

**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE DE MANAGEMENT

ENSM. P.U. KOLÉA



**Proposition d'une solution technique pour l'optimisation de la
gestion du réseau géodésique algérien
Cas : C.R.A.A.G.**

Mémoire présenté comme exigence partielle du
Master Management Stratégique et Système
d'Information

Travail réalisé par : Mr. Lakehal Yacine

Encadré par : Dr. Amokrane Mustapha

E.N.S.M.

Co-encadré par : Mr. Ouzzani Fares

C.R.A.A.G.

Juin 2018

RÉSUMÉ

Ce travail, effectué au sein du Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique, porte sur l'optimisation de la gestion du réseau géodésique de l'atlas. Une analyse directe de ce dernier y a été élaborée, une exploration approfondie du service concerné, à savoir Réseau Géodésique, a été effectuée en passant par une étude qualitative basée sur l'observation participative et sur des entretiens avec les intervenants et une contribution dans la gestion de ce réseau a été apportée en termes de solutions d'automatisation après l'extraction des insuffisances rencontrées.

Mots clés : Optimisation – Automatisation – Gestion – CRAAG – Réseau Géodésique

ABSTRACT

This work, carried out within the Research Center in Astronomy, Astrophysics and Geophysics, focuses on optimizing the management of the geodetic network of the atlas. A direct analysis of the latter was elaborated, a thorough exploration of the service concerned, namely Geodesic Network, was conducted through a qualitative study based on participatory observation and interviews with stakeholders and a contribution in the field. management of this network was made in terms of automation solutions after the extraction of the shortcomings encountered.

Key-words: Optimization – Automation – Management – CRAAG – Geodetic Network.

ملخص

يركز هذا العمل، الذي أجري داخل مركز البحوث في علم الفلك والفيزياء الفلكية والجيوفيزياء، على تحسين إدارة الشبكة الجيوديسية للأطلس. تم وضع تحليل مباشر لهذه الأخيرة، وتم إجراء استكشاف شامل للمصلحة المعنية، وهي الشبكة الجيوديسية، من خلال دراسة نوعية تقوم على الملاحظة التشاركية والمقابلات مع الأشخاص التابعين للمصلحة، كما تمت المساهمة في هذا المجال. من خلال اقتراح حلول بعد استخراج أوجه القصور التي واجهتها إدارة الشبكة..

كلمات المفتاح: تحسين – إدارة – الشبكة الجيوديسية – CRAAG

REMERCIEMENTS

Je remercie toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	i
REMERCIEMENTS	ii
TABLE DES MATIÈRES.....	iii
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES.....	vi
LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES	vii
INTRODUCTION.....	1
1 Contexte, objectifs et pertinence de la recherche.....	2
2 Questions de recherche.....	3
3 Contexte organisationnel.....	4
3.1. Organigramme	4
CHAPITRE I : REVUE DE LITTÉRATURE ET CADRE CONCEPTUEL	6
1. Revue de littérature.....	7
1.1. Réseau GNSS Permanent français (RGP français).....	7
1.2. Réseau GNSS permanent européen à l’Observatoire royal de Belgique.....	8
2. Cadre conceptuel.....	13
2.1 Géodésie.....	13
2.2 Réseau GNSS.....	14
2.3 Principe de fonctionnement d’un récepteur GNSS.....	15
2.4 Méthodes de positionnement.....	16
2.5 Protocole NMEA.....	18
CHAPITRE II : CADRE MÉTHODOLOGIQUE	19
1. Approche méthodologique	20
1.1.Sources d’informations.....	20
2. Méthodologie de l’enquête et échantillonnage.....	20
CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	22
1. Le Réseau Géodésique de l’Atlas (REGAT).....	23
2. Les différents modes de communication.....	26
3. Le service Réseau Géodésique (RG).....	27

3.1. Moyens humains.....	28
3.2. Moyens matériels.....	28
3.3. Moyens techniques.....	28
4. Procédure de gestion du REGAT.....	29
5. Problèmes potentiels.....	32
6. Dysfonctionnements du système de gestion du REGAT.....	32
7. Recommandations.....	33
8. Produit proposé.....	33
8.1. Objectif.....	33
8.2. Fonctionnalités.....	34
8.3. Fonctionnement interne.....	34
8.4. Interface graphique.....	36
CONCLUSION	39
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	41
ANNEXE A - Guide d'entretien du chef de service.....	44
ANNEXE B - Guide d'entretien du gestionnaire du REGAT.....	47
ANNEXE C - Guide d'entretien de l'électronicien.....	50

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Informations des interviewés et des entretiens.

Tableau 2 : Détails de l'ensemble des stations du REGAT.

Tableau 3 : Comparaison entre les modes de communications (Évaluation sur une échelle de cinq étoiles)

Tableau 4 : Informations sur les collaborateurs du service RG.

Tableau 5 : Description des fonctionnalités du logiciel REGAT_Manager.

Tableau 6 : Détails de l'interface du logiciel REGAT_Manager.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Organigramme du CRAAG.

Figure 2 : Positionnement absolu.

Figure 3 : Positionnement relatif.

Figure 4 : Réseau des stations GNSS permanentes de l'EPN (statut janvier 2013).

Figure 5 : Répartition des stations du réseau REGAT.

Figure 6 : Exemple d'une station : 1 – Antenne, 2 – Panneau solaire,
3 – Routeur GSM et 4 – Récepteur GNSS.

Figure 7 : Interface Web d'un récepteur.

Figure 8 : Interface graphique de GNSS SPIDER.

Figure 9 : Digramme de séquence de la vérification d'état d'une station.

Figure 10 : Digramme de séquence de la vérification d'état des données.

Figure 11 : Diagramme d'utilisation de la récupération des informations.

Figure 12 : Diagramme d'utilisation de l'acquisition des données.

Figure 13 : Interface graphique du logiciel REGAT_Manager.

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

ENSM : École Nationale Supérieure De Management
GPS : *Global Positioning System*
GLONASS : *GLobalnaïa NAvigatsionnaïa Spoutnikovaïa Sistéma*
GNSS : *Global Navigation Satellite System*
CRAAG : Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique
EPST : Etablissement Public à Caractère Scientifique et Technologique
IMPGA : Institut de Météorologie et de Physique du Globe
SBAS : *Satellite-based augmentation systems*
EGNOS : *European Geostationary Navigation Overlay Service*
PPP : *Precise Point Positioning*
DGNSS : *Differential GNSS*
RTK : *Real Time Kinematic*
NMEA : *National Marine Electronics Association*
ASCII : *American Standard Code for Information Interchange*
USB : *Universal Serial Bus*
Wi-Fi : *Wireless Fidelity*
UHF : *Ultra High Frequency*
RGP : Réseau GNSS Permanent
IGN : Institut géographique national
ETRS89 : *The European Terrestrial Reference System*
ITRS : *International Terrestrial Reference System*
DORIS : Détermination d'Orbite et Radio-positionnement Intégrés par Satellite
VLBI : *Very Long Baseline Interferometry*
AIG : Association Internationale de Géodésie
EUREF : *European Reference*
EPN : *EUREF Permanent Network*
IP : *Internet Protocol*
NTRIP : *Network Transport of RTCM data over IP*
ITRF : *International Terrestrial Reference Frame*
IGS : *International GPS*
RTCM : Radio Technical Commission for Maritime Services
GSM : *Global System for Mobile Communications*

ADSL : *Asymmetric Digital Subscriber Line*

VSAT : *Very Small Aperture Terminal*

FTP : *File Transfert Protocol*

HTML : *Hypertext Markup Language*

INTRODUCTION

Dans ce premier chapitre, nous allons exposer, dans un premier lieu, le contexte et les objectifs de notre recherche, ensuite notre problématique, exprimée en question de recherche, et enfin le contexte organisationnel en présentant brièvement le site où le stage a été effectué.

1. Contexte, objectifs et pertinence de la recherche

La géolocalisation ne cesse de trouver ses applications dans divers domaines pratiques. Nous citons à titre d'exemples le domaine militaire, le domaine de navigation spatiale et aérienne, ainsi que le domaine civil. Pour ce fait, plusieurs constellations (ensemble de satellites interconnectés, installés dans le but d'aider à la géolocalisation) ont été créées. Dans le domaine public, le terme GPS est utilisé pour définir, à tort, le système de géolocalisation et de navigation. Mais en réalité, GPS (*Global Positioning System*) n'est qu'une constellation d'origine américaine parmi plusieurs d'autres : GLONASS (*GLobalnaïa NAVigatsionnaïa Spoutnikovaïa Sistéma*) pour les Russes, GALILEO pour les Européen et BeiDou pour les Chinois, ...etc. Toutes ces constellations s'insèrent dans un système appelé : *Global Navigation Satellite System* (GNSS).

Le système GNSS représente plus qu'un "simple" système de positionnement par satellite. Il doit en effet satisfaire d'autres exigences :

- Fourniture des informations de navigation en temps réel, ce qui nécessite une disponibilité continue de ces informations (garantie par la disposition des récepteurs autour de la terre) ;
- Assurance de l'intégrité des informations fournies. Les utilisateurs doivent être capables de vérifier et/ou de s'assurer que la position enregistrée est bonne et sûre. L'intégrité peut être définie comme une information significative du bon fonctionnement du système et qui conditionne le degré de confiance que l'on peut lui accorder à un instant donné.

Le nord de l'Algérie se caractérise par une activité sismique modérée à forte. Au cours de l'histoire, des tremblements de terre violents se sont produits principalement dans la région de l'Atlas, notamment dans la région tellienne, entraînant parfois la destruction de grandes villes algériennes (prenons à titre d'exemple : Alger-1716, Oran-1790, Blida-1825, El Asnam-1980, Constantine-1985, Boumerdes-2003, ..., etc.). Afin d'améliorer la connaissance du modèle de déformation de la région atlasique, et plus globalement de la limite de la plaque africaine, le Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et

Géophysique (C.R.A.A.G.) a commencé depuis 2002 à mettre en place un réseau géodésique, baptisé Réseau Géodésique de l'Atlas (REGAT). Ce réseau, géré par le service Réseau Géodésique (RG), est constitué d'un ensemble de 54 stations déployées principalement dans la région de l'Atlas, de la zone côtière à la plate-forme Sahara. La stratégie de déploiement s'est déroulée en deux phases, la première a débuté en 2004 avec 14 stations installées, et la deuxième phase, démarrée en 2011, concerne un ensemble de 40 stations. Actuellement le REGAT aspire à l'installation de plus de cent nouvelles stations, dans le but de couvrir davantage de zones territoriales.

Les informations fournies par les récepteurs sont collectées au niveau du CRAAG pour la construction des séries chronologiques de chaque point mesuré. Ces séries seront ensuite utilisées par les chercheurs du centre dans le but d'analyser le comportement des plaques et des structures géophysiques et géologiques, et ainsi pouvoir quantifier les déformations autour des structures de l'Atlas et améliorer l'estimation des frontières entre les deux plaques tectoniques (Eurasienne et Nubienne). Ces études s'insèrent dans le cadre de l'analyse des aléas, et permettent aux sismologues de mieux comprendre les mouvements et aussi de pouvoir quantifier les risques de futures activités sismiques dans les régions sous étude. Outre ce domaine, les données récoltées peuvent aussi servir à l'analyse des couches de l'atmosphère, à savoir l'ionosphère et la troposphère, dans le but de connaître les changements des structures climatiques, entre autres. Par conséquent, toute donnée perdue engendre une dégradation dans la qualité des analyses effectuées, chose qui soulève l'importance de la bonne gestion de ce réseau. Dans le service concerné, cette gestion se décompose en deux volets : une intervention physique sur le terrain (concernant la maintenance du matériel), et une gestion du système d'information du réseau en question. Dans notre cas nous sommes intéressés au deuxième volet. Pour cela nous avons réalisé une analyse de la situation actuelle de la gestion de ce réseau en analysant ses différentes procédures pour faire sortir des dysfonctionnements, afin d'optimiser le rendement, en terme du temps de réaction, en cas de panne, et d'intégrité des données. La conception d'un système préventif fiable nous mène à un gain important en termes de dépenses.

2. Questions de recherche

Pour bien acheminer notre travail, et après avoir cerné notre étude, nous nous sommes retrouvés face à une question principale à laquelle nous désirons répondre :

Que peut-on apporter, en termes d'automatisation des tâches de gestion, au réseau sous étude ?

