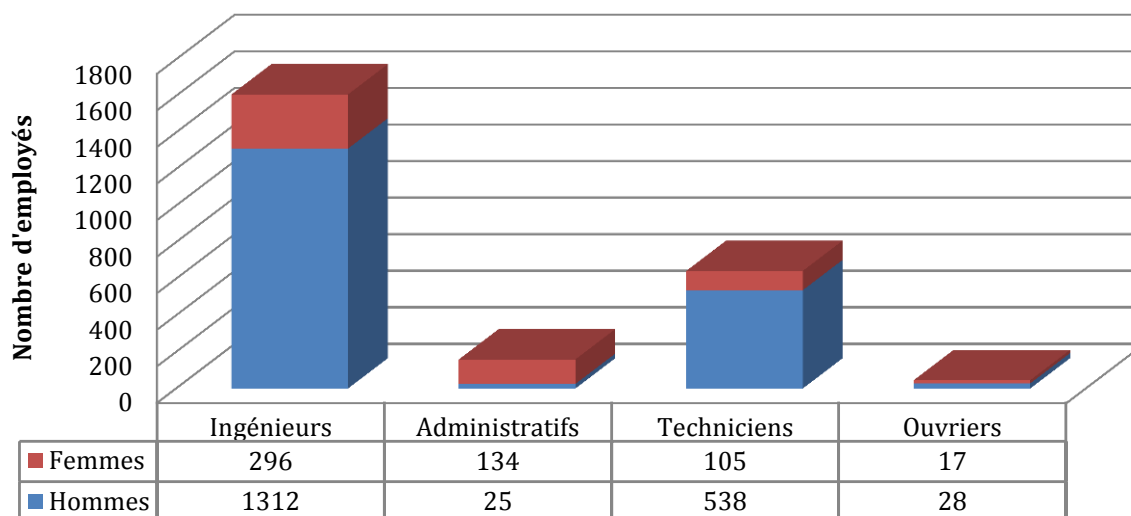


Figure 7 - Organisation de TAS

2) Employés

Repartition des postes des employés en fonction du sexe en 2010



3) Tournoi de football

Pendant mon stage, j'ai eu le privilège de participer au tournoi de football organisé au sein de Thales Alenia Space visant à faire concourir ses différents services. L'objectif est d'améliorer la cohésion au sein des groupes. L'ambiance est amicale et m'a permis de retrouver différents collaborateurs de mon service dans un autre contexte que celui habituel. Au moment où j'écris ces lignes, l'équipe de l'unité Navigation et Communications Intégrées est en tête du classement pour obtenir le tant désiré trophée de la cuillère de bois.

C - L'unité business Navigation et Communication Intégrées

1) Principaux projets

a) EGNOS³ et GALILEO

EGNOS est le précurseur de GALILEO. C'est un système d'augmentation des signaux émis par les constellations de navigation existantes GPS⁴ et GLONASS⁵. Il fournit aux usagers un service de positionnement amélioré (précision, disponibilité, continuité et intégrité). Il est basé sur l'utilisation de 3 satellites géostationnaires existants et d'un réseau de stations sol. Ses domaines d'applications sont aériens, terrestre et maritime.

Le signal EGNOS est émis depuis juillet 2005. Le service EGNOS est officiellement déclaré ouvert par la Commission Européenne depuis octobre 2009. La certification du système pour une utilisation par l'aviation civile est prévue pour fin 2010.

GALILEO vise à donner à l'Europe son indépendance par rapport aux systèmes GPS et GLONASS. Ce système de navigation par satellite utilisera sa propre constellation d'une trentaine de satellites dédiés. Le programme est en cours de réalisation depuis 2005, année du lancement du premier satellite

³ EGNOS : European Geostationary Navigation Overlay Service

⁴ GPS : Global Positioning System, système de localisation par satellite américain

⁵ GLONASS : GLObal NAVigation Satellite System, système de localisation par satellite russe

expérimental. Fin 2010, quatre satellites seront opérationnels, le déploiement complet étant prévu pour 2013.

Comme EGNOS, GALILEO aura des applications dans les domaines aérien, terrestre et maritime et pour les usages civil et militaire. TAS est au coeur du programme dans les phases "In Orbit Validation" (4 premiers satellites) et "Full Operational Capability" (30 satellites).

b) Communications Aéronautiques

Incontournable pour la fonction navigation et ses projets EGNOS et GALILEO, le satellite devrait aussi être un élément clé de la fonction communication. Depuis 2009, Thales Alenia Space, fort de son intégration dans Thales, de son expertise dans le GNSS⁶ et de son implication dans MTSAT⁷, pilote dans le cadre de SESAR⁸, et sous financement ESA⁹, la définition d'une nouvelle génération de système de communication par satellite pour l'aéronautique, dans le cadre du "ciel unique européen".

c) Surveillance Maritime avec l'AIS

L'AIS¹⁰ est un système existant d'anti collision avec une couverture de 30 miles nautiques. Il est obligatoire pour les bateaux supérieurs à 300 tonnes et ceux avec passagers. L'AIS est déployé aujourd'hui sur plus de 60 000 bateaux

En collectant les messages AIS depuis l'espace, cela permettra d'améliorer le contrôle du trafic maritime en fournissant une couverture mondiale, avec un haut niveau d'intégrité sur le positionnement du bateau vers le centre de surveillance.

TAS contribue et participe à toutes les études européennes visant à mettre en œuvre la politique de gestion et de supervision maritime de l'Europe en définissant un environnement commun de partage de l'information.

⁶ **GNSS** : Global Navigation Satellite System, soit le nom générique pour un système de localisation par satellite

⁷ **MTSAT** : Multifunctional Transport SATellites, GNSS japonais dédiée à l'aviation

⁸ **SESAR** : Single European Sky ATM Research

⁹ **ESA** : European Space Agency

¹⁰ **AIS** : Automatic Identification System

2) Organisation

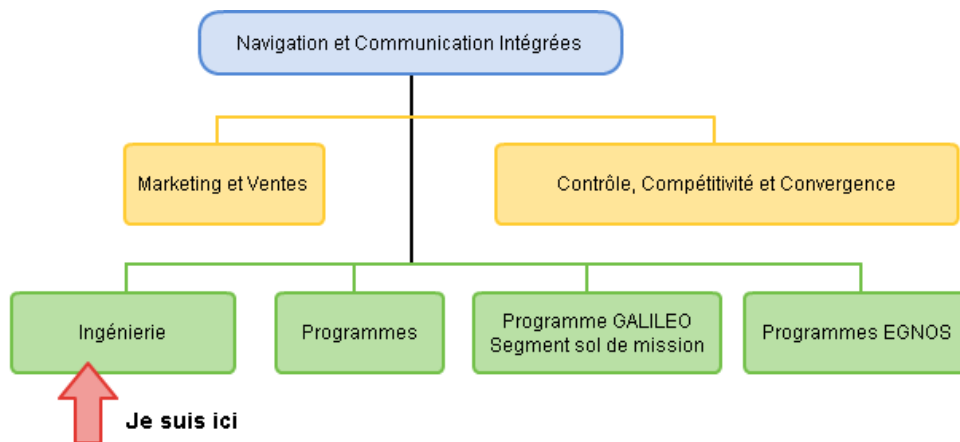


Figure 8 - Organisation de la BU Navigation et Communications Intégrées

II - Présentation du sujet

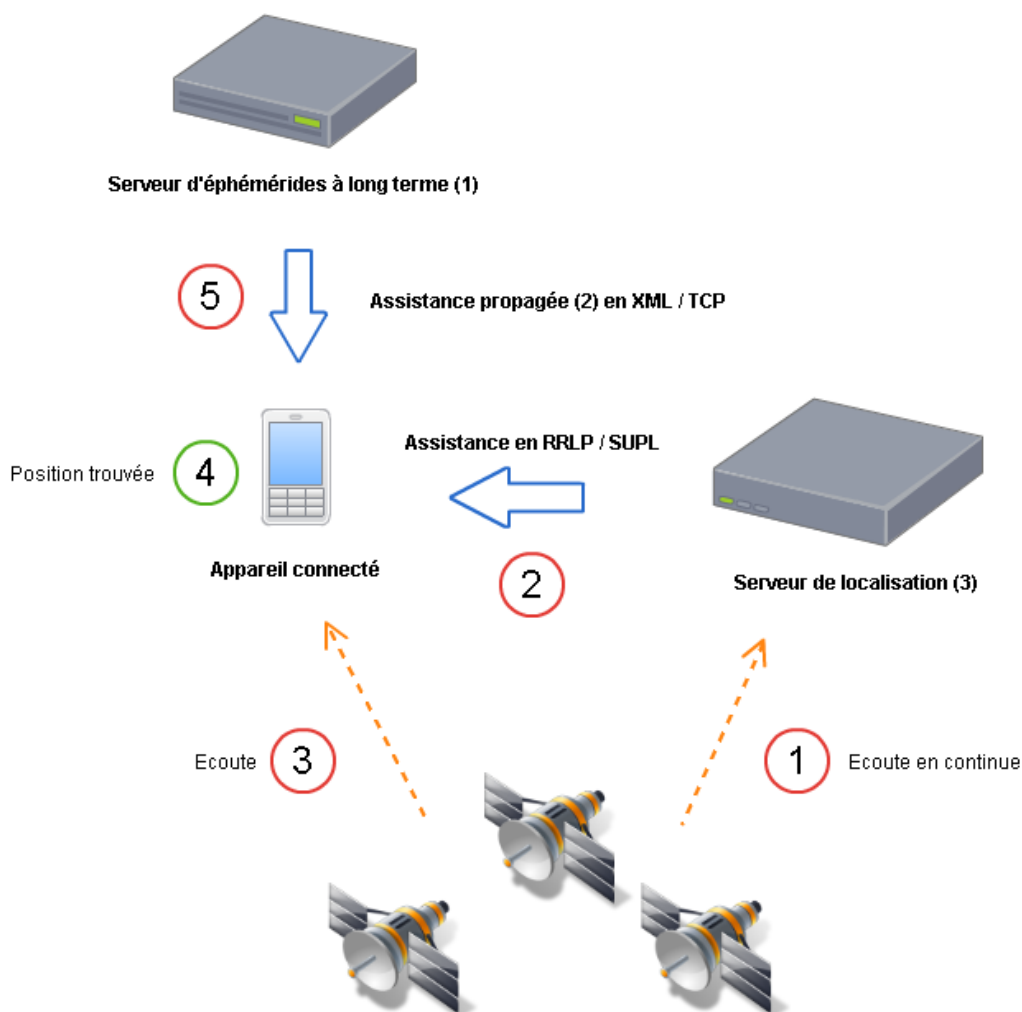
De plus en plus sophistiqués, la plupart des téléphones d'aujourd'hui embarquent à leur bord un récepteur GPS et dans un futur proche un récepteur GALILEO voir hybride GPS et GALILEO. Les techniques mises en place au cours des 30 dernières années font que les appareils de géolocalisation rencontrent quelques difficultés à trouver leur position. Liste des principaux problèmes :

