

Système de kits de mesure *low cost*

Cahier des Charges Fonctionnel

Quentin LESNIAK – Stagiaire ingénieur – LIENSs

18 août 2023

Table des matières

Introduction	2
Présentation du projet	2
Identification des besoins	3
Cycle de vie	6
Les Eléments du Milieu Extérieur	6
Description fonctionnelle du besoin	7
Le système	7
Les satellites	12
Cyclopée	16
La valise multicapteurs	16
La passerelle	17
Terminologie	24

Introduction

Ce document a été rédigé en utilisant le langage de balisage \LaTeX , grace auquel un système de renvois à différents endroits du rapport a été mis en place, afin d'améliorer le confort de lecture sur écran. Ceux-ci sont tous cliquables, mais pour un problème de lisibilité, ils ont été colorés identiquement au texte. Il convient alors de connaître les différents types de renvois afin de les identifier. Ceux-ci comprennent les références vers les figures, tableaux, chapitres et annexes, et il suffit de cliquer sur le chiffre les identifiants pour être redirigé vers l'objet concerné. Un glossaire a également été mis en place, et si jamais un mot ou un acronyme vous est inconnu, il est fort probable qu'en cliquant dessus, vous soyez amené à sa définition dans le glossaire. Ceci étant dit, passons à l'introduction de ce rapport de stage.

L'objectif du Cahier des Charges Fonctionnel est lister de manière exhaustive, les besoins auquel doit répondre le système finale, en les formulant sous forme de fonctions à réaliser.

Présentation du projet

Aujourd'hui, la donnée est au cœur de l'activité de recherche en sciences environnementales. La couverture spatiale et temporelle de vastes étendues permet d'étudier et de mieux comprendre les phénomènes qui y sont à l'œuvre. Ces données peuvent par exemple servir de comparaison avec les prédictions de nouveaux modèles, et permettent ainsi leur validation ou l'identification des leviers majeurs impactant le phénomène étudié. Dans un contexte de réchauffement climatique, elles permettent également de monitorer à différentes échelles temporelles des variables environnementales renseignant sur l'évolution du milieu. Les pertuis Rochelais sont, par exemple, une zone d'étude privilégiée du laboratoire LIENSs. Les chercheurs y étudient les caractéristiques physico-chimiques de l'eau et leur évolution, la dynamique sédimentaire ou le niveau de la mer. Cependant, ils sont assez mal couverts et manquent cruellement de données à exploiter.

L'utilisation de ces données ne se limite pas au monde de la recherche. Avec l'augmentation prévue et avérée de la fréquence des catastrophes naturelles, le monitoring en temps réel des zones à risque est également devenu un enjeu majeur pour la protection des populations. *Exemple de station météo en Corse.*

En cas d'absence de données, ou si la prise de mesures sur le terrain s'avère onéreuse et compliquée, les chercheurs utilisent des jeux de données existants, plus ou moins facilement accessibles sur internet. De mon expérience au laboratoire, de par la mauvaise couverture des pertuis, trouver un jeu de données adéquat et de qualité n'est pas chose aisée. L'accès à des données fiables constitue donc un enjeu de facilitation du travail des chercheurs et de la qualité de leurs travaux.

Couvrir fréquemment de larges zones n'est pas réalisable à l'échelle d'un laboratoire seul. Depuis une dizaine d'années, de nombreuses associations mettent alors en place des projets de science participative pour satisfaire ces besoins en données. Ceux-ci ont un objectif double : récolter massivement et fréquemment des données environnementales, tout en permettant au grand public d'apporter sa contribution. Pour le lienss, inviter les voiliers, les navires à passagers et les bateaux de courses, à

participer à la recherche est une réelle opportunité pour accroître la résolution spatiale et temporelle des données environnementales des pertuis, et diminuer l'impact environnemental des campagnes océanographiques.

Ce projet s'inscrit donc dans un contexte de besoins de couverture des pertuis en données environnementales. Pour subvenir à celui-ci, un projet de système de kits de mesure low cost et de mise à disposition des données a été imaginé.