Pour répondre à cette problématique et mieux cadrer et guider notre recherche, nous posons l'ensemble de sous-questions suivantes :

- De quels moyens dispose le service concerné par la gestion du REGAT ?
- Quelle est la stratégie suivie pour la gestion du REGAT ?
- Quelle sont les procédures de gestion du REGAT ?

A la fin de ce chapitre, le lecteur pourra comprendre le contexte de notre étude, l'environnement actuel, qui nous a poussés à nous intéresser à cette thématique, à la problématique posée, ainsi qu'aux questions de recherche auxquelles des réponses doivent être apportées.

Afin de répondre à ces questions, une étude portant sur l'organisation de l'établissement a été effectuée, et ses résultats sont exposés ci-dessous.

3. Contexte organisationnel

Le Centre de Recherche en Astronomie, Astrophysique et Géophysique (CRAAG), est un Etablissement Public à Caractère Scientifique et Technologique (EPST), régi par le décret 20-06 du Février 2006.

Le CRAAG est issu de la création de l'Observatoire d'Alger en 1890 et puis de l'IMPGA (Institut de Météorologie et de Physique du Globe) en 1931. En 1980, fut créé le CNAAG (Centre National d'Astronomie, Astrophysique et Géophysique).

En 1985, lors de la mise en place des statuts des centres de recherches, le CRAAG fut créé par le décret 83-521.

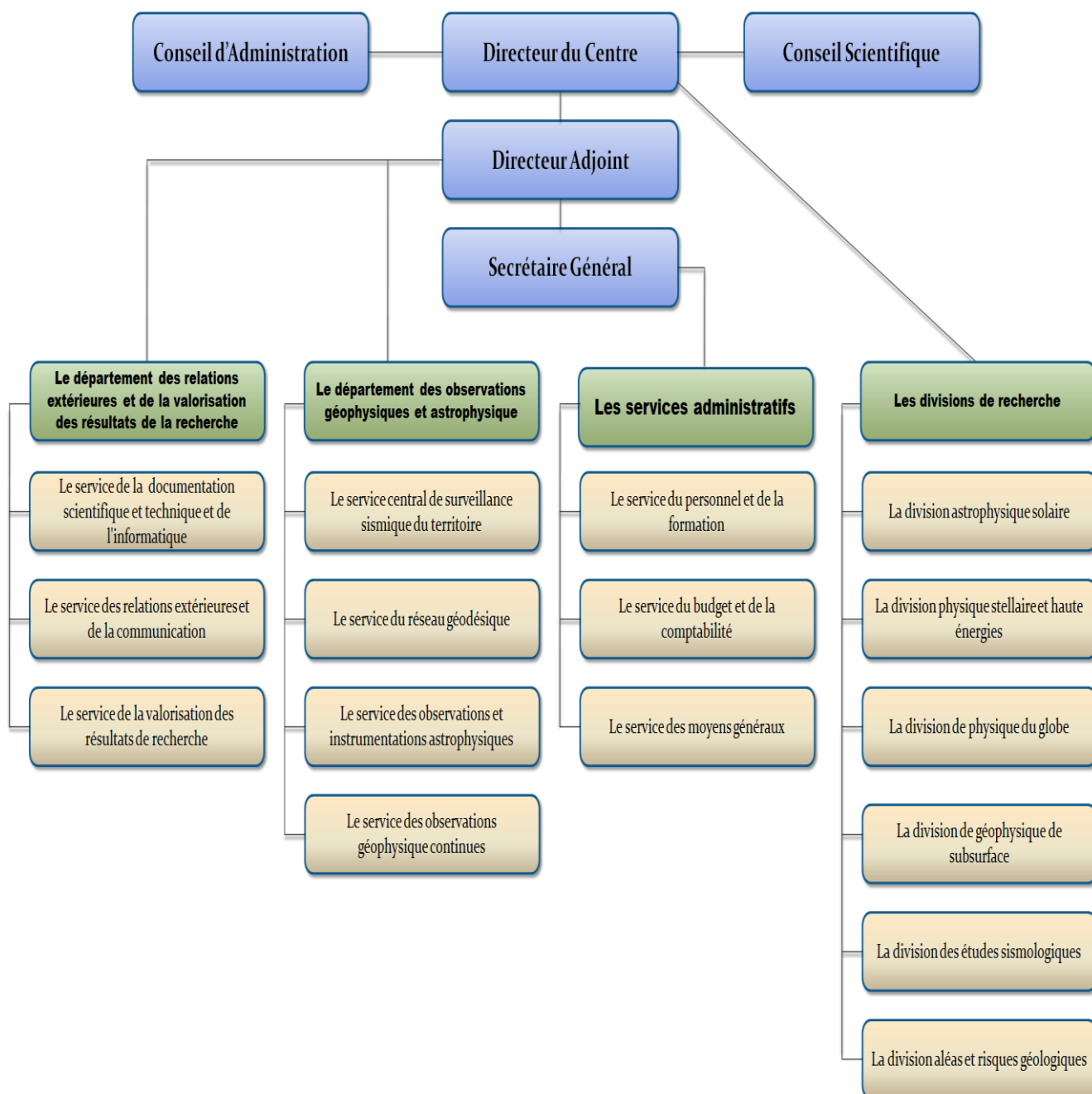
Le CRAAG a plusieurs missions :

- Missions de recherche dans les domaines de l'Astrophysique et de la Géophysique ;
- Missions de service public dans le domaine de la surveillance sismique du territoire ;
- Missions auprès des secteurs Socio-économiques.

3.1. Organigramme

Afin de mieux comprendre les tâches inculquées au service concerné par la gestion, à savoir le service Réseau Géodésique (RG), il est préférable d'exposer l'organisation du centre de recherche par le biais de l'organigramme suivant

Figure 1 : Organigramme du CRAAG.



Source : Documentation du service Ressources Humaines (RH).

CHAPITRE I : REVUE DE LITTÉRATURE ET CADRE CONCEPTUEL

1. Revue de littérature

Dans cette partie, nous présentons quelques réseaux géodésiques européens.

1.1. Réseau GNSS Permanent français (RGP français)

Le réseau GNSS permanent est un réseau de plusieurs centaines de stations GNSS qui enregistrent en continu les informations envoyées par les satellites des différentes constellations (GPS, GLONASS et pour un certain nombre de stations GALILEO) permettant de se localiser en tout point de la surface terrestre. Il constitue une densification sur le territoire français des réseaux permanents internationaux (européen et mondial). Ce réseau a été constitué depuis la fin des années 90 sur la base d'une politique partenariale forte tant avec le secteur public qu'avec le secteur privé.

Les données enregistrées au niveau des stations sont mises à disposition des utilisateurs sous la forme de fichiers horaires ou journaliers, dans le délai le plus bref possible, pour permettre un positionnement différentiel centimétrique. Ces fichiers sont diffusés sur deux serveurs de données accessibles par Internet : <ftp://rgpdata.ign.fr> et <ftp://rgpdata.ensg.eu> ainsi que par une interface de téléchargement : <http://rgp.ign.fr/DONNEES/diffusion>. La totalité des données de ces stations, complétées par des données de stations européennes, est calculée régulièrement pour assurer des contrôles de stabilité de leurs positions et de qualité des données diffusées. Les coordonnées dans la référence nationale des stations permanentes, ainsi que leurs métadonnées (équipements, photos, informations de qualité, de stabilité, etc.) sont accessibles sur le site web du réseau : <http://rgp.ign.fr>. Enfin, le post-traitement d'observations GPS statiques peut être réalisé avec le logiciel de traitement scientifique *Bernese GNSS Software* : http://rgp.ign.fr/SERVICES/calcul_online.php.

Le RGP constitue ainsi un accès aisé et fiable à la référence nationale en matière de coordonnées (RGF93).

Par ailleurs, un sous-produit du calcul, le délai zénithal troposphérique, est fourni à Météo France afin d'être intégré dans les modèles de prévision.

L'IGN joue un rôle de fédérateur auprès de la cinquantaine de contributeurs au réseau. Il est responsable de la diffusion et de l'archivage de l'ensemble des données collectées ainsi que de la mise en référence des stations composant le réseau.

- **Les réseaux et services internationaux**

Avec l'avènement de la Géodésie Spatiale, les réseaux et les systèmes de référence ont maintenant une zone d'application non seulement nationale, mais également européenne et mondiale. Le RGF93 est une réalisation par GNSS du système européen ETRS89 (*The European Terrestrial Reference System 1989*) qui coïncide, par définition, avec le système de référence international ITRS (*International Terrestrial Reference System*) au 1er janvier 1989 et est solidaire de la partie stable de la plaque eurasienne. La réalisation du système terrestre international ITRS repose sur la combinaison de coordonnées fournies par quatre techniques issues de la géodésie spatiale :

- Le GNSS ;
- La télémétrie Laser sur satellite ou sur la Lune ;
- La technique DORIS (Détermination d'Orbite et Radio-positionnement Intégrés par Satellite) ;
- Le VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*).

Elle fait également appel à des informations de rattachement liant ces techniques sur des sites de colocalisation. Ce travail scientifique s'effectue dans le cadre de l'AIG (Association Internationale de Géodésie), constituée principalement de commissions couvrant les domaines d'activité de la géodésie, des services ainsi que des projets. Les services scientifiques réalisent des produits en utilisant leurs propres observations et/ou celles d'autres services en rapport avec la Géodésie, pour des sciences ou applications différentes. Les qualités essentielles demandées à ces produits sont l'exactitude, l'intégrité, leur délai d'obtention et leur adéquation avec l'état de l'art actuel. Chaque service se compose d'un réseau de stations d'acquisition de mesures, de centres de données où les produits et les données sont archivés, de centres d'analyses où les produits sont élaborés, et d'un bureau central qui coordonne les activités et les projets.

1.2. Réseau GNSS permanent européen à l'Observatoire royal de Belgique

Créé en 1996 afin de maintenir un accès précis au système de référence européen (ETRS89), le réseau GNSS permanent d'EUREF (*European Reference*) appelé EPN (*EUREF Permanent Network*) est en constant développement afin de suivre l'évolution des systèmes de navigation globaux par satellites (GNSS) et d'introduire des applications pionnières, comme la technologie NTRIP (*Network Transport of RTCM data over IP*).

L'Observatoire royal de Belgique, responsable de la gestion de l'EPN, joue le rôle de gardien du réseau afin de garantir la fiabilité de ses données et produits (<http://epncb.oma.be>).

En 1987, EUREF, la sous-commission régionale pour l'Europe de la commission 1 pour les Systèmes de Référence de l'Association Internationale de Géodésie (AIG), est créée afin de faire face à un besoin croissant : celui de fournir des données géolocalisées dans un système de référence géodésique tridimensionnel européen qui soit uniforme et précis. Le repère le plus précis qui existait à ce moment (l'ITRF pour *International Terrestrial Reference Frame*, (Altamimi et al. 2007)) ne convenait pas. En effet, en raison du mouvement des plaques tectoniques, les coordonnées exprimées dans le repère global de l'ITRF changent d'environ 2,5 cm par an en Europe. En coopération avec les services de l'AIG concernés et EuroGeographics, l'organisation des agences cartographiques nationales européennes, EUREF se munit en 1990 d'un Système de Référence Terrestre Européen (ETRS89 pour *European Terrestrial Reference System*). Dans le repère de référence associé à l'ETRS89, les coordonnées restent presque constantes.