- trop long temps d'écoute des trames
- mauvaise précision de la position trouvée
- sensibilité à l'environnement urbain

Les systèmes GPS et GALILEO étant déjà définis, il faut pouvoir régler ces problèmes sans avoir à modifier le cœur de ces systèmes. La solution adoptée à ce jour est de profiter du fait que les téléphones portables puissent récupérer des données via le réseau et ainsi pouvoir leur fournir une assistance leur permettant de régler les précédents problèmes. Une assistance existe déjà mais elle est actuellement destinée uniquement aux appareils GPS, le travail consiste donc à rendre cette aide compatible GALILEO tout en améliorant le service proposé.

Deux types d'assistance sont en développement. La première consiste à fournir des informations sur la constellation satellitaire en temps réel. C'est cette aide qui est actuellement commercialisée pour les terminaux GPS. La deuxième contient les mêmes informations que la première aide mais propagées sur les 7 jours à venir. C'est-à-dire qu'il s'agit d'informations prédites à l'aide d'algorithmes mathématiques complexes basés sur des informations mesurées. Ces informations étant des propagations de données mesurées, la fiabilité n'est pas à toute épreuve et il se peut donc que celles-ci contiennent des erreurs.

Voici un diagramme représentant les deux aides disponibles :



- (1) appelé serveur LTE ¹¹
- (2) appelé LTE
- (3) appelé serveur ASRP¹²

Le principe consiste à écouter continuellement les trames envoyées par les satellites GPS et GALILEO, depuis une ou plusieurs bases terrestres, afin de constituer un ensemble d'informations sur la constellation satellitaire. Puis au lancement de l'appareil connecté, celui-ci télécharge ces informations, collectées au sein du serveur ASRP, qui aident à la résolution de la position. En parallèle, l'appareil connecté télécharge la seconde aide depuis le serveur LTE qui sera utilisée si, dans les jours à venir, la connexion au réseau ne peut pas s'effectuer.

Mon sujet de stage était d'apporter des améliorations au serveur LTE et notamment au niveau du tableau de bord accessible depuis un navigateur web. Ce tableau de bord affiche des informations concernant le bon fonctionnement du serveur à travers différents graphiques.

¹¹ LTE : Long Term Ephemeris, soit Ephémérides à Long Terme

¹² ASRP : Assisted GPS Server and Receiver Product

Ce stage s'effectuait dans le cadre du projet GAMMAA, un projet européen financé par le GSA¹³ visant à développer un récepteur GPS et GALILEO pour automobile bénéficiant d'assistance.

III - Etude de l'existant

N'étant pas expert ni même connaisseur dans le domaine de la navigation satellite, j'ai passé une bonne partie de mon stage à comprendre l'environnement dans lequel je devais travailler. De plus, le système en question était un assemblage de différents projets (de Recherche et Développement essentiellement) développés par différentes personnes plus forcément présentes (stagiaires) et utilisant différentes technologies (PHP, C++, Python, Shell).

A - Historique

Le serveur LTE est l'aboutissement de réutilisation de différents projets. A l'origine, il s'agissait du projet DINGPOS dont l'objectif était de fournir uniquement une assistance temps réelle pour un récepteur hybride GPS et GALILEO. Puis il a été question d'apporter une assistance propagée avec le projet FILONAS, qui devait fournir une assistance à des appareils de géolocalisation destinés aux pompiers de Toulouse. Finalement, le projet FILONAS a été repris dans le cadre du projet GAMMAA, subventionné par le GSA.

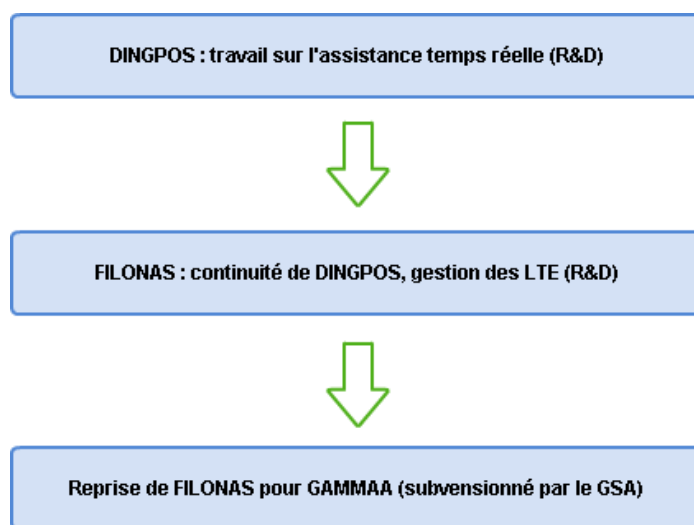


Figure 9 - Historique du serveur LTE

B - L'environnement

L'appareil connecté, de notre point de vue, peut être divisé en deux parties : le récepteur et le client SUPL. A son lancement, il envoie une requête en XML au serveur ASRP à travers le client SUPL. Ce client SUPL s'occupe d'établir la connexion avec le serveur ASRP, de traduire la requête XML du récepteur en RRLP et de l'envoyer. En parallèle à cela, il télécharge les LTE en XML depuis le serveur LTE. Si la connexion avec le serveur réussit alors l'assistance en RRPL¹⁴ est retournée au client SUPL¹⁵

¹³ **GSA** : GNSS Supervisory Authority

¹⁴ **RRLP** : Radio Resource LCS Protocol

¹⁵ **SUPL** : Secure User Plane Location

qui s'occupe de la traduire en XML avant de la transmettre au récepteur. Si la connexion ne peut pas s'effectuer alors le client SUPL charge les LTE sauvegardées lors d'un précédent démarrage et en extrait l'assistance correspondante à la plage horaire actuelle.