Identification des besoins

Le contexte introduit précédemment a permis de formuler le besoin primaire, qui donnera par la suite au système ses fonctions primaires, inscrites dans le CdCF. Une approche par projet a également permis de recenser les besoins techniques des chercheurs. Ils serviront à dimensionner le système aux besoins scientifiques des chercheurs.

La principale raison de l'existence de ce projet est le manque de données environnementales dans la zone des pertuis Rochelais. Nous nous sommes interrogés sur les raisons de ce manque, et avons relevé que le coût des campagnes de mesure, et les difficultés rencontrées quant à la mise à disposition des données, constituent des freins à leur acquisition. Le besoin primaire, auquel doit répondre le système, a donc été formulé ainsi :

Récolter, à moindre coût, des séries temporelles de données environnementales sur un vaste territoire, et faciliter leur mise à disposition.

En plus du besoin primaire, un temps d'échange avec les chercheurs a permis d'identifier des besoins ou contraintes techniques auxquels le système doit répondre, afin de mener ses missions à bien au sein de leurs projets de recherche. Les différents projets recensés se concentrent sur deux thématiques : la mesure du niveau marin et la mesure de la qualité de l'eau. Le tableau synthétise les informations recueillies lors de ce temps d'échange. Elles sont précieuses pour l'établissement du Cahier des Charges Fonctionnel.

Projet	Site d'étude	Objectif	Mesurandes prioritaires	Mesurandes secondaires	Fréquence d'acquisition	Autonomie	Remarques
INRAE	Marais 10-50cm d'eau Végétation	Qualité de l'eau Biodiversité Niveau d'eau	GNSS Salinité Température	O ₂ pH Turbidité Chlorophylle	15min	Alimentation externe ?	Monitoring temps réel
SONEL	Plans d'eau (Per-tuis ?)	Bouée de niveau marin Réflectométrie	GNSS	Température de l'air Pression atmosphérique	10Hz < 1Hz	1 à 5 jours. Alimentation externe à bord.	Facilité de déploiement Monitoring temps réel. Stockage sur carte SD.
I. BRE-NON	Estuaires (Charente, Afrique)	Dynamique sédimentaire	Température Salinité Turbidité	Position GNSS Vagues	10-15min Mode <i>burst</i> (salve)	10 à 20 jours. Autonome	
RiOMar	Estuaire de la Charente	Etude de l'interface Charente / Mer.	O ₂ pH : $\pm 0,01$ Chlorophylle	Température Salinité Turbidité	1Hz	1/2 journée. Alimentation externe ?	Mesure dynamique
SONEL	Mer Océan Estuaire	Cartographie dynamique	Cyclopée	Température Pression atmosphérique $\pm 0,1$ hPa	<1Hz	1 mois Alimentation externe à bord.	Embarqué à bord de navires
Mathieu	Atlantique	Cartographie transatlantique	Cyclopée Température Salinité Turbidité		GNSS : 1Hz Sinon ≈ 30 min	Le plus autonome possible.	Embarqué sur un voilier à travers l'Atlantique.
Aquarium Marais	8 bassins de pisciculture	Monitoring Pilotage	O ₂ Température Salinité Turbidité	pH	1h	Alimentation externe Déploiement permanent	Monitoring temps réel. Alarmes

	Toit du LIENSs	Quantifier la dérive sur de longues périodes	Cyclopée		Alimentation externe. Déploiement pendant 10 ans.		
Bouée pertuis			Cyclopée Météo	Température Salinité Turbidité	1Hz	Autonome	Transfert de données à distance

Table 1 – Synthèse des besoins techniques

Cycle de vie

Pour les systèmes destinés à la production, le cycle de vie du produit comporte de nombreuses phases. Dans notre cas, nous nous sommes limités aux cinq suivantes, permettant d'appréhender l'évolution du système dans le temps. Pour améliorer la lisibilité de CdCF, elles ont été identifiées par une lettre.