- **Réseau EPN et rôle du bureau central**

En 1996, EUREF se dote d'un instrument clé permettant le maintien et l'accès à l'ETRS89, à savoir, le réseau GNSS permanent d'EUREF appelé EPN (Bruyninx, 2004). L'EPN suit en grande partie l'exemple de l'IGS (International GPS – maintenant GNSS – Service, Dow et al. 2009) et est considéré par l'IGS comme sa densification Européenne. L'EPN comporte alors 35 stations GPS permanentes existantes qui souhaitent partager leurs données. A cette époque, les données GPS, envoyées quotidiennement à un unique centre de données, se limitaient à des fichiers journaliers et leur traitement était distribué entre quatre centres d'analyse afin de déterminer les positions précises de ces 35 stations dans l'ITRF. Pour obtenir les positions des stations avec une précision millimétrique, toutes les analyses étaient réalisées avec des logiciels scientifiques. Après l'analyse, les positions estimées étaient combinées et converties en ETRS89 pour obtenir le produit EUREF : les positions précises des stations EPN en ETRS89. La coordination du réseau était alors gérée par un coordinateur. Mais, au cours du temps, la structure du réseau s'est étoffée et le nombre de partenaires qui y contribuaient a considérablement augmenté allant de pair avec une complexification des tâches du coordinateur. Si bien qu'en 2000, le bureau central de l'EPN a été créé et est hébergé depuis lors par l'Observatoire royal de Belgique. Le bureau central est responsable de la gestion quotidienne du réseau, il développe et maintient un

site web (<http://epncb.oma.be>) donnant accès aux données, aux produits, et aux différentes métadonnées nécessaires, comme par exemple la documentation détaillée des stations contenue dans les fichiers site log. Toutes les contributions à l'EPN sont volontaires. Cependant, afin de garantir la fiabilité du réseau et de ses services dérivés, les contributeurs s'engagent à suivre des lignes directrices (http://epncb.oma.be/_documentation/guidelines/) et à respecter les formats (http://epncb.oma.be/_documentation/formats/). Ces lignes directrices et formats sont définis et émis par EUREF basés sur les standards IGS. Le bureau central a également un rôle de gardien car il veille à ce que les lignes directrices et les formats soient bien respectés. Il vérifie également la qualité des observations afin de détecter au plus tôt des dysfonctionnements du matériel ou des changements affectant l'environnement et perturbant la bonne réception des observations GNSS. Dans le cadre de ces activités, l'Observatoire royal de Belgique développe des outils qu'il met à la disposition des utilisateurs. Un outil de transformation de coordonnées de stations permet de transformer les coordonnées entre les différentes réalisations de l'ETRS89 et de l'ITR. Il est disponible en ligne (http://epncb.oma.be/_dataproducs/coord_trans/).

Figure 4 : Réseau des stations GNSS permanentes de l'EPN (statut janvier 2013).



Source : Revue XYZ • N° 134 – 1er 44 trimestre 2013, P38, Gestion du réseau GNSS permanent européen à l'Observatoire royal de Belgique

- **Statut du réseau :**

Actuellement, le réseau EPN couvre toute l'Europe et compte presque 250 stations GNSS permanentes. Les directives de l'EPN exigent notamment que les récepteurs et antennes GNSS soient installés sur des monuments géodésiques et observent au minimum les codes et les phases GPS sur les deux fréquences L1 et L2. Le détail des directives et des recommandations est disponible sur :

(http://epncb.oma.be/_documentation/guidelines/guidelines_station_operationalcentre.pdf)

- **Modernisation du réseau :**

EUREF veut jouer un rôle pionnier dans la modernisation de réseaux de stations GNSS permanentes et stimule donc l'installation de récepteurs capables d'observer tous les satellites GNSS visibles (le système américain GPS, mais aussi le système russe GLONASS et le système européen Galileo). La première station capable d'observer les satellites GPS et GLONASS a été installée dans l'EPN en décembre 1999. Aujourd'hui presque toutes les nouvelles stations incluses dans l'EPN sont équipées avec des récepteurs GPS+GLONASS, ce qui porte le pourcentage des stations EPN fournissant des données GPS+GLONASS à 68 %. En outre, 67 stations EPN utilisent déjà du matériel qui est certifié "Galileo-ready". Depuis le lancement du premier satellite GPS du block II-F, le 27 mai 2010, les nouveaux satellites GPS émettent une troisième fréquence, la "L5". A ce jour, 75 stations EPN ont la capacité d'observer ce nouveau signal, mais seulement 32 d'entre elles le fournissent réellement dans leurs données. Dans le cadre de la modernisation du réseau EPN vers un réseau multi-GNSS, le bureau central a développé les outils nécessaires pour fournir des statistiques détaillées sur chacune des fréquences observées dans les stations de l'EPN (http://epncb.oma.be/_networkdata/trackingstatus.php). De plus, le bureau central a récemment mis à jour les graphiques fournissant un aperçu mensuel des satellites observés à chaque station incluant maintenant également les satellites GLONASS.

- **Flux de données / accès aux données :**

- **Données horaires et journalières :**

Les données provenant des stations GNSS de l'EPN sont disponibles gratuitement sur Internet (par ftp anonyme) dans deux centres de données : OLG (*Austrian Academy of Sciences*, Autriche, <ftp://olggps.oeaw.ac.at/pub/outdata/>) et BKG (*Bundesamt für Kartographie und Geodäsie*, Allemagne, <ftp://igs.bkg.bund.de/EUREF/obs/>). Ces

données sont distribuées sous forme de fichiers journaliers (obligatoire) et horaires (94,7 % des stations de l'EPN) échantillonnés à 30 secondes et au format RINEX 2.11 (Gurtner et al. 2012).

- Flux temps réel :

En 2002, EUREF lance l'idée d'utiliser Internet pour diffuser des corrections RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) afin de permettre à ses utilisateurs d'avoir accès à l'ETRS89 en temps réel en utilisant la technique RTK (Real-Time Kinematic). Le projet pilote EUREF-IP qui a pour vocation à développer, tester et implémenter cette idée baptisée NTRIP dans l'EPN est un succès spectaculaire. L'idée NTRIP est reprise par les fabricants de récepteurs GNSS et plusieurs stations EPN commencent à distribuer leurs données en temps réel. En 2007, le projet pilote est clos et le flux de données en temps réel s'intègre dans les activités de routine de l'EPN. Aujourd'hui, en plus du flux de données standard (fichiers horaires et journaliers), les stations sont fortement encouragées à rendre leurs données disponibles en temps réel au format RTCM 3.X ce qui est déjà le cas pour la moitié d'entre elles. Trois émetteurs régionaux, ASI (<http://euref-ip.asi.it:2101/>), BKG (<http://www.euref-ip.net/home>) et ROB (<http://www.euref-ip.be/home>), reçoivent et disséminent tous les flux de données temps-réels provenant des stations EPN. Des données 15 min RINEX high-rate échantillonnées à 1 seconde sont générées à partir de ce flux temps réel. Ces données high-rate peuvent alors être analysées de la même manière que les données RINEX horaires ou journalières et les mêmes corrections et modèles d'analyse sont utilisés. Par conséquent, les RINEX high-rate, comme toutes les autres données RINEX, doivent contenir des observations faisant référence au centre de phase de l'antenne. L'option NULLANTENNA permettant que les observations de code et phase fassent référence au point de référence de l'antenne (et non plus au centre de phase) ne peut donc pas être utilisée par les responsables de station en créant leur flux RTCM. Depuis 2012, le bureau central vérifie si l'option est utilisée et demande sa suppression le cas échéant. Dans le cadre d'un projet pilote, le coordinateur des analyses temps réel (BKG, Allemagne) génère et distribue (en utilisant NTRIP) des flux de corrections d'orbites et d'horloges à appliquer aux orbites et horloges radiodiffusées afin que les utilisateurs qui veulent tester la technique PPP puissent estimer leur position en ETRS89 au décimètre près en temps réel.

- **Surveillance du flux de données :**

Le bureau central vérifie la disponibilité des données ainsi que le temps mis par les fichiers pour être présents dans les centres de données. Cette vérification est réalisée pour tous les fichiers RINEX journaliers, horaires et pour les flux temps réels. Pour les données journalières et horaires, nous vérifions si les données sont bien présentes dans les deux centres de données régionaux (BKG et OLG) dans un délai de respectivement 3 jours, et 10 minutes. En cas de données manquantes (sans en avertir le bureau central), nous demandons aux responsables des stations concernées de vérifier leurs procédures d'envoi des données et, si possible, de les soumettre à nouveau. Un contrôle similaire est effectué sur les données en temps réel. Toutes les deux heures, le bureau central se connecte aux flux de données temps réel et vérifie le délai entre le moment de la réception du flux et l'heure d'observation. Un aperçu général de ces délais est disponible à partir du ftp://epncb.oma.be/pub/station/real_time/monitor.latency et montre, en général un temps de latence entre 0,3 s et 2 s.

2. Cadre conceptuel

Dans cette partie, nous allons introduire quelques notions théoriques, ayant une relation avec l'environnement du travail, afin de faciliter la compréhension du sujet et de mieux éclaircir la pertinence de la recherche.

2.1. Géodésie

Science très ancienne, la Géodésie a eu longtemps pour objet l'étude de la forme de la Terre et la mesure de ses dimensions. La mise sur orbite des premiers satellites artificiels autour de la terre, dans le milieu des années 1960, a marqué le début d'une transformation radicale de cette discipline. En effet, grâce à la multiplicité des capteurs embarqués et aux performances sans cesse accrues des systèmes spatiaux, la Terre est aujourd'hui « mesurée » de loin, de façon globale et permanente, avec une précision saisissante. Les phénomènes observés par la Géodésie Spatiale sont étonnamment variés. Ils concernent :

- le champ de pesanteur, dont les variations géographiques résultent de la répartition hétérogène de la matière à l'intérieur du globe terrestre et, en particulier, des courants convectifs qui animent le manteau ;
- la cartographie, avec une résolution kilométrique, des reliefs sous-marins, dont les grands traits sont associés aux frontières des plaques tectoniques ;

- des mouvements divers, comme ceux actuels des plaques tectoniques, les déformations de la croûte terrestre dans les régions sismiques, les déformations associées aux éruptions volcaniques, les mouvements verticaux de la croûte terrestre (par exemple l'élévation des montagnes, la subsidence du sol due à l'exploitation pétrolière ou encore la surrection des régions nordiques causée par la fonte des calottes glaciaires de la dernière grande glaciation), la mesure des pulsations à grande échelle du globe solide et des océans dues à l'attraction de la Lune et du Soleil (marées terrestres et océaniques) ;
- les fluctuations de la vitesse de rotation de la Terre sur elle-même et les oscillations de son axe de rotation ;
- les variations temporelles du champ de pesanteur résultant de redistributions de masses d'air ou d'eau entre l'atmosphère, les océans et les réservoirs hydrologiques continentaux ;
- les mouvements du centre de masse de la Terre.

L'ensemble de points matériels dont les coordonnées sont mesurées continuellement représente un réseau géodésique. La fonction de ce dernier est de réaliser un système de référence terrestre et constitue une composante d'un processus de positionnement.

2.2. Réseau GNSS

Un système mondial de navigation par satellite (GNSS), désigne une constellation de satellites fournissant des signaux provenant de l'espace qui transmettent des données de positionnement et de synchronisation aux récepteurs GNSS. Les récepteurs utilisent ensuite ces données pour déterminer l'emplacement.

Par définition, le GNSS fournit une couverture mondiale. Parmi les exemples de GNSS figurent le système européen Galileo, le système américain NAVSTAR (GPS), le système russe GLONASS et le système chinois BeiDou.

La performance de GNSS est évaluée en utilisant quatre critères :

- **Précision** : la différence entre la position mesurée et réelle d'un récepteur, sa vitesse ou son temps ;
- **Intégrité** : capacité d'un système à fournir un seuil de confiance et, en cas d'anomalie dans les données de positionnement, une alarme ;
- **Continuité** : capacité d'un système à fonctionner sans interruption ;

- **Disponibilité** : le pourcentage de temps pendant lequel un signal remplit les critères de précision, d'intégrité et de continuité.

Cette performance peut être améliorée par des systèmes régionaux de renforcement satellitaire (SBAS), tels que le service européen de navigation par recouvrement géostationnaire (EGNOS). Ce dernier améliore la précision et la fiabilité des informations GPS en corrigeant les erreurs de mesure du signal et en fournissant des informations sur l'intégrité de ses signaux.

2.3. Principe de fonctionnement d'un récepteur GNSS

Les quatre principaux systèmes de positionnement par satellites (GPS, GLONASS, Galileo et BeiDou) utilisent le même principe de fonctionnement : chaque satellite émet en permanence un signal transportant une information sur la position du satellite et l'heure précise de l'émission (déterminée par une horloge atomique ultra-précise embarquée dans le satellite) ; l'utilisateur est équipé d'un récepteur, qui mesure les instants de réception des signaux provenant des satellites dans son champ de visibilité. La détermination de la position du récepteur consiste en la résolution d'une équation à quatre inconnues : la position géographique du récepteur (latitude, longitude), son altitude et le biais de l'horloge de mesure du récepteur. Il faut donc quatre satellites visibles pour déterminer une position (avec, en prime, un sous-produit disponible : la mesure précise du temps).