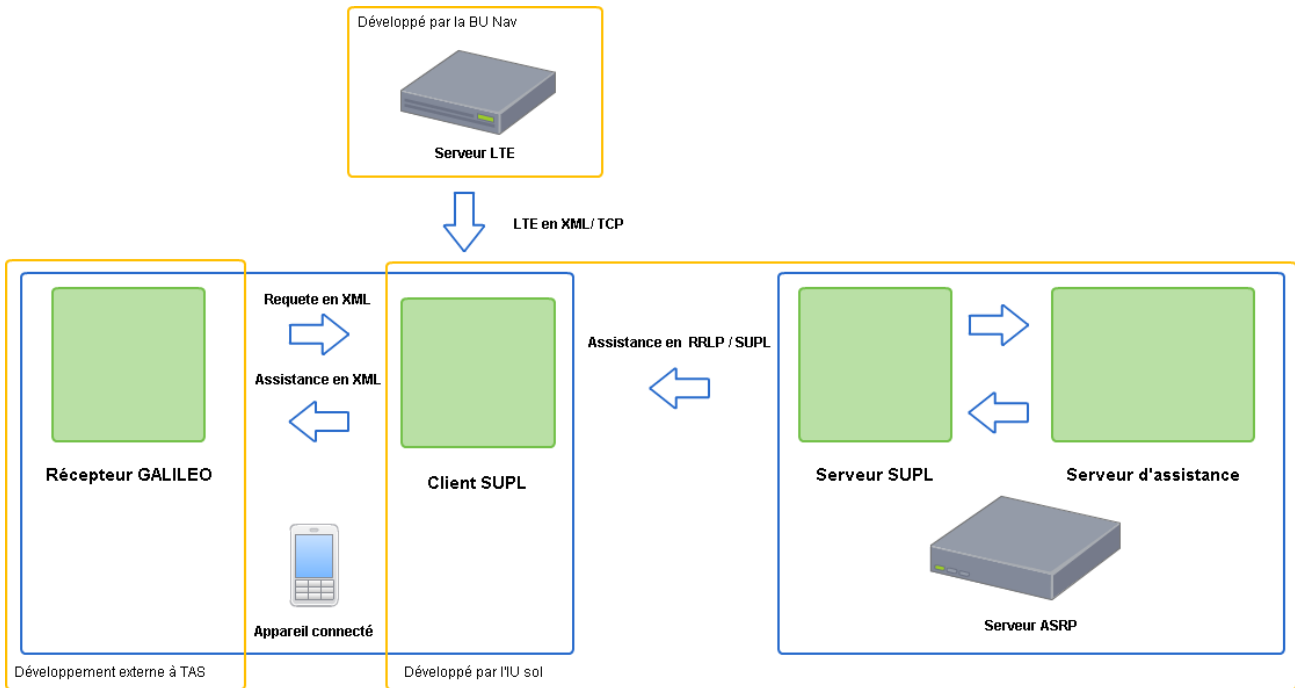


Figure 10 - Environnement du serveur LTE

Nous pouvons voir que le serveur d'assistance temps réel ainsi que la partie client SUPL est développé par l'unité Sol alors que le serveur d'assistance propagée est développé par l'unité Navigation et Communication Intégrées. Le reste étant des développements externes à THALES.

C - La plateforme

1) Fonctionnement externe

L'objectif du système est de pouvoir fournir des informations propagées sur la constellation satellitaire. Les principales informations sont la position (en X, Y et Z) et la correction d'horloge de chaque satellite pour une date donnée. Nous avons deux sources d'information. La première concerne le serveur NGA¹⁶ de l'IGS¹⁷ sur lequel on récupère via FTP des orbites mesurées et prédites. La deuxième source est le serveur de l'USCG¹⁸ qui fournit des indisponibilités de satellites. Ces indisponibilités correspondent à une durée pendant laquelle il ne faudra pas tenir compte des trames envoyées par un satellite. Les causes de ces indisponibilités sont variées, l'une d'entre elles est la correction de trajectoire.

¹⁶ NGA : National Geospatial-Intelligence Agency

¹⁷ IGS : International GNSS Service

¹⁸ USCG : United States Coast Guard

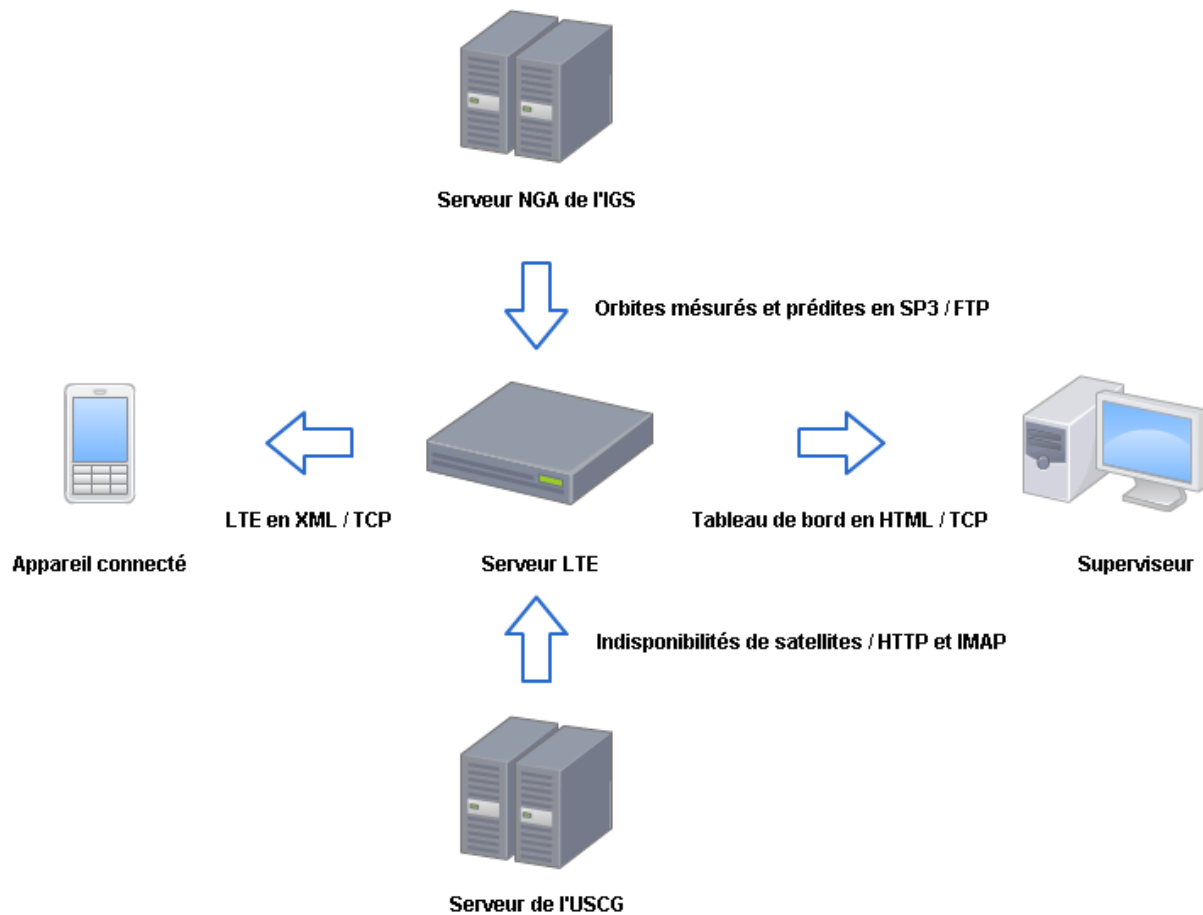


Figure 11 - Fonctionnement externe du serveur LTE

Notons qu'en plus de récupérer des orbites prédites depuis le serveur NGA, le serveur LTE récupère les orbites mesurées dans le but de faire sa propre propagation. Ceci apporte en robustesse car il est possible que les orbites prédites du serveur NGA ne soient pas disponibles. Auquel cas, ce seront les orbites propagées par le serveur LTE qui seront pris en compte.

2) Fonctionnement interne

Si on se penche un peu plus sur le fonctionnement interne du système, nous remarquons que trois langages se chevauchent : PHP, C++ et Python. On peut rajouter un quatrième si on inclut les scripts Shell.

Nous pouvons préciser qu'en plus de sa fonction principale qui est de fournir des LTE, il a été demandé à ce que le serveur LTE puisse fournir une assistance en temps réel. Cela vient du fait que le serveur ASRP ne fournisse pas encore d'assistance compatible GALILEO. L'actuel client SUPL doit alors faire appel au serveur LTE qui lui peut combiner une assistance GPS à une assistance GALILEO basée sur un scénario de simulateur de signal pour obtenir une assistance compatible GALILEO.