L'assemblage (A) prend en compte l'installation logicielle, le montage de système, la protection contre les erreurs de montage, et le contrôle du bon fonctionnement du système fraîchement assemblé. L'utilisation (U) consiste en l'installation sur le terrain, la mise en/hors service, la période de fonctionnement du système. La maintenance (M) comprend les réparations que nécessite le système après usure. Le stockage (S) correspond aux périodes pendant lesquelles le système n'est plus utilisé, mais doit rester fonctionnel en vue d'une utilisation future. La fin de vie (F) débute lorsque le système entre en stockage définitif, et ne sera plus utilisé en tant que tel.

Phases du cycle de vie :

Assemblage (A)
Utilisation (U)
Maintenance (M)
Non utilisation / Stockage (S)
Fin de vie (F)

Les Eléments du Milieu Extérieur

Les EME identifiés durant les phases du cycle de vie sont les suivants :

L'utilisateur.	Le serveur.
Les grandeurs physiques à mesurer.	L'énergie apportée au système.
Lesignal GNSS.	Le lieu d'utilisation.
Le <i>caster</i> NTRIP Centipède.	L'environnement marin.
Les mesures / données générées.	

Description fonctionnelle du besoin

Le système

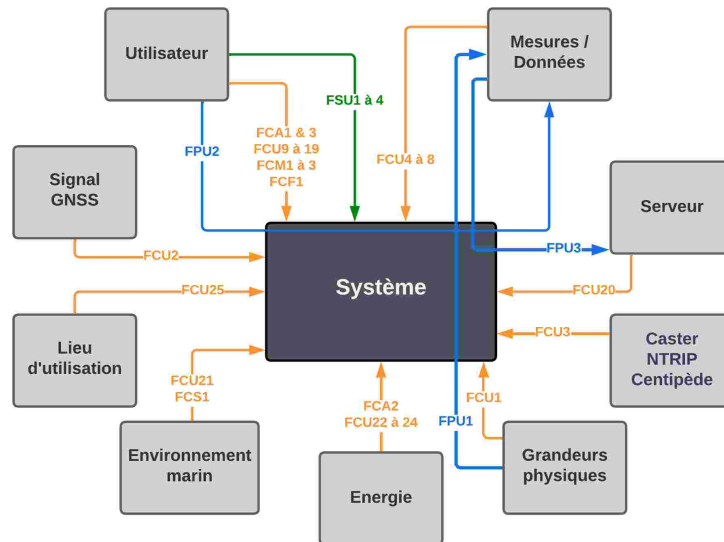


Figure 1 – Diagramme des interacteurs du système

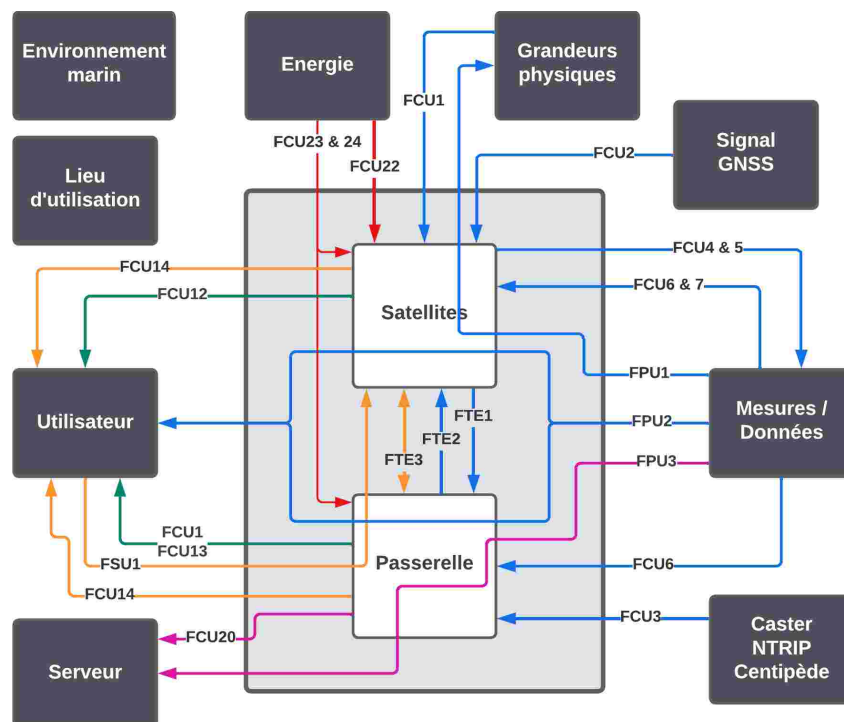


Figure 2 – BDF du système

En bleu, la chaîne d'acquisition ; en orange, la chaîne de commande ; en vert, la chaîne de visualisation ; en rouge, la chaîne d'énergie ; en violet, la chaîne de synchronisation.