Pour que le récepteur fonctionne sur toute la surface du globe (ou dans son voisinage : avions, satellites), il faut qu'il puisse voir en permanence au minimum 4 satellites et que la répartition géométrique des satellites positionnés au-dessus de lui soit la plus uniforme possible.

C'est ce qui explique le nombre important de satellites à placer sur orbite : 24 satellites représentent le minimum requis pour le GPS actuel et pour le GLONASS, et ce minimum sera de 30 pour les 4 systèmes futurs.

Les spécialistes utilisent le terme constellation pour décrire l'ensemble des satellites d'un même système. Ce terme désigne usuellement, en astronomie, un ensemble d'étoiles paraissant proches les unes des autres dans le ciel.

En Astronautique, une constellation désigne un ensemble de satellites identiques utilisés pour une même application. La constellation GPS est constituée nominale de 24 satellites, répartis 4 par 4 sur 6 plans orbitaux ; la constellation GPS future en comprendra 30, Répartis sur 6 Plans orbitaux.

La Constellation GLONASS, en cours de renforcement, devrait comprendre 24 Satellites répartis sur trois plans orbitaux ; la future version devrait comprendre 30 satellites, répartis sur 3 plans orbitaux (tout comme la constellation européenne Galileo Et la constellation chinoise BeiDou). Les Orbites utilisées sont généralement circulaires, à moyenne altitude (au voisinage des 20 000 km), avec une inclinaison par rapport à l'équateur voisine de 60°, permettant ainsi de couvrir les hautes latitudes terrestres.

2.4. Méthodes de positionnement

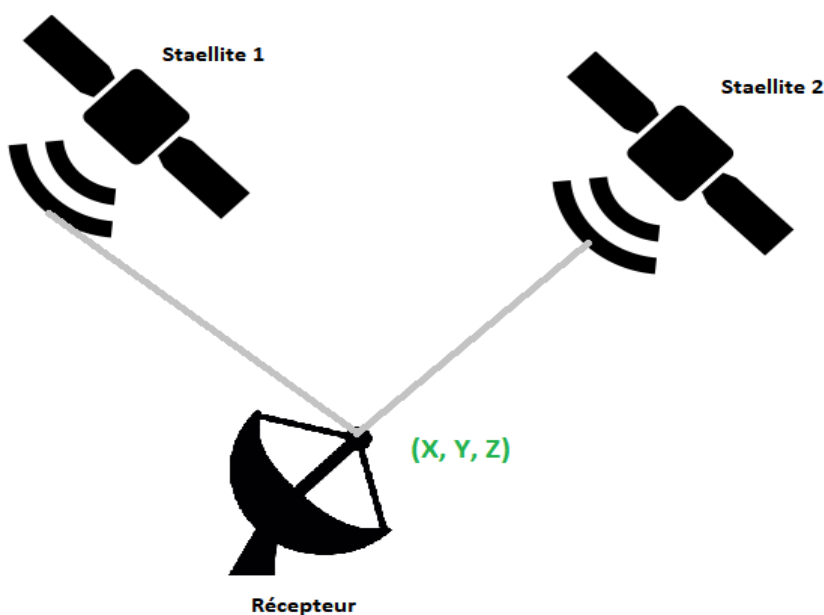
Le positionnement à l'aide de GNSS se base sur deux grands modes :

- ***Positionnement absolu ou ponctuel***

La position de l'antenne est déterminée de manière directe à partir des observations et de la position des satellites, dans le même référentiel. C'est le cas de positionnement standard de chaque GNSS, réalisé en temps réel à l'aide de mesures de code. Il est utilisé pour la navigation (militaire, automobile, aérienne, pédestre, etc.). Le positionnement se fait dans le repère de référence associé au GNSS. C'est en général le seul moyen d'y accéder.

Depuis le début des années 2000, le positionnement absolu est également réalisé de manière précise à l'aide de mesures de phase, appelé PPP (Precise Point Positioning). Actuellement, ce type de positionnement est en majorité limité à des applications scientifiques.

Figure 2 : Positionnement absolu.



Source : Réalisé par nous-même.

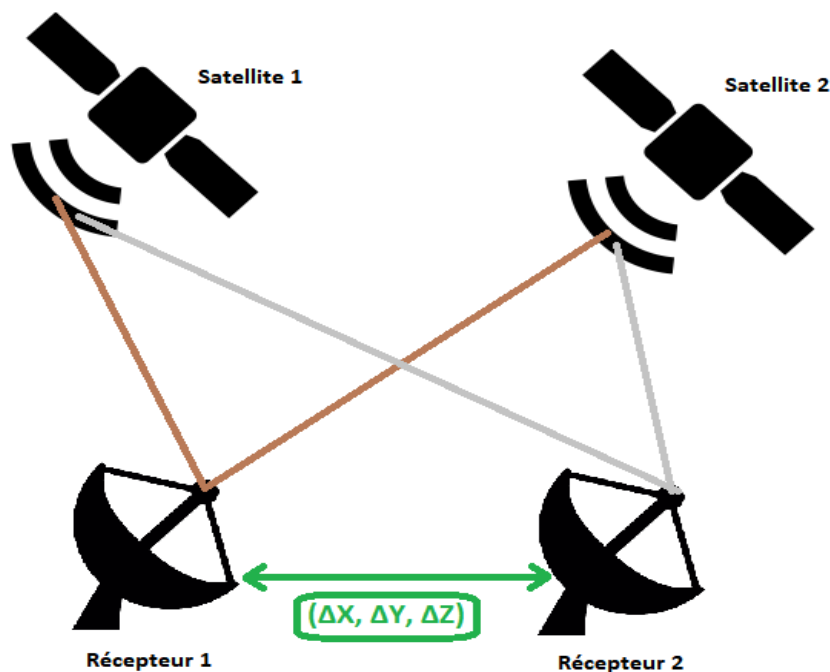
- **Positionnement relatif ou différentiel**

Le vecteur séparant l'antenne de position inconnue et une ou plusieurs stations de référence est estimé. C'est le mode de positionnement le plus précis car il permet d'éliminer les erreurs systématiques à toutes les mesures (éphémérides radiodiffusées, effets atmosphériques, erreurs d'horloge) en réalisant des différences d'observation entre des stations.

Pour cela, il est nécessaire de disposer de deux stations qui observent simultanément. Les observations seront alors comparées pour déduire leur position relative. Le positionnement peut se baser sur des mesures de code ou de phase, pour un temps d'observation allant de quelques secondes à plusieurs jours voire plusieurs années. Le calcul est réalisé en temps réel ou en temps différé, avec des éphémérides radiodiffusées ou recalculées.

La position est alors déterminée dans le système de référence dans lequel une des stations, choisies comme référence (et fixe), est exprimée. La précision atteinte varie alors du mètre à quelques millimètres en fonction des choix effectués.

Figure 3 : Positionnement relatif.



Source : Réalisé par nous-même.

Ces deux modes de positionnement peuvent être réalisés selon le type de mesures (mesures sur le code et mesures sur la phase) et selon le type d'observation (en temps réel ou en temps différé). Les différentes méthodes de positionnement sont :

- **Standard** : Positionnement absolu sur le code en temps réel ou différé ; la précision est de l'ordre de 5 m.
- **DGNSS** : *Differential GNSS*, positionnement relatif sur le code en temps réel ou différé ; la précision est de l'ordre de 50 cm.
- **RTK** : *Real Time Kinematic*, positionnement relatif sur la phase en temps réel ; la précision est de l'ordre de 5 cm.
- **PPP** : *Precise Point Positioning*, positionnement absolu sur la phase en temps réel ou différé ; la précision est inférieure au centimètre en temps différé et supérieure à 10 cm en temps réel (mais avec des temps d'initialisation très importants).
- **Statique** : Positionnement relatif sur la phase en temps réel ou différé ; la précision varie entre quelques millimètres et quelques centimètres en fonction du temps d'occupation.

2.5. Protocole NMEA

NMEA est un acronyme pour la National Marine Electronics Association. NMEA existait bien avant l'invention du GPS. Selon le site Web NMEA, l'association a été créée en 1957 par un groupe de concessionnaires électroniques pour créer de meilleures communications avec les fabricants. Aujourd'hui, dans le monde du GPS, NMEA est un format de données standard supporté par tous les fabricants de GPS, tout comme l'ASCII est la norme pour les personnages d'ordinateurs numériques dans le monde informatique.

L'objectif de NMEA est de donner aux utilisateurs de l'équipement la possibilité de mélanger et de faire correspondre le matériel et les logiciels. Les données GPS au format NMEA facilitent également la tâche aux développeurs de logiciels qui écrivent des logiciels pour une grande variété de récepteurs GPS au lieu de devoir écrire une interface personnalisée pour chaque récepteur GPS. Par exemple, le logiciel VisualGPS (gratuit) accepte les données au format NMEA de n'importe quel récepteur GPS et les affiche graphiquement. Sans une norme telle que NMEA, il serait long et coûteux d'écrire et de maintenir un tel logiciel.

Ce qui rend un peu confus NMEA, c'est qu'il y a pas mal de messages "NMEA", pas un seul. Donc, tout comme il existe toutes sortes de récepteurs GPS avec des capacités différentes, il existe de nombreux types différents de messages NMEA avec des capacités différentes. En outre, les données NMEA peuvent être transmises via différents types d'interfaces de communication telles que RS-232, USB, Bluetooth, Wi-Fi, UHF et bien d'autres.

CHAPITRE II : CADRE MÉTHODOLOGIQUE

Ce chapitre expose la méthodologie adoptée pour mener à bien la présente étude et la façon suivie pour la collecte des informations et des données.

1. Approche méthodologique

Notre étude se base sur une démarche scientifique inductive qui consiste à démarrer du terrain pour l'étude du sujet de recherche, en se basant essentiellement sur l'analyse de la situation existante au sein du service réseau géodésique. Nous avons opté pour la combinaison de deux sources d'informations (citées ci-dessous), dans une démarche qualitative exploratoire.

L'avantage de la recherche qualitative est d'apporter une meilleure description de la réalité en se basant sur les propos et les comportements des acteurs, sur la prise en compte du contexte environnemental et sur l'interaction avec les intervenants, afin de permettre une meilleure compréhension du terrain.

La collecte des informations, durant notre étude, s'est déroulée comme suit :

1.1. Sources d'informations

Les informations nécessaires pour la réalisation de notre étude sont collectées à partir de deux sources, à savoir l'observation participante et trois entretiens semi directifs.

- ***L'observation participante*** : Consiste à analyser les différentes tâches des personnes impliquées dans la gestion du réseau géodésique, en se basant sur la collaboration et l'accompagnement.
- ***Les entretiens semi directifs*** : Le service concerné par la gestion du réseau se compose de 4 personnes, avec des fonctions différentes, dont un chef de service, un électronicien, un statisticien et une personne chargée du suivi du réseau. Un entretien a été effectué avec les chacun de ces éléments.

2. Méthodologie de l'enquête et échantillonnage

Nous avons interviewé toute personne ayant un rôle dans la gestion du réseau géodésique. La diversité des spécialités des interviewés a donné une certaine cohérence à notre étude.

Le tableau suivant représente les informations concernant les interviewés et les entretiens.

Tableau 1 : Informations des interviewés et des entretiens.

Numéro de l'entretien	Fonction de l'interviewé	Durée de l'entretien	Date de déroulement
01/03	<i>Chef du service REGAT depuis 2004</i>	30 minutes	12/11/2017
02/03	<i>Electronicien / Chargé de la maintenance du REGAT depuis 2013</i>	17 minutes	16/11/2017
03/03	<i>Chargé du suivi de REGAT depuis 2014</i>	43 minutes	21/11/2017

Source : Réalisé par nous-même.

Pour bien acheminer notre étude, des guides d'entretiens ont été élaborés après avoir collecté les informations primaires, lors des observations et des accompagnements, qui vont être confirmées ou infirmées après l'analyse des réponses des interviewés.

Nous présentons ci-dessous le contenu des différents guides d'entretiens.