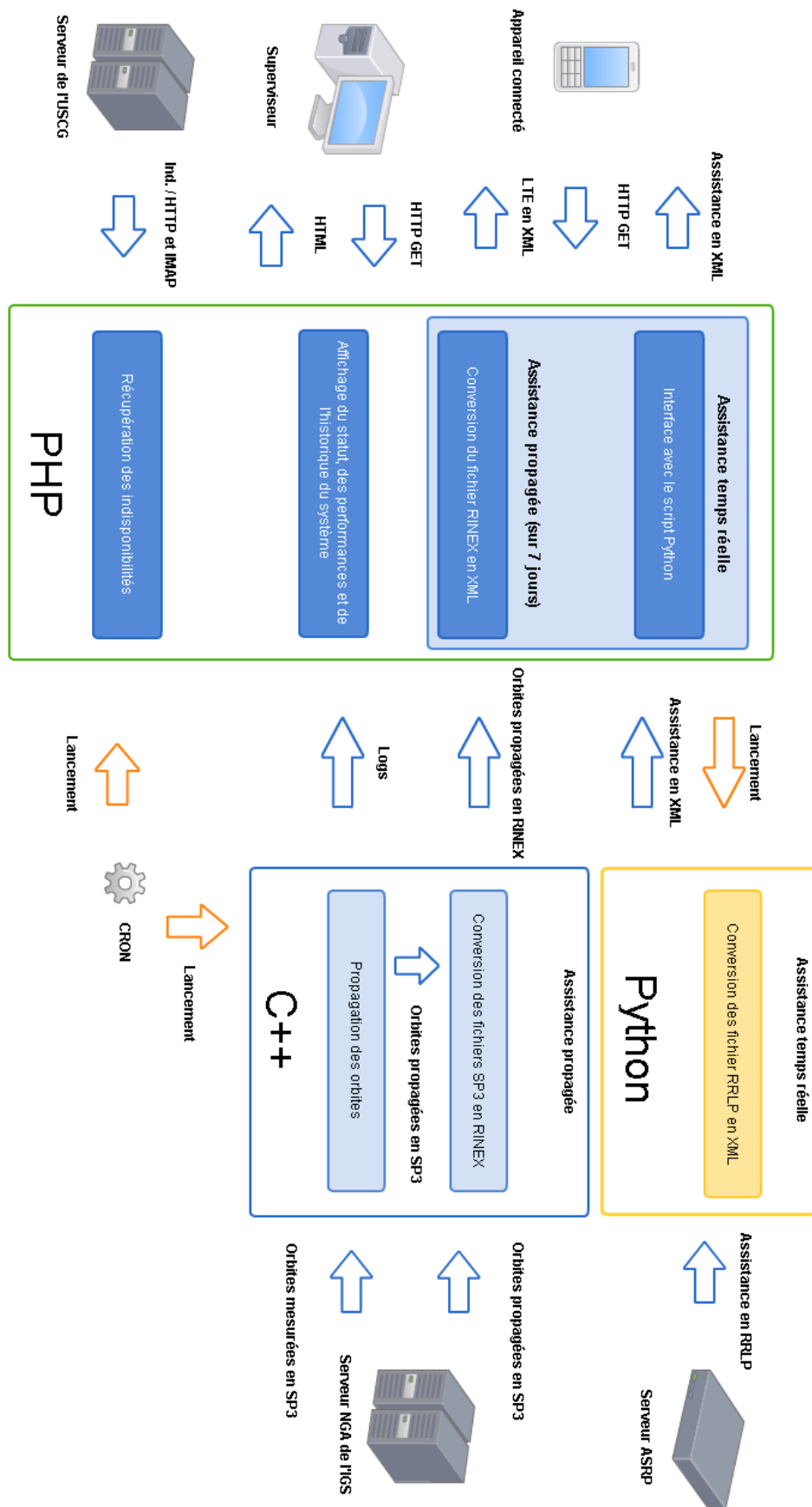


Figure 12 - Fonctionnement interne du serveur LTE

PHP est utilisé pour répondre aux requêtes des appareils connectés ainsi qu'à celles du superviseur. Il est également utilisé pour effectuer la récupération des indisponibilités des satellites. Python quant à lui est utilisé pour communiquer avec le serveur ASRP pour récupérer l'assistance actuelle. C++ et sa rapidité sont utilisés pour la propagation et l'interpolation des orbites. Toutes les exécutions ne sont pas représentées ici, notamment ce qui concerne le calcul des erreurs de propagation et d'interpolation.

Sur le diagramme ci-dessus, nous pouvons noter la présence de deux types de fichiers d'orbites : SP3¹⁹ et RINEX²⁰. Un fichier SP3 contient des orbites sous la forme de point dans l'espace toutes les 15min alors qu'un fichier RINEX contient des orbites sous la forme de courbes toutes les 4h. Passer d'un fichier SP3 à un fichier RINEX correspond donc à faire une interpolation. L'intérêt du format RINEX est double : il prend moins de place que le format SP3 et surtout, permet de récupérer la position (en X, Y et Z) et l'horloge d'un satellite pour une date donnée.

3) Qualité de service

La qualité d'un tel service est primordiale et l'un des impératifs est donc de pouvoir quantifier les erreurs résultantes des différentes opérations. Nous avons vu précédemment que deux grosses opérations sont effectuées entre les orbites mesurées et les données envoyées aux appareils connectés : la propagation et l'interpolation.

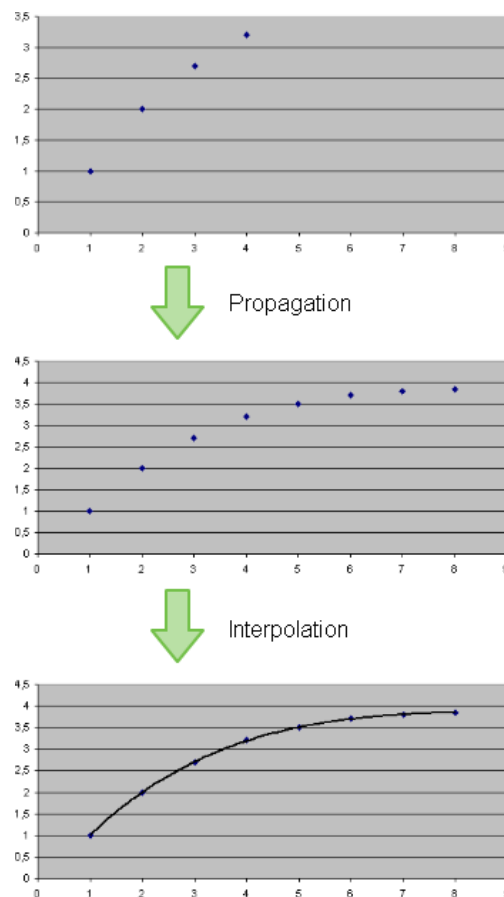


Figure 13 - Principe de propagation et d'interpolation

¹⁹ **SP3** : Standard Product 3

²⁰ **RINEX** : Receiver INdependent EXchange format

Les deux opérations de propagation et d'interpolation génèrent toutes deux des erreurs. L'erreur due à la propagation peut être mesurable une fois que les données réelles, correspondantes aux données propagées, sont accessibles. L'erreur résultant du processus d'interpolation peut être quantifiée immédiatement après l'interpolation, cette erreur correspond à l'écart entre le nuage de points et la courbe trouvée.

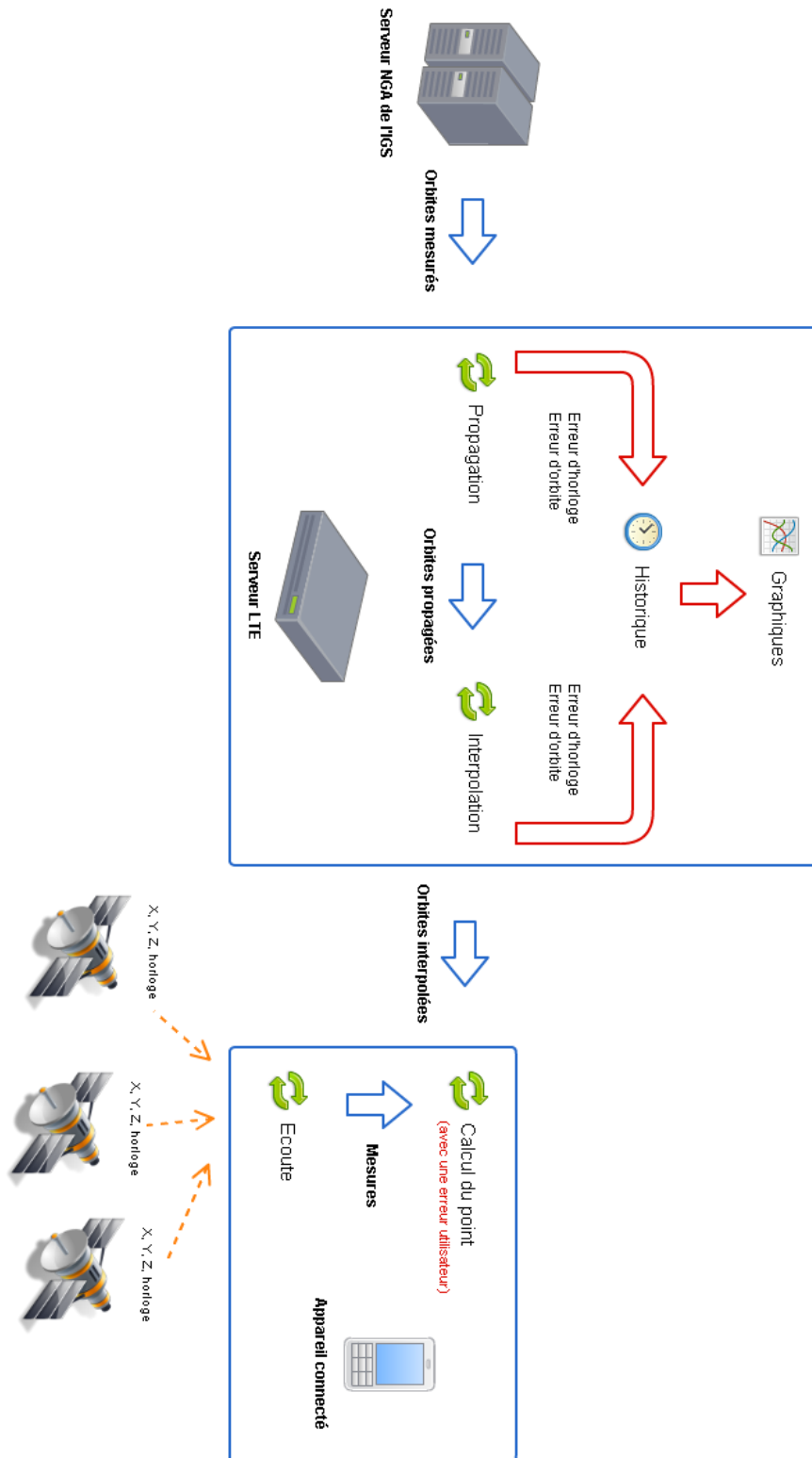


Figure 14 - Chemin des données et les erreurs générées

Nous pouvons voir qu'il existe deux types d'erreurs, l'erreur d'horloge et l'erreur d'orbite résultants des deux opérations de propagation et d'interpolation. Ces erreurs influent directement sur ce qu'on appelle l'erreur utilisateur qui correspond à la différence entre le point réel de l'appareil connecté et la position trouvée via l'assistance récupérée depuis le serveur LTE.