N°	Fonction	Critères	Niveaux
Fonctions Principales			
Phase d'utilisation (U)			
FP _{U1}	Générer des données environnementales en mesurant des grandeurs physiques.		
FP _{U2}	Rendre les données accessibles aux utilisateurs		
FP _{U3}	Mettre à disposition les données automatiquement.		
Fonctions Secondaires			
Phase d'utilisation (U)			
FS _{U1}	Permettre à l'utilisateur de commander le système à distance.		
FS _{U2}	Alerter l'utilisateur.		
FS _{U3}	Avoir différents modes de mesure.	Mesure ponctuelle Mode <i>burst</i>	
FS _{U4}	Être pratique.		
Fonctions Contraintes			
Phase d'assemblage (A)			
FC _{A1}	Être facilement assemblable par l'utilisateur.		
FC _{A2}	Être protégé en tension et courant.		
FC _{A3}	Permettre le contrôle du bon fonctionnement par l'utilisateur.		
Phase d'utilisation (U)			
FC _{U1}	Mesurer des grandeurs physiques.		
FC _{U2}	Pouvoir recevoir le signal GNSS.		
FC _{U3}	Être connecté au Centipède.	Connexion Internet Client NTRIP	
FC _{U4}	Géoréférencer les mesures.	Précision du positionnement	A définir par satellite...
FC _{U5}	Horodater les mesures.	Fréquence d'acquisition GNSS	A définir par satellite...
FC _{U6}	Stocker les données.		

FC _{U7}	Stocker une copie des données.		
FC _{U8}	Segmenter les données.		
FC _{U9}	Pouvoir stopper l'enregistrement des données.		
FC _{U10}	Avoir une période de segmentation réglable.		
FC _{U11}	Avoir une fréquence d'acquisition réglable.	Plage de fréquences	De 1h à 5Hz. A définir par satellite. . .
FC _{U12}	Permettre l'accès aux données.		
FC _{U13}	Permettre la visualisation des données.	Monitoring temps réel Fenêtre de temps modifiable	
FC _{U14}	Informier l'utilisateur de l'état du système.		
FC _{U15}	Être abordable.		
FC _{U16}	Être facile à installer.		
FC _{U17}	Être facile à mettre en service.		
FC _{U18}	Être facile à transporter.		
FC _{U19}	Être sans danger.		
FC _{U20}	Copier la base de données sur le serveur.	Connexion Internet	
FC _{U21}	Résister à l'environnement marin.	Indice de protection	IP67 minimum A définir par satellite. . .
FC _{U22}	Avoir une bonne autonomie.	Durée d'autonomie Panneaux solaires	A définir par satellite. . .
FC _{U23}	Pouvoir être alimenté extérieurement.		
FC _{U24}	Être mis sous/hors tension.		
FC _{U25}	S'adapter aux lieux d'utilisation.	Facilité d'utilisation en bateau.	
Phase maintenance (M)			
FC _{M1}	Nécessiter peu de maintenance.		
FC _{M2}	Être facilement réparable.	Facilité à changer les composants.	
FC _{M3}	Être facilement mis à jour.		
Phase de stockage (S)			

FC_{S1}	Résister à l'environnement marin.	Indice de protection pendant le stockage	IP67 minimum
Fin de vie (F)			
FC_{F1}	Être démontable pour le tri.		