- **01/03** : Ce premier entretien porte sur :
 - les concepts généraux d'un réseau GNSS ;
 - le fonctionnement du réseau REGAT, son historique ;
 - les objectifs du service RG et les perspectives du REGAT ;
 - les différentes fonctions et tâches des membres du service RG ;
 - les moyens matériels et techniques du service RG.
- **02/03** : Cet entretien englobe :
 - les composants matériels d'une station géophysique ;
 - les différents moyens de communication ;
 - les tâches d'intervention et de maintenance du réseau REGAT ;
 - les problèmes potentiels et les pannes les plus récurrentes ;
 - les difficultés rencontrées sur le terrain ;
 - les coûts de maintenance.
- **03/03** : Enfin, ce troisième et dernier entretien prend en compte :
 - les tâches et procédures quotidiennes de gestion ;
 - les moyens techniques utilisés lors de la gestion à distance du réseau REGAT ;
 - les problèmes potentiels et les pannes techniques les plus récurrentes.

CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Cette partie est consacrée à l'étude de l'existant en analysant les différentes tâches et procédures qui servent à la gestion du REGAT.

L'analyse sera basée sur l'observation directe des tâches de toute personne intervenant de près ou de loin dans la gestion en question, ainsi que l'ensemble des moyens techniques utilisés dans cette optique, tout cela afin d'optimiser le fonctionnement en proposant des solutions aux éventuels problèmes rencontrés. Mais avant d'évaluer la solution actuelle, nous présentons, dans un premier lieu, la constitution du réseau REGAT. Ensuite, nous exhibons les différentes variantes de communication entre les différentes stations et le serveur central. Finalement, nous concluons par l'analyse du service qui gère le réseau sus-cité.

1. Le Réseau Géodésique de l'Atlas (REGAT)

Le REGAT est constitué de 54 stations permanentes, de marque LEICA, déployées sur quatre régions principales, à savoir Alger, Oran, Constantine et Chlef. Chaque station se compose d'un récepteur, qui n'est configurée actuellement que pour les constellations GPS et GLONASS, d'une antenne considérée comme un canal de communication et d'un système d'alimentation.

Figure 5 : Répartition des stations du réseau REGAT.



Source : Documentation du service RG.

Tableau 2 : Détails de l'ensemble des stations du REGAT.

Identifiant du site	Localisation (Wilaya)	Mode de communication	Identifiant du site	Localisation (Wilaya)	Mode de communication
ABKD	Boukerdane/ Tipaza	GSM	CSVB	Ain Smara / Canstantine	VSAT
ABSD	Boussaada/ M'Sila	GSM	CTCH	Tichi Haf / Béjaia	GSM
ABZH	Bouzareah/ Alger	ADSL	EADB	Ain Dhab / Tiaret	GSM
ADCK	Dar Chyoukh/ Djelfa	GSM	EARB	Arib / Ain Defla	GSM
ADJF	Djelfa	VSAT	EASA	Ain Sidali / Laghouat	GSM
AFDJ	El Fadj/ Djelfa	GSM	EBGR	Bougara / Tiaret	GSM
AFRS	Ain Fares/ M'Sila	GSM	EBNH	Beni Haoua / Chlef	GSM
AKDR	Kaddara/ Boumerdes	GSM	EECH	Chlef	ADSL
AKET	Kettaf/ Bouira	GSM	EKMS	Kramis / Mostaganem	GSM
ATKJ	Tikjda/ Bouira	GSM	EMHD	Mehouada / Médéa	GSM
CABS	Ababssia / Guelma	VSAT	ESKN	Ain Skhouna / Saida	GSM
CAEH	Ain El Ouahche / Skikda	GSM	ETJN	Tadjrouna/ Laghouat	GSM
CAEK	Ain El Khadra / M'Sila	GSM	EZEA	Zmalet El Emir / Tiaret	GSM
CBBR	Babar / Khenchela	GSM	OAIN	Ain Boudinar / Mostaganem	GSM
CBCK	Bouchebka / Tebessa	GSM	OAIR	Ain Aorak / El Bayadh	GSM
CBEJ	Bejaia	GSM	OASF	Ain Safra / Naama	GSM
CCOL	Colo / Skikda	GSM	OBBL	Beni Bahdel / Tlemcen	GSM
CFKZ	Foum El Kherza / Biskra	GSM	OBHM	Bir Lahmam / Sidi Belaabes	GSM
CJIJ	Jijel	GSM	ODJA	Djebailia / Mascara	GSM
CJSR	Ain El Jasser / Batna	GSM	OJGS	Guire / Tiaret	VSAT
CKAL	Kala / El Tarf	GSM	OKHE	El Keither / El Bayadh	GSM
CKHR	Kaf Lahmar / Setif	GSM	OKHM	Sidi Belaid / El Bayadh	GSM
CKTS	El Kentara / Biskra	GSM	OLHC	Oulhaça / Ain Temouchent	GSM
CMAR	El Marssa / Skikda	GSM	ORAN	Oran	ADSL
CNAJ	Sidi Nadji / Biskra	GSM	OSDA	Ouest Saida / Saida	GSM
CNGR	Negrine / Tebessa	GSM	OTSS	Tassala / Sidi Belaabes	VSAT
CRHA	Rehia / Oum Elbouagui	GSM	TTAM	Tamanrasset	/

Source : Réalisé par nous-même.

L'alimentation du matériel est assurée par des batteries externes qui sont rechargées à travers des panneaux solaires dans les zones rurales, ou bien par un fournisseur d'électricité, à savoir Sonelgaz, où cela se permet.

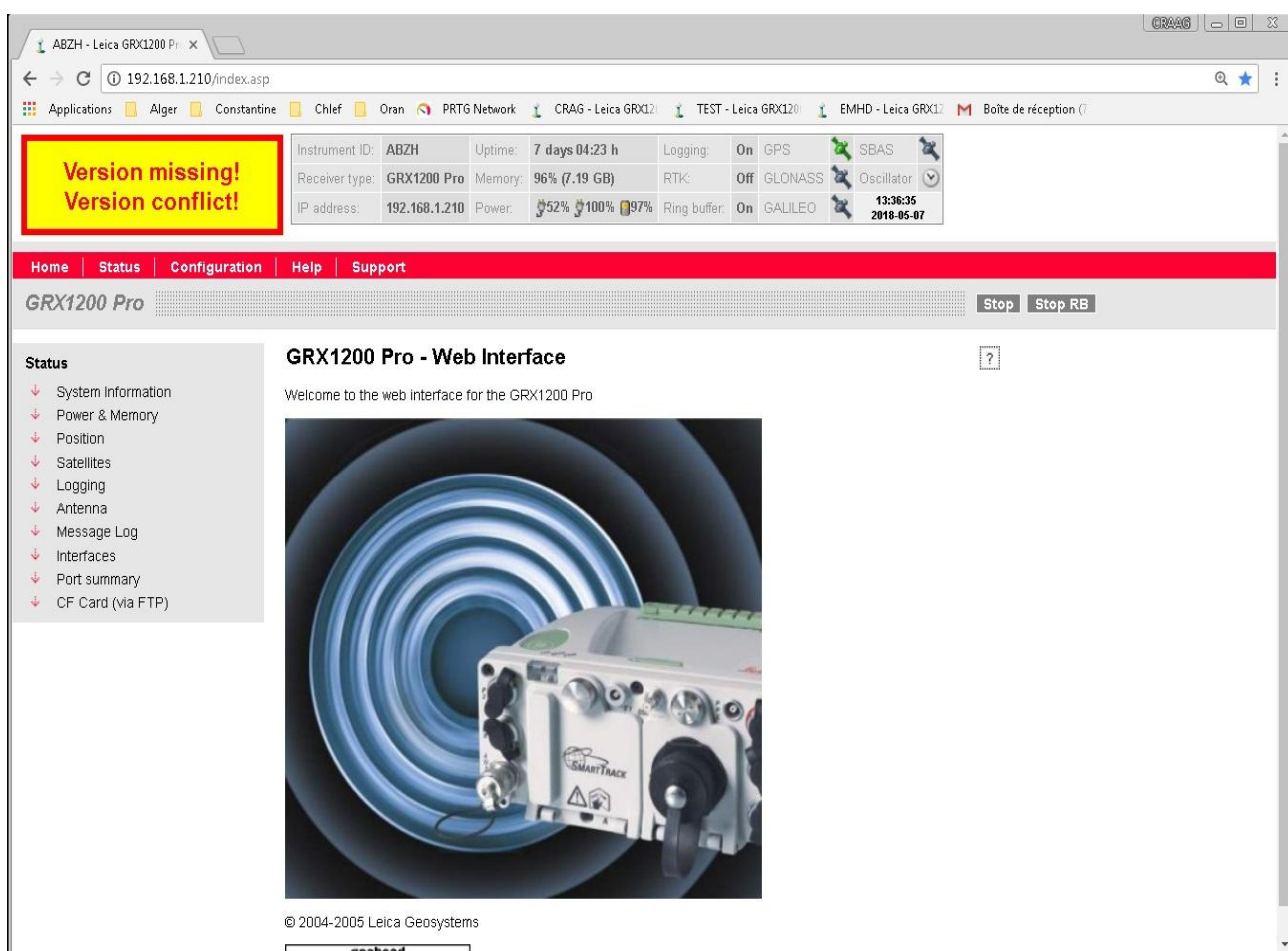
Figure 6 : Exemple d'une station : 1– Antenne, 2 – Panneau solaire, 3 – Routeur GSM et 4 – Récepteur GNSS.



Source : Documentation du service RG.

Chaque récepteur peut être contrôlé via son interface web (Figure 7). Nous citons les fonctionnalités de cette dernière dans la liste non exhaustive suivante :

- Configuration, redémarrage du récepteur et manipulation de ces différentes fonctionnalités ;
- Diffusion des informations concernant l'état de la station. (Durée depuis le dernier démarrage, états de l'enregistrement des données et de l'alimentation, mémoire disponible, et nombre de satellites connectés, entre autres).

Figure 7 : Interface Web d'un récepteur.

Source : Réalisé par nous-même en utilisant une capture d'écran.

2. Les différents modes de communication

Chaque station est reliée au serveur central en utilisant un des trois moyens de communication, à savoir GSM (Global System for Mobile Communications), ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) et VSAT (Very Small Aperture Terminal).

Le tableau suivant représente une comparaison entre les trois modes de communication utilisés selon l'électronicien du service, qui est chargé de la maintenance du matériel sur le terrain depuis 2013.

Tableau 3 : Comparaison entre les modes de communications (Évaluation sur une échelle de cinq étoiles)

	GSM	ADSL	VSAT
Coût d'installation	★ ★ ☆ ☆ ☆	★ ☆ ☆ ☆ ☆	★ ★ ★ ★ ★
Frais annuels (abonnement)	★ ★ ☆ ☆ ☆	★ ☆ ☆ ☆ ☆	★ ★ ★ ★ ★
Mobilité du matériel	★ ★ ★ ☆ ☆	★ ☆ ☆ ☆ ☆	★ ★ ★ ★ ★
Difficulté de la maintenance	★ ★ ☆ ☆ ☆	★ ★ ★ ☆ ☆	★ ★ ★ ★ ☆
Débit	★ ★ ☆ ☆ ☆	★ ★ ★ ★ ☆	★ ★ ★ ★ ★
Stabilité de la communication	★ ★ ☆ ☆ ☆	★ ★ ★ ★ ☆	★ ★ ★ ★ ★

Source : Réalisé par nous-mêmes sur la base d'un entretien effectué avec l'électronicien du service (Annexe B).

En effet, nous avons constaté que le VSAT est une solution onéreuse, ce qui a pu entraver son installation sur toutes les stations (ce mode n'est utilisé que lorsqu'aucun autre moyen n'est disponible). Bien que l'ADSL soit plus stable que le GSM, la majorité des stations du REGAT sont reliées par le deuxième mode. Cela peut se justifier par l'indisponibilité des lignes téléphoniques dans les zones extra-urbaines où se trouvent les stations.

3. Le service Réseau Géodésique (RG)

Le service RG est une sous structure du Département des Observations Géophysiques et Astrophysiques (DOGA). Il est chargé de :

- assurer, de façon continue, le relevé des mesures géodésiques du réseau permanent national ;
- procéder aux mesures périodiques des réseaux géodésiques semi permanents ;
- réaliser et d'assurer le fonctionnement des stations permanentes de mesures géophysiques en continu ;
- assurer la coordination entre les différentes stations géophysiques ;
- garantir la maintenance des instruments de mesures géophysiques ;
- veiller à l'élaboration de bulletins géophysiques ;
- développer une banque de données des stations géophysiques ;
- conserver et d'actualiser les archives de données géodésiques.