IV - Travail effectué

Je n'ai pas eu de véritable projet car mon travail fut de corriger des erreurs sur le serveur LTE, développer des fonctionnalités supplémentaires ainsi qu'améliorer certaines déjà existantes.

A - Environnement de développement

Mon environnement de travail est assez sommaire, mes principaux outils se résumant à : Notepad++ pour l'édition des sources, Putty et WinSCP pour la connexion au serveur LTE, tournant sous la distribution Linux Redhat. Le serveur web tournait sous LAMPP²¹.

Vers la fin du stage, j'ai été amené à corriger des erreurs sur un programme développé en Java pour un système de la famille Linux, je me suis donc muni d'une distribution Ubuntu installée en machine virtuelle sur laquelle j'utilisais Eclipse et ses outils de développement Java.

B - Corrections

Dans un premier temps, j'ai été amené à me familiariser avec le système en effectuant des corrections afin de faire fonctionner correctement le serveur LTE qui ne marchait pas. Celui-ci ne produisait plus de données et le problème semblait provenir du propagateur et du convertisseur SP3 vers RINEX qui n'étaient pas en accord sur les noms de fichier.

Il faut bien voir qu'il y a trois types de fichiers (mesures, propagations, interpolations) provenant de deux sources (TAS et NGA). Les fichiers d'orbites mesurées (en SP3) couvraient une journée et étaient nommés ngaWD.sp3 avec W le numéro de semaine depuis la dernière époque GPS (le 21 août 1999) et D le jour de la semaine. Les fichiers d'orbites prédites (en SP3) couvraient également un jour et étaient nommés pNSWD avec N le numéro de prédiction du jour, S la source (NGA ou TAS), W et D étant similaires aux fichiers d'orbites mesurées. Pour les fichiers d'orbites interpolées (en RINEX) étaient au nombre de trois par source (NGA et TAS) et couvraient toute la période de prédiction, le premier contient les orbites, le deuxième les erreurs d'orbite en interpolation et le troisième les erreurs d'horloge en interpolation (cf. Figure 14 - Chemin des données et les erreurs générées).

Voici un diagramme représentant la disponibilité des fichiers d'orbites mesurées et propagées :

²¹ LAMPP : Linux Apache MySQL PHP Perl

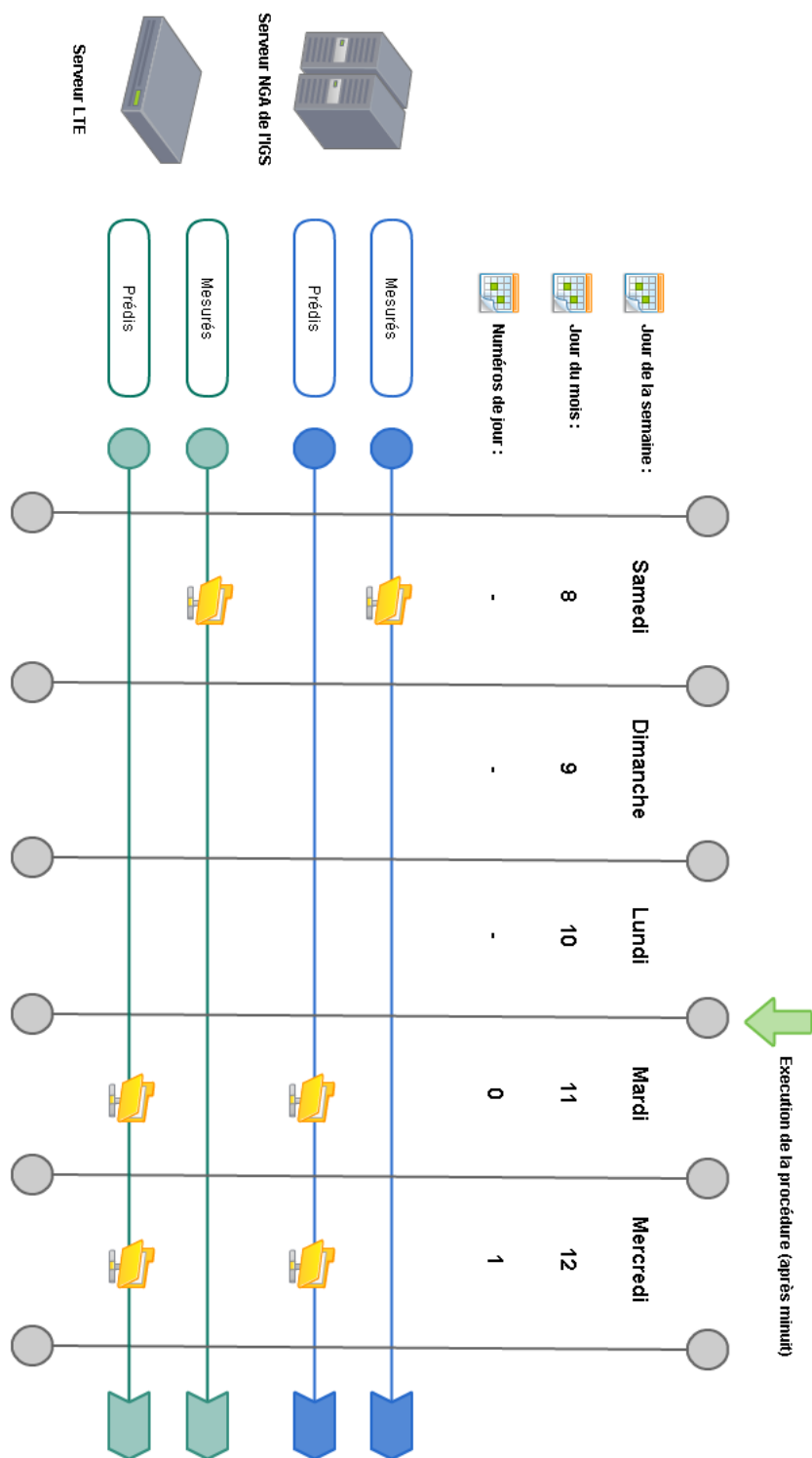


Figure 15 - Disponibilité des données

Ajouté à cela les données nécessaires à la propagation n'étaient pas bien récupérées et ce fut l'occasion de réaliser un script PHP qui récupère ces données depuis le serveur NGA via FTP (cf. 1 Fonctionnement externe).

De plus, le programme CURL était défectueux et il a fallu le réinstaller. Le script Python (cf. 2) Fonctionnement interne) quant à lui ne réussissait pas toujours à fournir l'assistance en temps réelle au script PHP. D'autres petits problèmes étaient également au rendez-vous.

J'ai pu découvrir l'emplacement des différents fichiers, ce qui allait me servir par la suite. J'ai également pu me rendre compte de la complexité des algorithmes mis en place, développés à l'origine sous MATLAB puis portés en C++ par un stagiaire d'été.

C - Statut du service

Comme vu précédemment (cf. 3) Qualité de service), un tel système se doit d'informer ses utilisateurs sur la qualité du service rendu mais également d'informer l'administrateur d'éventuels problèmes. Pour cela, une page de statut a été créée. Celle-ci disposait de peu d'information et il m'a été demandé de la fournir un peu plus afin d'avoir un visuel complet sur le bon ou mauvais fonctionnement du service.

Pour apporter cette amélioration, j'ai dû reprendre le code PHP qui était non conforme en de nombreux points aux bonnes habitudes qu'un développeur PHP doit avoir. J'ai donc du réécrire tout le code avant de pouvoir ajouter les fonctionnalités. Une fois le code réécrit, j'ai pu facilement intégrer une fonctionnalité d'alerte par email reprenant les mêmes informations. Cet email est envoyé quotidiennement si une erreur est détectée.

D - Graphiques supplémentaires

1) JPGraph



Figure 16 - Logo du JPGraph

Pour les besoins du tableau de bord du serveur LTE, j'ai dû créer des graphiques supplémentaires à ceux déjà développés. La solution adoptée fut JPGraph qui est une librairie PHP orienté objet, reposant sur la librairie GD de PHP, destinée à la réalisation de graphiques de toutes sortes :

- courbes
- histogramme
- nuage de points
- camembert
- gantt
- ...

Cet outil génère une image en sortie du script PHP, c'est à dire que si le navigateur appelle le script PHP en question, ce sera une image qui lui sera renvoyé. Exemple d'utilisation :

```

```

L'intérêt de générer les graphiques côté serveur, et non sur le navigateur lui-même via des bibliothèques JavaScript, est double :

- D'une part, le navigateur n'a pas à se charger de la fabrication des graphiques et les problèmes de compatibilité et de puissance nécessaire sont ainsi écartés, ce qui est un point important dans une entreprise telle que TAS où Internet Explorer 6 est très présent et où l'on retrouve des ordinateurs qui commencent à avoir un certain âge.
- D'autre part, si à l'avenir on désire réutiliser ces diagrammes via un autre service, il sera aisé de les intégrer dans la mesure où les graphiques peuvent être appelés comme de simples images via la balise ``.

En contrepartie, les ressources du serveur sont plus sollicitées ce qui n'est dans ce cas pas un problème dans la mesure où il n'est pas destiné à recevoir beaucoup de visiteurs.