Table 2 – Besoins fonctionnels

Les satellites

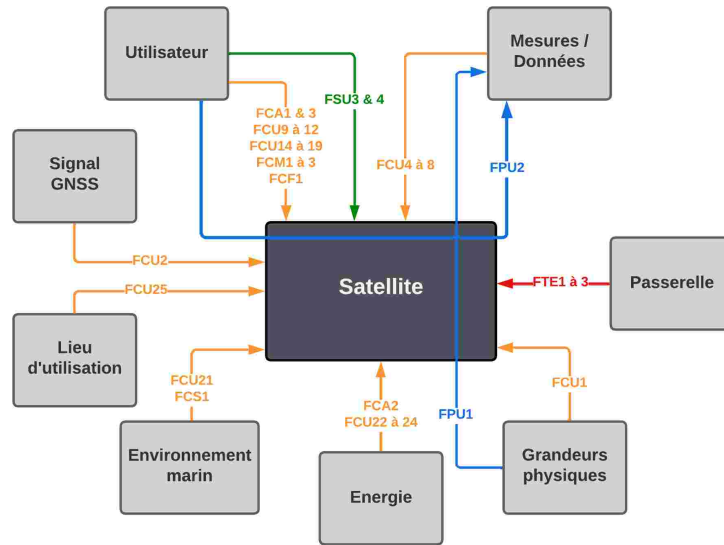


Figure 3 – Diagramme des interacteurs des satellites

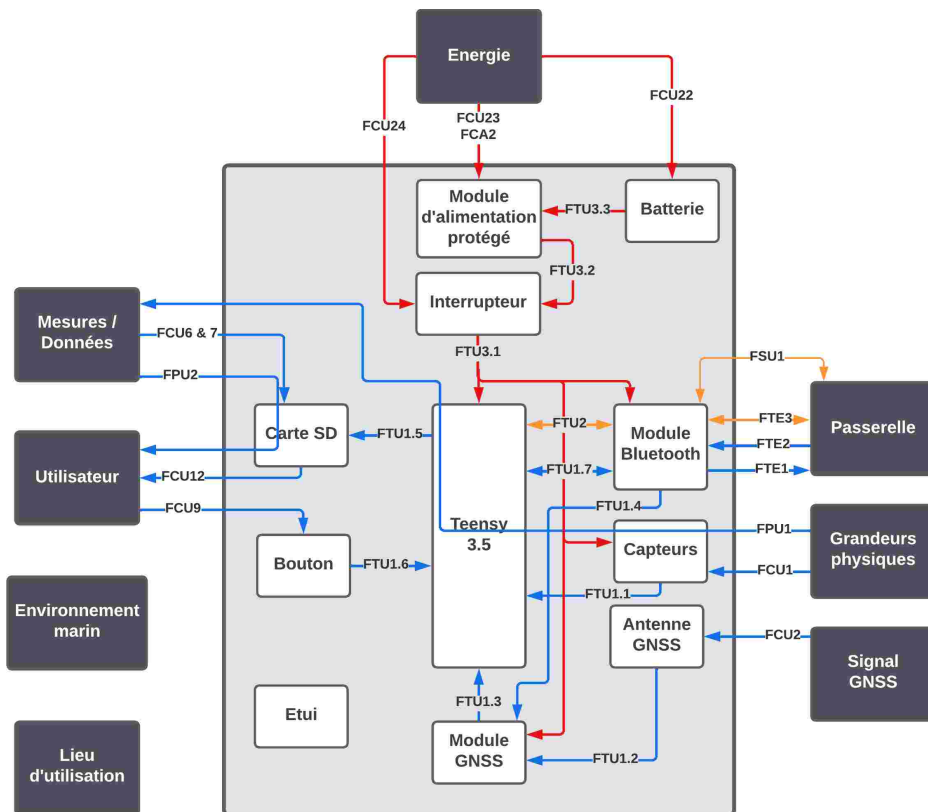


Figure 4 – BDF des satellites

En bleu, la chaîne d'acquisition ; en orange, la chaîne de commande ; en rouge, la chaîne d'énergie.