3.1. Moyens humains

Tableau 4 : Informations sur les collaborateurs du service RG.

N° ordre	Fonctions	Profil de formation	Expérience Professionnelle
01	Chef de service	Doctorant en Géophysique	18 ans
02	Ingénieur de soutien à la recherche / Chargé du suivi du réseau	Doctorant en Géophysique	04 ans
03	Ingénieur de soutien à la recherche / Chargé de la maintenance du matériel du réseau	Ingénieur en Electronique	05 ans
04	Ingénieur de soutien à la recherche / Développeur des méthodes statistiques	Doctorant en Mathématiques	04 mois

Source : Réalisé par nous-même.

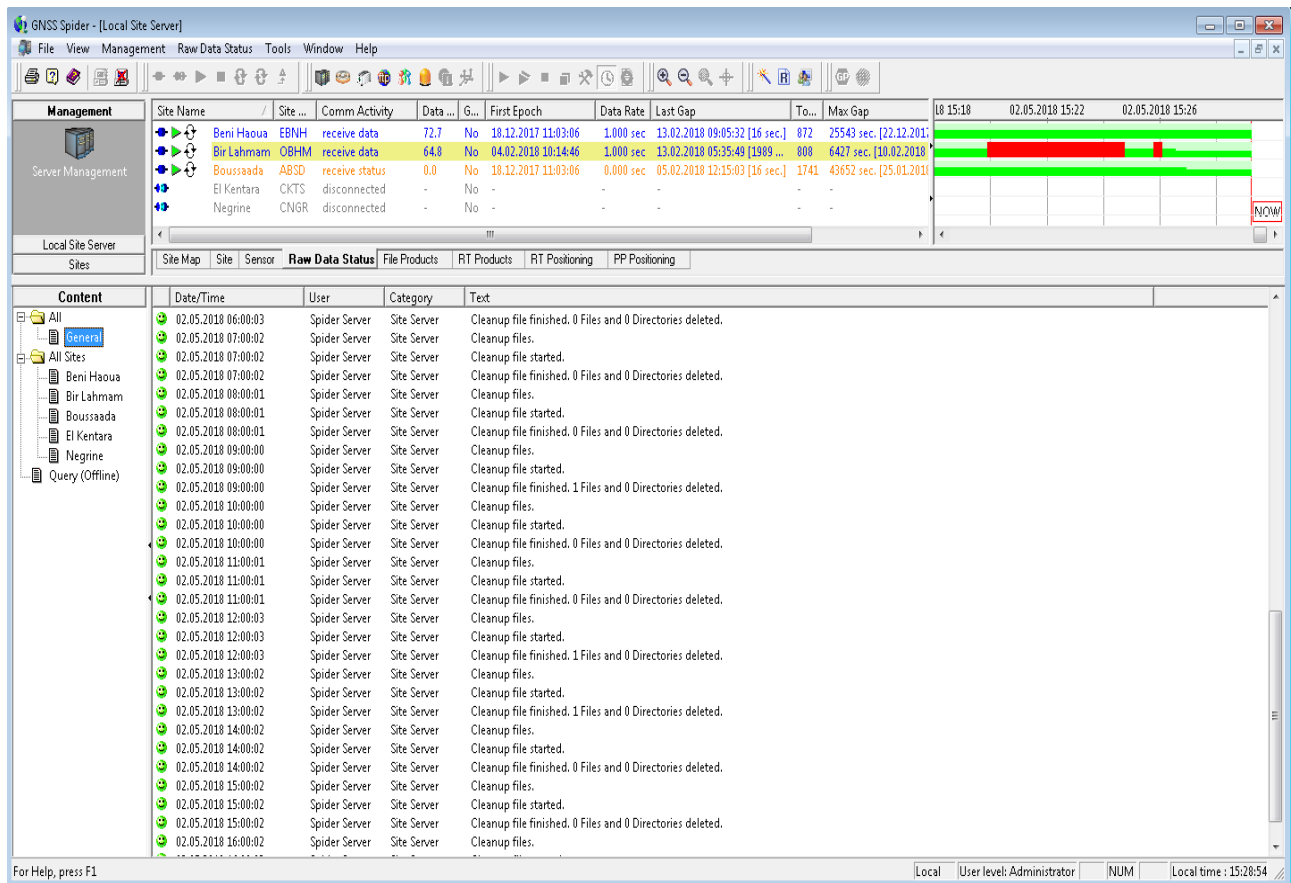
3.2. Moyens matériels

Le service dispose de 6 serveurs, dont seulement un est opérationnel et est consacré à l'acquisition et au stockage des données. Ces serveurs se trouvent dans une salle sécurisée, munie de systèmes d'alimentation et de climatisation particuliers.

3.3. Moyens techniques

Le service dispose également d'un logiciel, appelé GNSS SPIDER, qui a été offert, en mesure d'accompagnement, par la firme LEICA après acquisition d'équipements spécifiques. GNSS Spider est une suite logicielle intégrée pour le contrôle et l'exploitation centralisés des stations et des réseaux de référence GNSS. Il peut être adapté à diverses applications de surveillance sismiques et géodésiques. Eu égard de l'obsolescence de la version actuelle et étant donné que la clé d'activation de la nouvelle version coûte trop cher, l'outil présente des bugs et des limitations de services.

Figure 8 : Interface graphique de GNSS SPIDER.



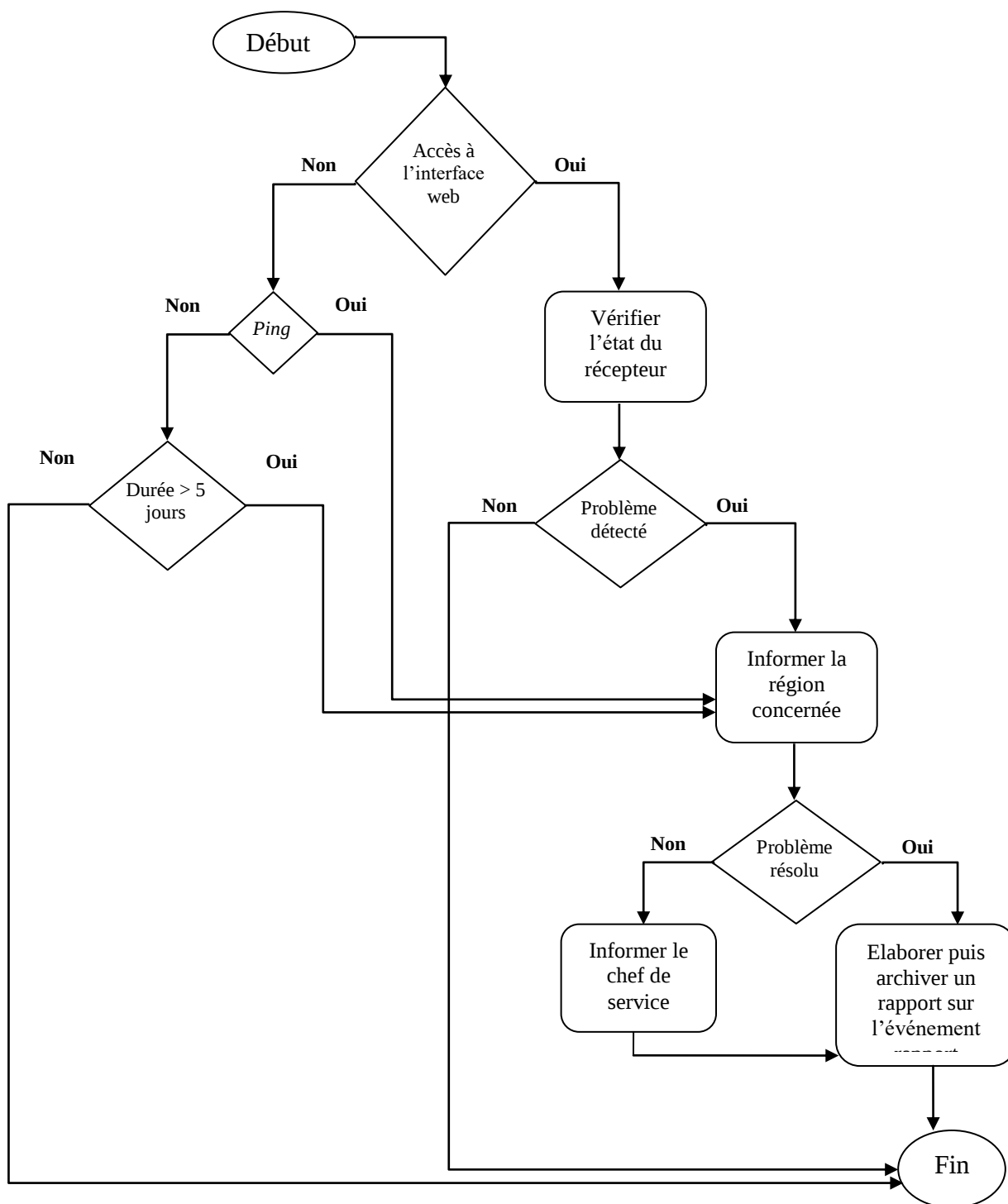
Source : Réalisé par nous-mêmes en utilisant une capture d'écran.

4. Procédure de gestion du REGAT

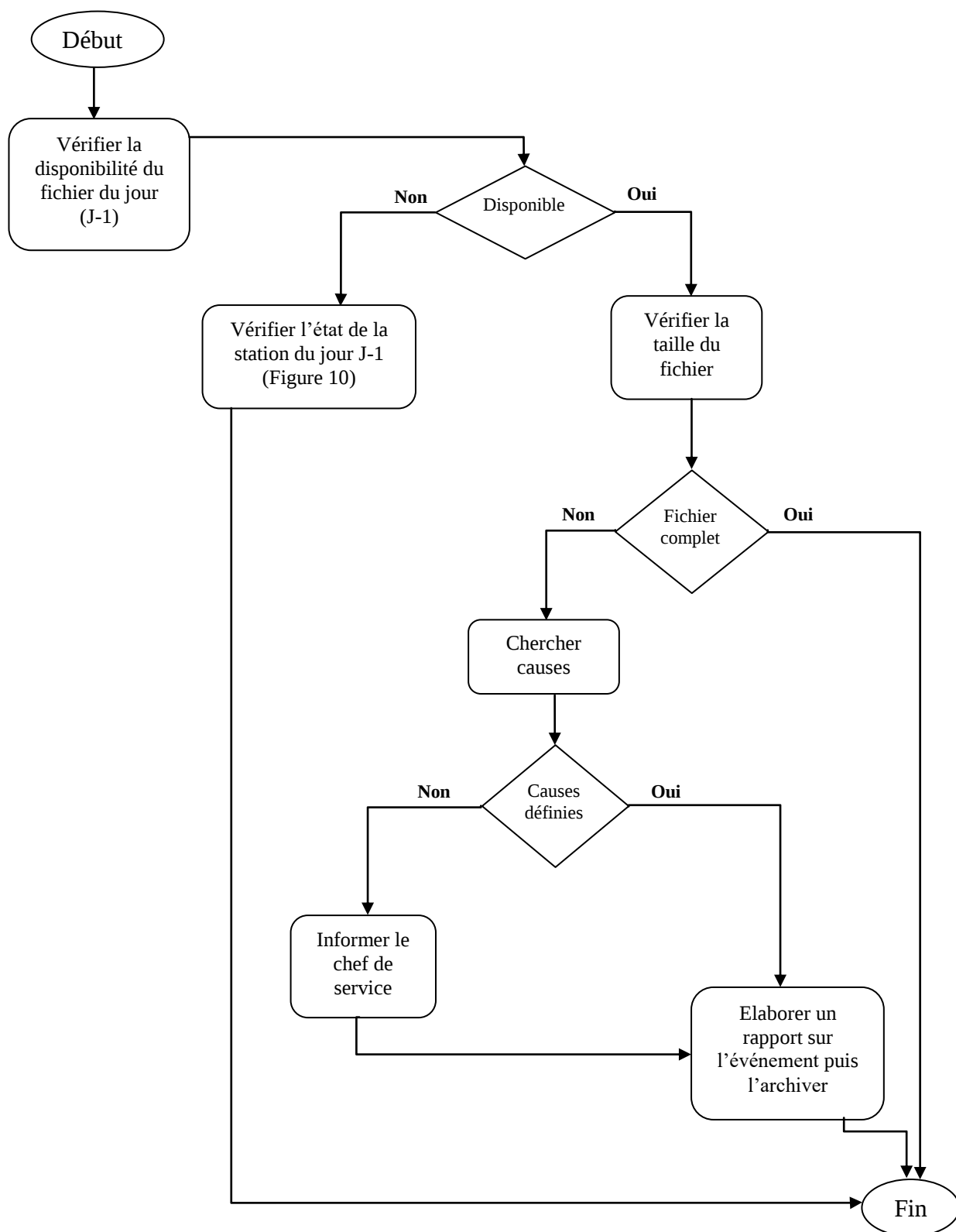
Après avoir analysé les tâches inculquées dans la gestion du REGAT, nous avons constaté que ces dernières sont regroupées en deux catégories. La première concerne l'intervention sur le terrain en cas de panne ou en cas d'installation d'une nouvelle station, tandis que la deuxième, qui est relative à la première, consiste à gérer les stations à distance. C'est justement au niveau de cette deuxième catégorie que se situe le système d'information sur lequel nous avons effectué notre travail.