2) Historique de l'erreur utilisateur

Nous avons vu précédemment que les LTE fournies à l'appareil connecté ne sont pas fiables à 100% et cela peut donc induire l'utilisateur en erreur sur sa position calculée à partir de ces LTE. Un script développé par un stagiaire d'été permet d'obtenir pour une position et un jour donnés l'erreur utilisateur en mètre (basé uniquement sur l'erreur d'orbite en propagation), c'est à dire l'écart entre sa position réelle et celle trouvée en prenant en compte les LTE fournies. Il m'a été demandé constituer un historique de cette erreur utilisateur dans l'optique de la présenter sous forme de graphique.

Avant de commencer toute chose, j'ai dû modifier l'existant pour permettre de sélectionner la source des LTE, soit les LTE du serveur NGA, soit celles de notre propre serveur LTE.

a) Sauvegarde

Dans un premier temps, il a fallu sauvegarder l'erreur. Le script existant est composé de :

- un fichier PHP qui, pour une position de référence et une date données, fournit les positions en JSON, espacées de 15min, trouvées à partir des LTE
- un script JavaScript qui récupère ces positions via JQuery et calcule l'erreur utilisateur
- une page HTML sur laquelle le script JavaScript peut générer des graphiques

Mon travail a donc consisté à porter le script JavaScript pour en faire un fichier PHP exécutable. Par défaut, le script PHP prend pour position de référence le bâtiment où je me situe (1.38698539° de longitude, 43.5435852° de latitude et 167.508m d'altitude) et pour date la date d'exécution décrétementée de 15 jours.

Le script peut également prendre en entrée des paramètres qui permettent de spécifier la date, la position de référence ainsi que la source (serveur NGA ou serveur LTE). Cela a été pour moi l'occasion de créer un petit outil permettant de récupérer des paramètres envoyés au script PHP via le terminal. Il s'agit d'une fonction dont voici l'entête :

```
/**
 * Récupérer les paramètres envoyés via le terminal
 * @param $required array tableau des paramètres obligatoires
 * @param $optionnal array tableau des paramètres optionnels
 * @param $start int nombre de paramètres à ne pas prendre en compte au debut
 * @param $end int nombre de paramètres à ne pas prendre en compte à la fin
 * @param $help string|array paramètre attendu pour affiche l'aide
 * @return array paramètres
 */
function params($required,$optional=array(),$start=0,$end=0,$help=array('h','help'));
```

Voici son utilisation dans le script PHP :

```
// Récupérer les paramètres
try {
    list($long,$lat,$alt,$d,$m,$y,$source) = params(array(),
                                                    array('long','lat','alt',
                                                    array('d','day'),
                                                    array('m','month'),
                                                    array('y','year'),
                                                    array('s','source')));
} catch (Exception $e) {
    die('Erreur au niveau des paramètres : '.$e->getMessage()."\n");
}
```

On peut voir qu'il devient très facile de demander des paramètres à l'utilisateur. De plus, les entrées sont vérifiées, c'est à dire que si l'utilisateur spécifie un paramètre incorrect, la fonction soulève une exception, capturée dans l'exemple ci-dessus. Dernier point, il est possible de demander l'aide via le paramètre -h/help, c'est à dire la liste des paramètres disponibles.

Ce script devait s'exécuter toutes les nuits. Cela a été pour moi l'occasion de manipuler les tâches CRON, une fonctionnalité puissante des systèmes UNIX/LINUX permettant de programmer à sa guise un ensemble d'exécutions. Cette programmation s'effectue via la CRONTAB, un fichier présent sous /etc.

Extrait de la CRONTAB :

```
# m h j M J user commande

# serveur lte

# nettoyer le dossier de logs de python
03 0 * * * root /opt/lampp/htdocs/filonas/run_clean_cron.php

# lancer la récupération/génération des éphémérides étendues
02 2 * * * root /opt/lampp/htdocs/filonas/lte_cron.sh

# prévenir les utilisateurs des invalidations
02 4 * * * root /opt/lampp/htdocs/filonas/invalidation_cron.php

# récupérer les fichiers yuma
04 0 * * 0 root /opt/lampp/htdocs/filonas/yuma_cron.sh

# sauvegarder l'assistance temps réelle
05 0 * * 0 root /opt/lampp/htdocs/GammaA/save_ad_cron.php
```

b) Graphique

Un second script PHP intervient pour la génération du graphique. Celui-ci exploite les données produit par le script de sauvegarde exécuté quotidiennement. Le graphique devait afficher l'erreur utilisateur sur un mois hors elle est donnée toutes les 15min, il a donc fallu trouver un moyen de condenser l'information. J'ai choisi pour cela d'utiliser trois courbes représentant l'erreur maximale, l'erreur moyenne et l'erreur minimale de la journée.

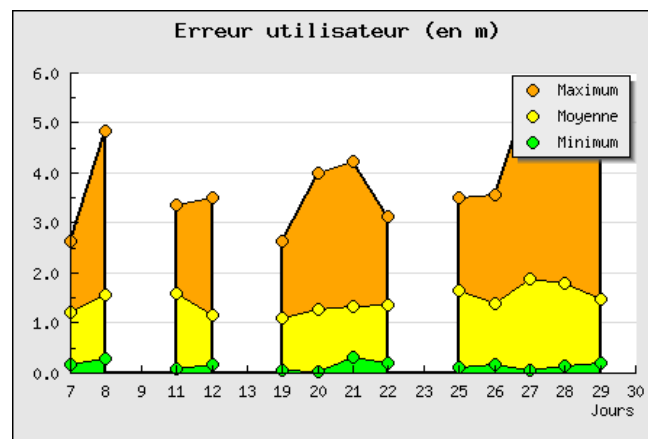


Figure 17 - Erreur utilisateur

Voici l'extrait de code qui génère le graphique :

```
// Créer le graph
$graph = new Graph(450,300);
$graph->SetScale('textlin');
$graph->title->Set('Erreur utilisateur (en m)');
$graph->xaxis->title->Set('Jours');
$graph->xaxis->SetTickLabels($jours);

// Maxs
$lp_maxs = new LinePlot(array_values($maxs));
$lp_maxs->SetFillColor('orange');
$lp_maxs->SetLegend('Maximum');
$lp_maxs->SetWeight(2);
$lp_maxs->SetColor('black');
$lp_maxs->mark->SetType(MARK_FILLEDCIRCLE);
$lp_maxs->mark->SetFillColor('orange');
$lp_maxs->mark->SetWidth(4);
$graph->Add($lp_maxs);

// Avgs
$lp_avgs = new LinePlot(array_values($avgs));
$lp_avgs->SetFillColor('yellow');
$lp_avgs->SetLegend('Moyenne');
$lp_avgs->SetWeight(2);
$lp_avgs->SetColor('black');
$lp_avgs->mark->SetType(MARK_FILLEDCIRCLE);
$lp_avgs->mark->SetFillColor('yellow');
$lp_avgs->mark->SetWidth(4);
$graph->Add($lp_avgs);

// Mins
$lp_mins = new LinePlot(array_values($mins));
$lp_mins->SetFillColor('green');
$lp_mins->SetLegend('Minimum');
$lp_mins->SetWeight(2);
$lp_mins->SetColor('black');
$lp_mins->mark->SetType(MARK_FILLEDCIRCLE);
$lp_mins->mark->SetFillColor('green');
$lp_mins->mark->SetWidth(4);
$graph->Add($lp_mins);

// Afficher le graphe
$graph->Stroke();
```

3) Disponibilité des satellites

Nous avons précédemment que le serveur LTE récupère les indisponibilités des satellites. Il existait déjà des graphiques mettant en avant certains aspects de la non disponibilité des satellites. Il m'a été demandé de réaliser trois graphiques supplémentaires : disponibilité de la constellation satellitaire sur un mois, délais cumulés sur une année et effectifs cumulés sur une année.

Un script était déjà réalisé par un stagiaire. Celui-ci permettait de récupérer quotidiennement des avertissements depuis le serveur NGA et depuis un compte Gmail sur lequel sont envoyés des avertissements. Un autre script pour extraire les informations depuis les fichiers créés existait également, il m'a donc suffi de l'appeler et ainsi récupérer les avertissements sous forme de tableau avant de les mettre en forme dans un graphique.

a) Disponibilité de la constellation satellitaire sur un mois

Ce graphique représente la disponibilité des satellites sur un mois en pourcentage. C'est à dire que pour un jour en particulier, on peut obtenir le ratio de satellites opérationnels.