Pour mieux illustrer la gestion actuelle, nous allons présenter, en ce qui suit, deux diagrammes de séquence liés aux deux principales procédures composant la gestion du REGAT.

Figure 9 : Digramme de séquence de la vérification d'état d'une station.



Source : Réalisé par nous-même.

Figure 10 : Digramme de séquence de la vérification d'état des données.

Source : Réalisé par nous-même.

Généralement, deux fois par jour, la personne chargée du suivi effectue pour chaque station les opérations suivantes :

- Vérification de l'état de la communication entre le serveur et la station (*Ping*) ;
- Vérification de la disponibilité des fichiers de la dernière journée (l'état de l'acquisition des données) ;
- Accès à l'interface Web pour vérifier l'état d'enregistrement des données (*Logging*), les niveaux de l'alimentation et de la mémoire et le nombre de satellites captés.

N-B : en cas de problème, le gestionnaire est tenu d'effectuer un appel téléphonique vers la région concernée pour signaler le problème afin d'intervenir le plus vite possible.

5. Problèmes potentiels

Après avoir réalisé une interview avec le gestionnaire du réseau depuis 2014, et en se basant également sur l'observation directe, nous avons constaté que les problèmes potentiels dans la gestion du REGAT peuvent être donnés comme suit :

- Bugs et limitation des fonctionnalités du logiciel GNSS SPIDER causés par l'obsolescence de la version actuelle ;
- Indisponibilité du *Ping*, due à la faible couverture du réseau GSM dans certaines régions ;
- Inaccessibilité aux interfaces web de certains récepteurs, due à des dysfonctionnements de leurs couches logicielles.

6. Dysfonctionnements du système de gestion du REGAT

L'analyse du système de gestion nous a permis d'identifier les points négatifs suivants :

- Système actuel se basant globalement sur l'aspect humain, ce qui provoque des tâches répétitives durant la journée ;
- Disposition d'un seul serveur d'acquisition, ce qui augmente le risque de perte de données en cas de pannes techniques ;
- Manque de système de sauvegarde et de récupération des données (*Backup*) ;
- Insuffisance des fonctionnalités du logiciel GNSS SPIDER due à l'obsolescence de la version actuelle ;
- Absence d'un historique des états des stations ;
- Absence des informations des états des stations durant les week-ends ;

- Temps d'intervention étendu causé par l'irrégularité de la durée de détection des pannes ;
- Absence d'un système d'alerte.

7. Recommandations

Après avoir détecté les dysfonctionnements du système actuel, nous optons pour le colmatage des gaps en proposant quelques solutions qui servent à l'optimisation de la gestion du REGAT. En effet, lesdites solutions se résument aux points suivants :

- Intégration d'un système *Backup*, en gardant deux copies de données sur deux serveurs différents, afin de garantir une intégrité plus solide ;
- Conception d'une interface de monitoring (tableau de bord) qui permettra, entre autres, d'acquérir automatiquement les données et de surveiller l'état des stations, tout en l'archivant afin de garder un historique qui permettra le suivi et la prédiction d'éventuelles pannes ;
- Conception d'une interface web, pour les chercheurs, qui servira d'outil de statistiques des états des stations et de téléchargement et contrôle de qualité des données. Cette interface sera liée à un serveur central puissant, ce qui donnera la possibilité aux chercheurs d'exécuter différents algorithmes scientifiques ;
- Centralisation du système d'information, qui permet une meilleure collaboration entre les différents intervenants du REGAT.

8. Produit proposé

Afin d'optimiser la performance du réseau REGAT, nous avons proposé une solution, sous forme d'un tableau de bord appelé REGAT_Manager, qui satisfait certains besoins et dysfonctionnements.

8.1. Objectif

Ce produit a été réalisé dans le but de :

- contrôler l'état des stations, notamment les niveaux de la batterie et de la mémoire, la durée de fonctionnement et le *Logging* ;
- garder un historique des états des stations ;
- assurer l'acquisition des données ;
- contrôler l'état des données, à savoir le dernier jour de leurs acquisitions et le taux de disponibilité depuis le début de l'année actuelle.

8.2. Fonctionnalités

Les principales fonctionnalités de ce produit sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau 5 : Description des fonctionnalités de l'interface REGAT_Manager.

Fonctionnalités	Interactions	Moyens	Détails
Acquisition automatique des données	- Récepteur / Carte mémoire - Chaque jour	- Python - FTP / NMEA - Communication à distance	- Les données sont programmées à être automatiquement téléchargées à partir des récepteurs en utilisant le protocole de transfert de données FTP (File Transfert Protocol) ; - La deuxième version de cet outil intégrera le protocole de communication 'NMEA' (<i>National Marine Electronics Association</i>).
Acquisition des informations des états des stations (<i>Logging</i> , batteries, durée de fonctionnement, mémoire disponible, satellites captés)	- Récepteur - Chaque 5 minutes	- Python - HTML / NMEA - Communication à distance	- L'acquisition se fait en extrayant les informations du code HTML () de l'interface web du récepteur ; - La communication directe, en utilisant le protocole 'NMEA', avec le récepteur est en cour de développement. (Version 2).
Enregistrement des états des stations	- Base de données - Chaque 5 minutes	- Python - SQLite - Communication locale	- Les informations des états acquises seront enregistrées dans une base de données afin de les analyser ultérieurement. (Pour savoir par exemple le fonctionnement de la batterie durant la journée).
Système d'alerte	- Boite E-Mail - Chaque heure	- Python - Gmail	- Un email est programmé pour s'envoyer à la boîte commune du service relevant un ou plusieurs problèmes concernant les états des stations.

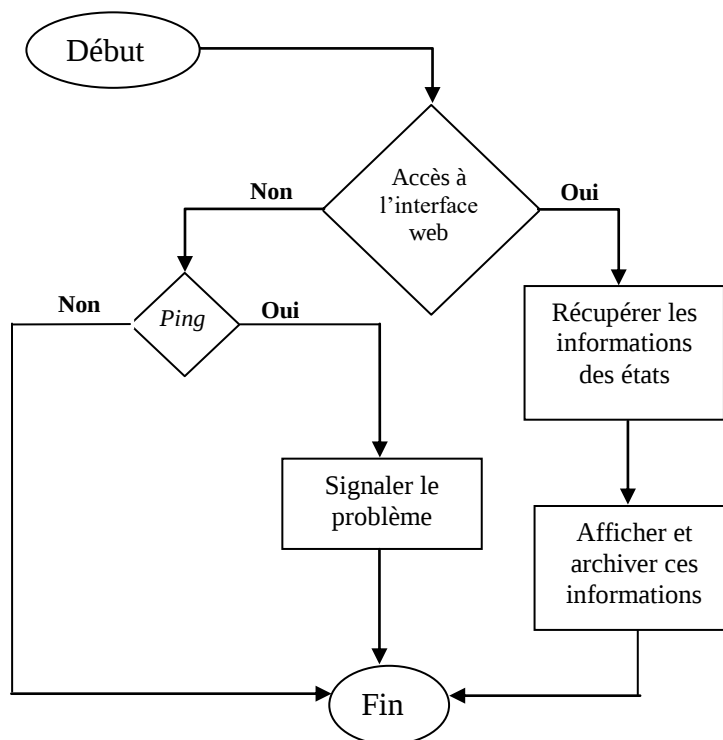
Source : Réalisé par nous-même.

8.3. Fonctionnement interne

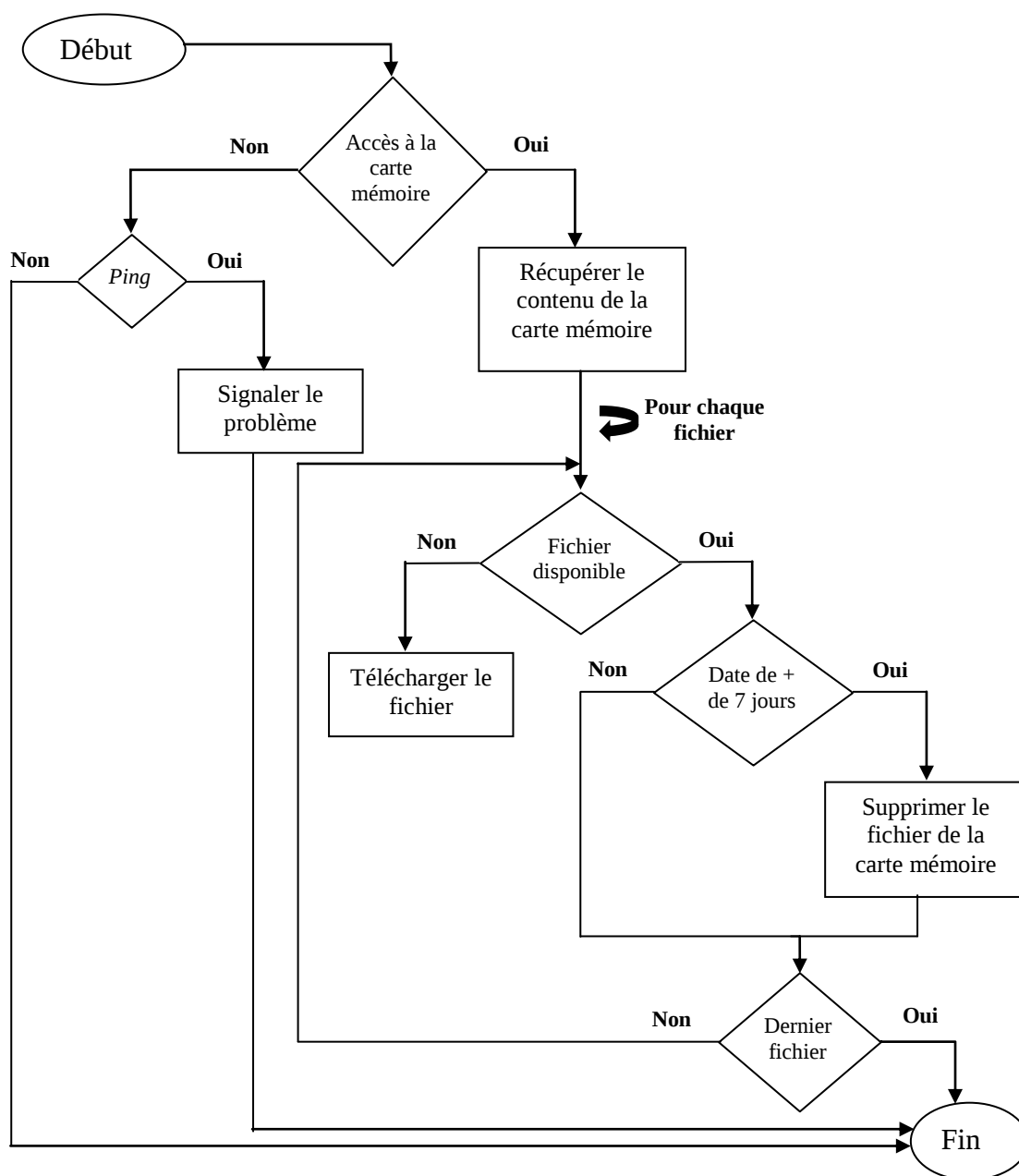
Pour chaque station, deux principales opérations sont programmées à être lancées : La première (Figure 11) consiste à analyser le code HTML du site web de la station en question, afin de récupérer les états du *Logging*, de la batterie et de la mémoire, et la durée de fonctionnement depuis le dernier démarrage. Ces informations vont être stockées, afin d'offrir la possibilité d'analyser le fonctionnement du récepteur, dans un fichier texte nommé « XXXXJJJd.txt » où : XXXX, JJJ représentent respectivement le code de la station et le numéro de jour d'exécution [001-365]. Chaque ligne de ce fichier est identifiée par l'heure du relevé des informations. La seconde tâche (Figure 12) consiste à accéder au contenu de la carte mémoire du récepteur, en utilisant le protocole FTP, afin de récupérer la liste des fichiers disponibles. Pour chacun des fichiers, le programme vérifie sa disponibilité dans le serveur. S'il n'existe pas, il sera téléchargé. Dans le cas échéant, s'il date de plus de 7 jours, il sera supprimé de la carte mémoire afin d'éviter sa surcharge.