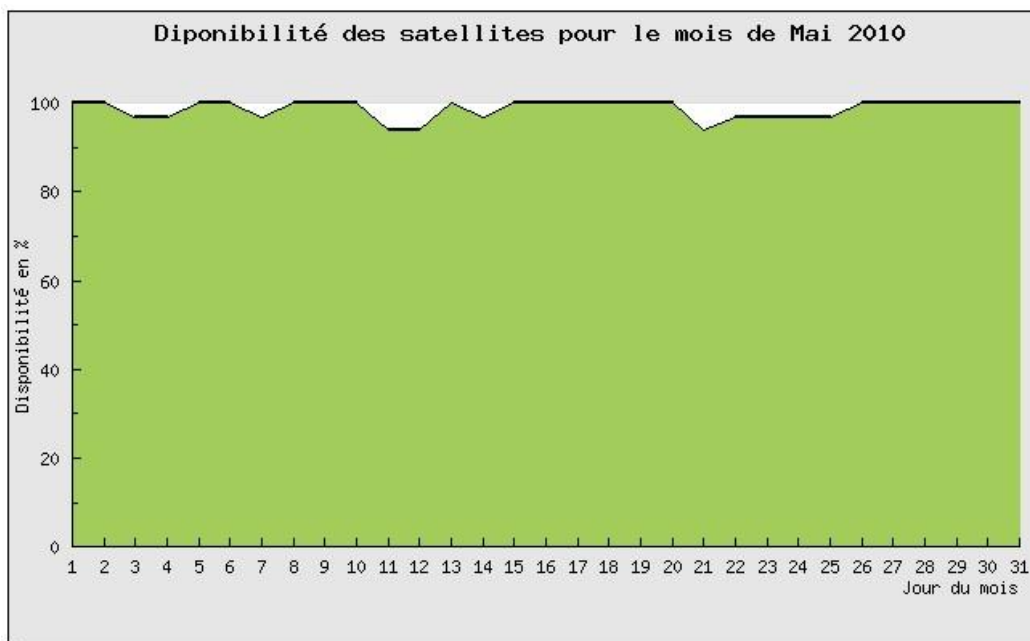


Figure 18 - Disponibilité des satellites

b) Délais cumulés sur une année

Ce graphique représente les délais cumulés par type d'avertissement sur une année. C'est à dire que pour un type d'avertissement en particulier et un mois donné, on peut obtenir le nombre de jours où des satellites sont indisponibles.

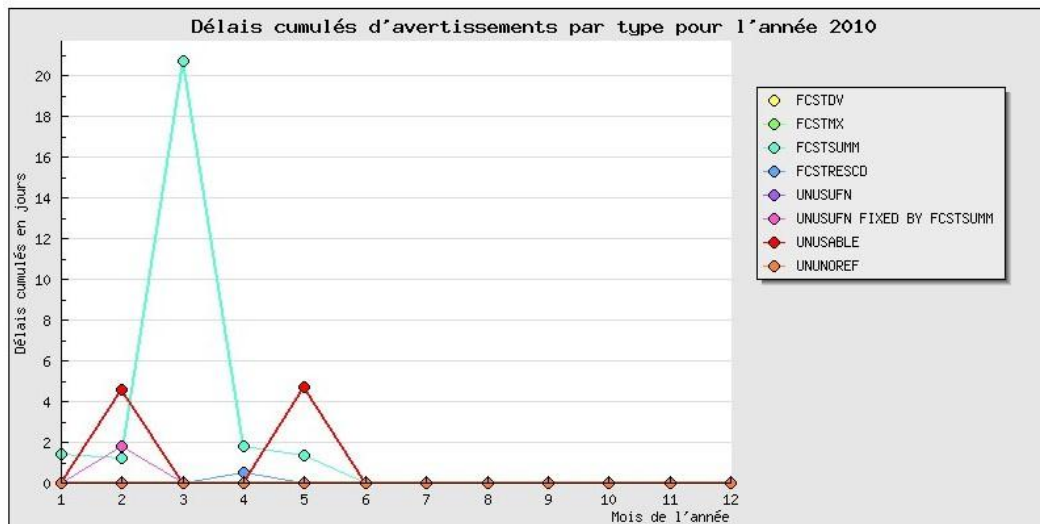
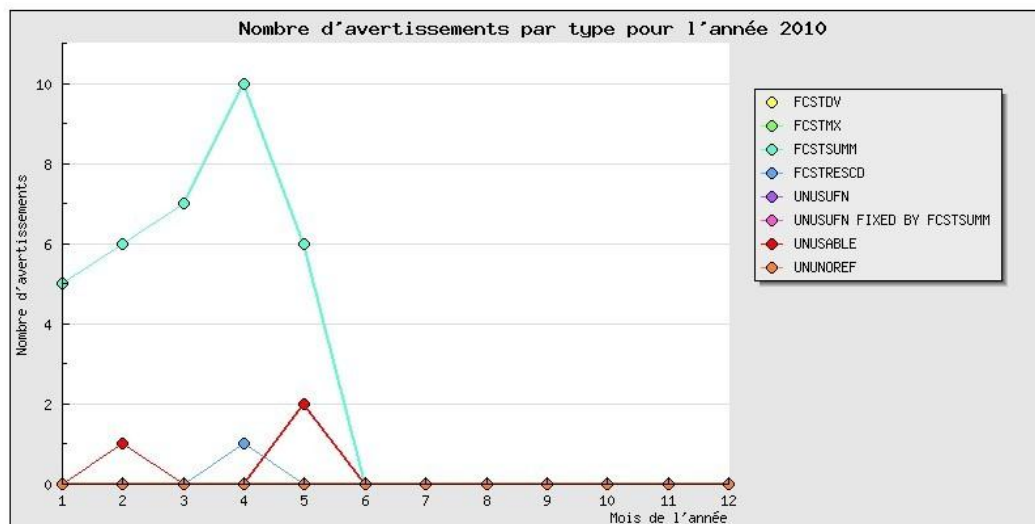


Figure 19 - Délais cumulés d'avertissements

c) Effectifs cumulés sur une année

Ce graphique représente le nombre d'avertissement par type sur une année. C'est à dire que pour un type d'avertissement en particulier et un mois donné, on peut obtenir le nombre d'avertissements soulevés.



E - Filtrage des LTE

1) Indisponibilités

Les satellites ont des indisponibilités que l'on peut prévoir. Grâce à cela, nous pouvons filtrer les LTE en retirant les orbites des satellites pendant la plage d'indisponibilité. Ainsi, l'appareil ayant

récupérer les LTE ne se reposera pas sur des orbites dont les satellites émettent des signaux incorrect. Pour cela, j'ai dû me pencher sur le script PHP qui convertit les LTE RINEX en XML (cf. Fonctionnement interne) et m'assurer que les orbites des satellites ne soient pas spécifiées aux dates où ils sont indisponibles.

2) Visibilité

En plus du filtrage des LTE avec les indisponibilités, il m'a été demandé de ne pas spécifier les orbites des satellites non visibles par l'utilisateur si sa position approximative est donnée. Cela réduit le nombre de données communiquées à l'appareil.

Si par exemple un téléphone se connecte sur une antenne située sur Toulouse, on ne connaît pas exactement sa position mais on peut malgré tout retirer certaines des orbites qui lui seront inutiles de connaître dans la mesure où le satellite ne sera pas visible.

F - Alerte des utilisateurs

Nous l'avons vu, un appareil connecté peut récupérer deux types d'aide : l'aide en temps réelle et l'aide propagée. Lorsqu'un appareil télécharge l'aide propagée, il se peut qu'à cet instant l'indisponibilité d'un satellite ne soit pas encore connue et donc que le filtrage n'ait pas pu être effectué. Dès lors que cette indisponibilité est connue, il faut s'assurer que l'appareil soit tenu au courant. Pour cela, deux moyens ont été retenus : un email ou une requête HTTP.

Le principe est simple, lorsque l'appareil connecté demande l'assistance propagée, parmi les paramètres à spécifier, celui-ci peut fournir une adresse email ou bien une adresse web. Si un avertissement concernant les LTE qu'il a téléchargé arrive, un message lui sera envoyé indiquant le numéro du satellite concerné ainsi que la date de début et de fin.

G - Simulation d'assistance GALILEO

Le serveur ASRP qui délivre l'assistance en temps réelle ne supporte pas encore l'assistance compatible GALILEO, c'est pourquoi il m'a été demandé à partir d'un fichier de scénario (incluant des orbites de satellites GALILEO valide d'après l'ICD GALILEO) et d'un fichier XSL, combinant ce scénario et l'assistance GPS du serveur ASRP, de produire une assistance compatible GALILEO via PHP. Une fois passée la compréhension du problème, il suffisait juste d'appliquer la transformation XSLT à l'assistance en temps réelle en prenant en compte le scénario.

Voici un schéma pour mieux comprendre :

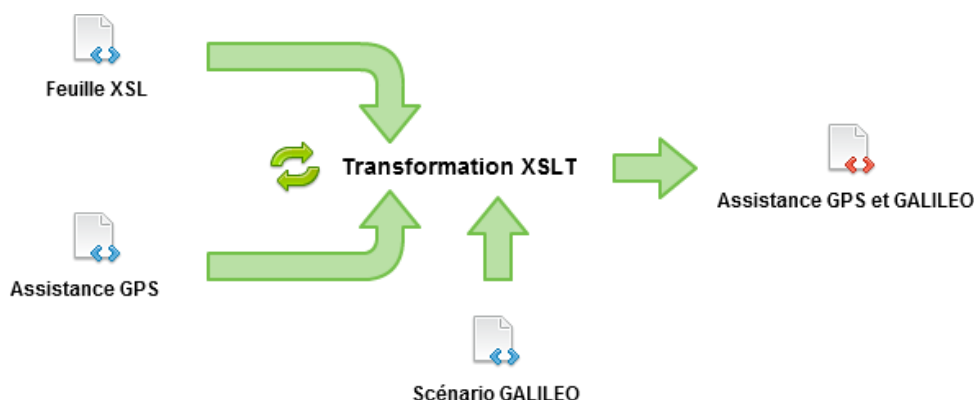


Figure 20 - Transformation XSLT pour obtenir une assistance GALILEO et GPS

Une des difficultés de cette tâche fut d'adapter les données de l'assistance produite avec le standard RRLP en appliquant des facteurs d'échelle. Cela consistait à faire une division de certaines des informations par un certain scalaire de type 2^n . XSLT ne fournissant pas de fonctions évoluées de mathématiques, j'ai donc du développé un template XSL paramétré permettant le calcul de X/Y^n .

Exemple d'appel au template pour le calcul de $3/2^{40}$:

```
<xsl:call-template name="ScaleFactor">
  <xsl:with-param name="value" select="3" />
  <xsl:with-param name="base" select="2" />
  <xsl:with-param name="power" select="40" />
</xsl:call-template>
```

H - Guide du développeur

Au cours de ce stage, je me suis retrouvé dans un milieu scientifique parmi des personnes n'ayant pas eu une formation informatique. Les applications développées fonctionnent mais sont difficilement maintenables et réutilisables. Lorsque j'ai travaillé sur le serveur LTE, j'ai exprimé beaucoup de difficultés à comprendre le rôle de chaque chose car ce projet n'était pas bien documenté et structuré. Après en avoir discuté avec mon maître de stage, celui-ci m'a proposé de faire des suggestions sur la démarche de développement à adopter. C'est ainsi que je me suis retrouvé à écrire un petit guide de développement en me basant sur mes acquis scolaires et personnels. Vous pouvez retrouver ce guide en annexe.

I - Client SUPL

Comme vu précédemment (cf. Figure 10 - Environnement du serveur LTE), mon unité s'occupe uniquement du serveur LTE et l'unité Sol s'occupe du serveur ASRP ainsi que du client SUPL communiquant avec ces deux derniers. Ce client SUPL a été livré à TeleConsult Austria, situé en Autriche. Les unités business sont destinées à traiter avec les clients alors que les unités industrielles sont destinées au développement, ce fut donc à mon unité de traiter avec TeleConsult Austria sur ce projet et donc de proposer un support en cas de problème. Mon tuteur de stage m'a désigné pour remplir cette fonction et j'ai donc répondu aux problèmes rencontrés. L'idée fut de traiter moi-même les problèmes

qui relevaient juste d'une incompréhension de l'utilisation du client SUPL et faire interface avec l'équipe de l'unité sol lorsqu'il s'agissait de problèmes plus importants. Au final, cette dernière étant trop occupée par d'autres projets me transmis le projet Java du client SUPL pour que je règle par moi-même les problèmes soulevés avec TeleConsult Austria.

Le client SUPL se repose sur la technologie Java et a été développé pour un environnement Linux. Après avoir testé l'exécution dans un environnement Windows et tenté de régler les problèmes d'incompatibilité, installer un système Linux s'avérait être la seule solution. J'ai choisi d'installer la dernière version d'Ubuntu, car il s'agit d'une distribution largement documenté sur Internet. N'ayant de machine physique à disposition, l'installation s'est effectuée sur une machine virtuelle via VirtualBox.

Après de nombreuses tentatives d'exécution de ce client SUPL sur la machine Ubuntu et malgré le bon respect de la procédure d'installation, il ne fonctionnait toujours pas. Aucune documentation développeur ne m'a été fournie et la complexité du client faisaient qu'il m'a été impossible de le faire fonctionner seul. Au moment où j'écris ces lignes, j'attends une aide de la part de l'unité Sol qui sont les développeurs de ce client.

J - Evolutions

Il reste encore de nombreuses évolutions à apporter au serveur LTE, les deux plus importantes d'entre elles sont la prise en charge de l'erreur d'horloge en propagation et de s'assurer de la validité de l'URA²² fournie dans l'assistance envoyée. Cette dernière évolution consiste à fournir à l'utilisateur, dans l'assistance propagée qui lui est envoyée, une estimation pour chaque orbite de l'erreur sur la propagation de cette orbite en se basant sur les erreurs passées. L'intérêt serait pour l'appareil connecté de pouvoir définir avec quels satellites il est capable, avec l'assistance fournie, de calculer sa position au mieux en évitant de se reposer sur des satellites dont l'orbite risque d'être fortement imprécise.

²² URA : User Range Accuracy

Conclusion

Durant mes 12 semaines de stage, j'ai eu l'opportunité de me familiariser au fonctionnement d'une entreprise de grande envergure travaillant dans un secteur industriel et plus particulièrement le domaine spatial. J'ai pu y apporter ma contribution en tant que développeur PHP et C++ à travers l'amélioration d'un service web de propagation et de diffusion d'éphémérides à long terme dans le cadre du projet européen GAMMAA regroupant différentes sociétés en me reposant sur des outils de Recherche et Développement.

Au cours de ce stage, j'ai pu mettre en pratique mes acquis personnels et les enseignements de la licence MIASHS. J'ai découvert certaines pratiques et outils standards pour les projets web par la réalisation d'un mini guide du développeur, ainsi que de la manipulation de graphiques en PHP, d'un serveur VNC et de tâches automatisées sur un système Linux. J'ai également pu améliorer mes capacités d'autonomie dans la mesure où mon maître de stage n'était pas souvent disponible. De plus, j'ai travaillé sur un outil à destination du monde de la navigation spatiale, ce fut pour l'occasion de découvrir ce domaine. La rigueur et les méthodes de travail enseignés en licence MIASHS et au DUT Informatique furent très utiles pendant le stage, de même que les cours de PHP, les cours de C++ et bien sûr les cours d'algorithmique.

N'étant pas expert ni même débutant dans le monde de la navigation, j'ai exprimé de nombreuses difficultés à la compréhension des tâches que je devais effectuer ainsi qu'au fonctionnement de l'existant. De plus, la documentation du projet sur lequel j'ai travaillé n'était pas bien fournie et les sources n'étaient pas très explicites.

Au-delà de la technique et comme je le disais précédemment, j'ai pu observer la vie dans une entreprise à portée internationale et évoluant dans le domaine spatial. Cela m'a permis d'avoir une fenêtre sur l'informatique scientifique qui plus est en travaillant sur un projet issu de Recherche et Développement. Même si les travaux que j'ai effectués n'étaient pas inintéressants, je retiens que l'informatique scientifique n'est pas encore faite pour moi. Je compte donc me recentrer sur de l'informatique de gestion pour les deux prochaines années dédiées à l'alternance.

Table des illustrations

Figure 1 - Logo de Thales.....	6
Figure 2 - Secteurs d'activités de Thales	6
Figure 3 - Organisation de Thales.....	7
Figure 4 - Logo de TAS.....	8
Figure 5 - Historique de TAS.....	8
Figure 6 - Implantation géographique de TAS en Europe	9
Figure 7 - Organisation de TAS.....	10
Figure 8 - Organisation de la BU Navigation et Communications Intégrées.....	13
Figure 9 - Historique du serveur LTE	15
Figure 10 - Environnement du serveur LTE.....	16
Figure 11 - Fonctionnement externe du serveur LTE.....	17
Figure 12 - Fonctionnement interne du serveur LTE.....	18
Figure 13 - Principe de propagation et d'interpolation.....	19
Figure 14 - Chemin des données et les erreurs générées	20
Figure 15 - Disponibilité des données	22
Figure 16 - Logo du JpGraph.....	23
Figure 17 - Erreur utilisateur	26
Figure 18 - Disponibilité des satellites	28
Figure 19 - Délais cumulés d'avertissements	29
Figure 20 - Transformation XSLT pour obtenir une assistance GALILEO et GPS	31

Index lexical

AIS, 12

ASRP, 14

EGNOS, 11

ESA, 12

GAMMAA, 5

GLONASS, 11

GNSS, 12

GPS, 11

GSA, 15

IGS, 16

LCS, 15

LTE, 14

MTSAT, 12

NGA, 16

RINEX, 19

RRPL, 15

SP3, 19

SUPL, 15

URA, 32

USCG, 16

Abstract

For three months, I have done my internship in a company called Thales Alenia Space involved in international projects. I worked alone on a Research and Development tool as part of a European project called GAMMAA. I had to improve a web service especially its dashboard that delivers graphics to analyze quality of service.

First of all, let's talk about the GAMMAA project to understand my position in this context. The objective of this project is to construct a GPS and GALILEO location solution for cars market in Europe. A part of this project is about assistance given to receiver. When a user turns on a GPS receiver, the frames listening time maybe long and the result may contain errors due to urban environment. The solution is to give to the receiver an assistance which is helpful in position calculation. Assistance contains data about satellites constellation. There are two solutions that exist: real time assistance and propagated assistance. The first helps the receiver at current time and the second is destined to help in future just in case of connection problems. My work was to work the system which delivers the second help and especially, like I have already said, on its dashboard.

Next, after understanding the environment, I worked on several improvements: make the system work, add graphics, and filter propagated assistance ... I have also written a development guide for developers to encourage them to adopt good methods in development approach.

To conclude, this internship was a good experience even if I had a lot of difficulties to understand the environment. I have learned to manipulate graphics in PHP and automated tasks on a Linux system. Even if the tasks that I have done were not unattractive, I'm going to favor the management branch than the scientific for the two next years.