En cas de problème, dans l'une des deux opérations (Inaccessibilité à l'interface web ou à la carte mémoire), le programme envoie une alerte email au responsable de la surveillance et de gestion.

Figure 11 : Diagramme d'utilisation de la récupération des informations.



Source : Réalisé par nous-même.

Figure 12 : Diagramme d'utilisation de l'acquisition des données.

Source : Réalisé par nous-même.

8.4. Interface graphique

La figure ci-dessous présente un aperçu de l'interface graphique du logiciel REGAT_Manager où la légende de l'entête (en cyan) est détaillée ci-dessous :

Figure 13 : Interface graphique du logiciel REGAT_Manager.

The screenshot shows the REGAT_Manager software interface. At the top, there is a title bar with the text 'CRAAG_GPS_2018_Auto_Pro'. Below it, a header bar displays 'Algeria Astronomy, Astrophysics & Geophysics Research Center -- GPS_GROUP --' and the date/time 'Sun, 29 Apr 2018 11:54:36 Day : <119>'. The main area contains a table with the following columns: STATION, ZONE, IP_ADRESS, PING, LOG, POWER, MEMORY, UPTIME, DATA, AV, FTP, DOWNLOAD, and %. The table lists eight stations with their respective data.

STATION	ZONE	IP_ADRESS	PING	LOG	POWER	MEMORY	UPTIME	DATA	AV	FTP	DOWNLOAD	%
OAIR	Ain Aorak	10.71.100.140	●	●	100% --- 77%	97% (7.27 GB)	33 days 03:10 h	- 0 J	72	●		
OASF	Ain Safra	10.71.100.158	●	●				- 0 J	80	●		
OBBL	Beni Bahdel	10.71.100.57	●	●	100% --- 100%	97% (7.29 GB)	17 days 22:53 h	- 0 J	76	●		
OBHM	Bir Lahmam	10.71.100.65	●	●				- 0 J	90	●		
ODJA	Djebailia	10.71.100.71	●	●	100% --- 100%	97% (7.28 GB)	53 days 22:51 h	- 0 J	83	●		
OJGS	Guires	10.123.5.100	●	●	65% --- ---	80% (785.63 MB)	13 days 00:40 h	- 0 J	99	●		
OKHE	El Keither	10.71.100.165	●	●				- 0 J	75	●		
OKHM	Sidi Belaid	10.71.100.102	●	●	96% --- 2%	98% (7.37 GB)	37 days 01:08 h	- 0 J	100	●		

Source : Réalisé par nous-même.

Tableau 6 : Détails de l'interface du logiciel REGAT_Manager.

Colonnes	Désignations
STATION	Code de la station, il prend la couleur rouge dans le cas d'un problème identifié.
ZONE	Zone de la station.
IP_ADRESS	Adresse IP (Internet Protocol) de la station.
PING	Etat de la communication entre le serveur d'acquisition local et le routeur de liaison. Il est en rouge s'il n'y a pas de communication et en vert sinon.
LOG	Etat de l'enregistrement des données (Logging).
POWER	Niveaux de la batterie interne, de la batterie externe et de l'énergie solaire.
MEMORY	Niveau de la carte mémoire.
UPTIME	Durée de fonctionnement depuis le dernier démarrage.

DATA	Durée séparant le jour actuel et le jour de la dernière donnée acquise.
AV	Disponibilité, en pourcentage, des données acquises depuis le début de l'année actuelle.
FTP	Etat du port consacré au transfert des données, il est en cyan si le téléchargement de la journée actuelle a été effectué, en vert s'il est en plein téléchargement, et en rouge si le port est inaccessible.
DOWNLOAD	Le nom du fichier en cours de téléchargement.
%	Le taux d'avancement du téléchargement en cours.

Source : Réalisé par nous-même.

CONCLUSION

Cette recherche a pour objectif d'analyser la gestion du réseau géodésique algérien, afin d'identifier des dysfonctionnements dans le système, et par la suite recommander des solutions d'optimisation.

Etant donné que les données enregistrées dans les récepteurs du réseau sont la matière première des études de déformation de la plaque africaine, il est indispensable de garantir le bon fonctionnement de ces récepteurs afin d'assurer l'intégrité de ces données.

L'acquisition des données était assurée par un logiciel, appelé GNSS SPIDER, développé par la firme internationale LEICA. L'obsolescence de la version actuelle de ce logiciel avait causé des bugs et des limitations des fonctionnalités, ce qui engendrait un risque majeur de perte des données.

Le système de gestion a connu davantage de problèmes, nous citons quelques-uns dans la liste suivante :

- Manque de système de sauvegarde et de récupération des données (*Backup*) ;
- Absence d'un historique des états des stations ;
- Manque d'un système d'alerte.

Pour cela, nous avons proposé une solution technique, sous forme d'interface de monitoring, qui sert à réparer certains dysfonctionnements, afin d'optimiser la performance du réseau en question. Cette solution a pour objectif de contrôler et archiver les états des stations, d'assurer l'acquisition des données, de contrôler la disponibilité des données, et de signaler les problèmes rencontrés. Une deuxième version de ce produit est en cours de développement englobant plus de fonctionnalités.

D'autres améliorations peuvent être apportées, notamment l'intégration du système *Backup* et l'incorporation des prévisions climatiques qui serviront comme paramètres exogènes dans la prévention d'éventuelles pannes.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anny CAZENAVE : ingénieur C.N.E.S., directeur adjoint du Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiale, C.N.E.S.-G.R.G.S. & Pascal WILLIS : ingénieur en chef géographe, secrétaire exécutif de l'I.U.S.M (Page consultée le 11 janvier 2018) <https://www.universalis.fr/encyclopedie/geodesie/>.
- Eric Gakstatter (2015) , « What Exactly Is GPS NMEA Data? », (Page consultée le 05 février 2018), <http://gpsworld.com/what-exactly-is-gps-nmea-data/>.
- Carine BRUYNINX - Juliette LEGRAND - Dominique MESMAKER - Ann MOYAERT - Quentin BAIRE, « Gestion du réseau GNSS permanent européen à l'Observatoire royal de Belgique », Revue XYZ • N° 134, (1er 44 trimestre 2013).
- Raymond ROSSO, « Le développement du positionnement par satellites », Réalités Industrielles (Mai 2009).
- Site du CRAAG (consulté le 08 janvier 2018), <https://www.craag.dz/>.
- European Global Navigation Satellite Systems Agency (Page consultée le 06 janvier 2018) <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss>.
- Bibliothèque de ressources pédagogiques de l'ENSG (École Nationale des Sciences Géographiques) France, (Page consultée le 05 février 2018), <http://cours-fad-public.ensg.eu/mod/imscp/view.php?id=452>.
- Site de l'Institut Nationale de l'information Géographique et Forestière, France, (Page consultée le 03 janvier 2018), https://geodesie.ign.fr/index.php?p=31&page=reseaux_permanents.

**ANNEXE A– GUIDE D’ENTRETIEN DU
CHEF DE SERVICE RESEAU
GEODESIQUE**

Guide d'entretien du chef de service Réseau Géodésique

Bonjour, je m'appelle LAKEHAL Yacine, je suis stagiaire dans votre service, je mène présentement une recherche scientifique dans le cadre d'un projet de fin d'étude pour l'obtention d'un Master en Management stratégique et systèmes d'information, portant sur la gestion du réseau REGAT. Dans le but de réaliser une analyse de la gestion en question afin de détecter les dysfonctionnements du système actuel puis de trouver des solutions qui servent à l'optimisation, j'aimerais vous poser quelques questions.

Informations de l'interviewé

Nom..... **Prénom**.....
Poste occupé..... **Depuis**.....
Poste précédent..... **Durée**.....

Le réseau géodésique

1. Qu'est-ce qu'un réseau géodésique (RG) ?

.....

2. Quel est son objectif ?

.....

3. Quel est son principe de fonctionnement ?

.....

Le service RG et le REGAT

1. Parlez-moi du service et de sa mission.

.....

2. Qu'est ce que le REGAT ?

.....

3. Quels sont les moyens humains et techniques mises à disposition du REGAT ?

.....

.....

 4. Quelles sont les tâches affectées ?

.....

5. Quels sont les problèmes rencontrés ?

.....

Clôture

1. Avez-vous autre chose à ajouter concernant les perspectives et ambitions du service ?

.....

Je vous remercie pour votre amabilité et le précieux temps que vous m'avez consacré et je vous souhaite une très bonne journée.

**ANNEXE B– GUIDE D’ENTRETIEN DE
L’ELECTRONICIEN DU SERVICE
RESEAU GEODESIQUE**

Guide d'entretien de l'électronicien du service Réseau Géodésique

Bonjour, je m'appelle LAKEHAL Yacine, je suis stagiaire dans votre service, je mène présentement une recherche scientifique dans le cadre d'un projet de fin d'étude pour l'obtention d'un Master en Management stratégique et systèmes d'information, portant sur la gestion du réseau REGAT. Dans le but de réaliser une analyse de la gestion en question afin de détecter les dysfonctionnements du système actuel puis de trouver des solutions qui servent à l'optimisation, j'aimerais vous poser quelques questions.

Informations de l'interviewé

Nom..... **Prénom**.....
Poste occupé..... **Depuis**.....
Poste précédent..... **Durée**.....

La maintenance du REGAT

1. Comment se compose une station ?

.....

2. Comment se fait la communication avec elle ?

.....

3. Quels sont les types d'interventions signalés ?

.....

* Mentionnez une valeur approximative du coût de chaque type d'intervention.

.....

4. Comment se déroule une intervention ?

.....

5. Quels sont les problèmes les plus récurrents ?

.....
.....
.....
.....
.....

Clôture

1. Avez-vous autre chose à ajouter concernant les difficultés et les besoins ?

.....
.....
.....
.....
.....

**Je vous remercie pour votre amabilité et le précieux temps que vous m'avez consacré
et je vous souhaite une très bonne journée.**

**ANNEXE C– GUIDE D’ENTRETIEN DU
GESTIONNAIRE DU REGAT**

Guide d'entretien du gestionnaire du REGAT'

Bonjour, je m'appelle LAKEHAL Yacine, je suis stagiaire dans votre service, je mène présentement une recherche scientifique dans le cadre d'un projet de fin d'étude pour l'obtention d'un Master en Management stratégique et systèmes d'information, portant sur la gestion du réseau REGAT. Dans le but de réaliser une analyse de la gestion en question afin de détecter les dysfonctionnements du système actuel puis de trouver des solutions qui servent à l'optimisation, j'aimerais vous poser quelques questions.

Informations de l'interviewé

Nom..... **Prénom**.....
Poste occupé..... **Depuis**.....
Poste précédent..... **Durée**.....

Gestion du REGAT

1. Quelle est la procédure de gestion du REGAT ?

.....

2. Quels sont les outils utilisés ?

.....

.....3. Comment de fait le suivi d'une station ?

.....

4. En cas de problème, comment se fait l'intervention ?

.....

5. Quels sont les problèmes rencontrés ?

.....

Clôture

1. Avez-vous autre chose à ajouter concernant les difficultés et les besoins ?

.....

.....

.....

.....

.....

**Je vous remercie pour votre amabilité et le précieux temps que vous m'avez consacré
et je vous souhaite une très bonne journée.**