N°	Fonction	Critères	Niveaux
Fonctions Principales			
Phase d'utilisation (U)			
FP _{U1}	Générer des données environnementales en mesurant des grandeurs physiques.		
FP _{U2}	Donner accès aux données à l'utilisateur		
Fonctions Secondaires			
Phase d'utilisation (U)			
FS _{U3}	Avoir différents modes de mesure.	Mesure ponctuelle Mode <i>burst</i>	
FS _{U4}	Être pratique.		
Fonctions Contraintes			
Phase d'assemblage (A)			
FC _{A1}	Être facilement assemblable par l'utilisateur.		
FC _{A2}	Être protégé en tension et courant.		
FC _{A3}	Permettre le contrôle du bon fonctionnement par l'utilisateur.		
Phase d'utilisation (U)			
FC _{U1}	Mesurer des grandeurs physiques.		
FC _{U2}	Pouvoir recevoir le signal GNSS.		
FC _{U5}	Horodater les mesures.	Fréquence d'acquisition GNSS	A définir par satellite...
FC _{U6}	Stocker les données.		
FC _{U7}	Stocker une copie des données.		
FC _{U8}	Segmenter les données.		
FC _{U9}	Avoir une période de segmentation réglable.		
FC _{U10}	Avoir une fréquence d'acquisition réglable.	Plage de fréquences	De 1h à 5Hz. A définir par satellite...
FC _{U11}	Permettre l'accès aux données.		

FC _{U12}	Permettre la visualisation des données.	Monitoring temps réel Fenêtre de temps modifiable	
FC _{U13}	Informar l'utilisateur de l'état du système.		
FC _{U14}	Être abordable.		
FC _{U15}	Être facile à installer.		
FC _{U16}	Être facile à mettre en service.		
FC _{U17}	Être facile à transporter.		
FC _{U18}	Être sans danger.		
FC _{U20}	Résister à l'environnement marin.	Indice de protection	IP67 minimum A définir par satellite...
FC _{U21}	Avoir une bonne autonomie.	Durée d'autonomie	A définir par satellite...
FC _{U22}	Pouvoir être alimenté extérieurement.		
FC _{U23}	Être mis sous/hors tension.		
FC _{U24}	S'adapter aux lieux d'utilisation.	Facilité d'utilisation en bateau.	
Phase maintenance (M)			
FC _{M1}	Nécessiter peu de maintenance.		
FC _{M2}	Être facilement réparable.	Facilité à changer les composants.	
FC _{M3}	Être facilement mis à jour.		
Phase de stockage (S)			
FC _{S1}	Résister à l'environnement marin.	Indice de protection pendant le stockage	IP67 minimum
Fin de vie (F)			
FC _{F1}	Être démontable pour le tri.		

Table 3 – Besoins fonctionnels des satellites

N°	Fonction	Critères	Niveaux
Fonctions Techniques Externes (E)			
FT _{E1}	Envoyer les données sans fil à la passerelle.	Vitesse de communication Portée	... 10m
FT _{E2}	Recevoir les corrections RTK de la passerelle.		
FT _{E3}	Exécuter les ordres de la passerelle.		

Table 4 – Fonctions techniques externes des satellites

N°	Fonction	Critères	Niveaux
Fonctions Techniques			
Phase d'utilisation (U)			
FT _{U1.1}	Lire les mesures de capteurs.		
FT _{U1.2}	Transmettre le signal GNSS au module GNSS.		
FT _{U1.3}	Acquérir la position et le temps GNSS.		
FT _{U1.4}	Transférer les corrections RTK au module GNSS.		
FT _{U1.5}	Ecrire les données sur la carte SD.		
FT _{U1.6}	Interrompre l'enregistrement des données.		
FT _{U1.7}	Envoyer les données au module Bluetooth.		
FT _{U2}	Recevoir / Envoyer les ordres / réponses au module Bluetooth.		
FT _{U3.1}	Alimenter et protéger tous les composants.		
FT _{U3.2}	Mettre sous/hors tension.		
FT _{U3.3}	Relier la batterie au module d'alimentation.		

Table 5 – Fonctions techniques des satellites

Cyclopée

N°	Fonction	Critères	Niveaux
Fonctions Contraintes			
Phase d'utilisation (U)			
FC _{U4}	Géoréférencer les mesures.	Précision du positionnement	1cm voire 1mm
FC _{U5}	Horodater les mesures.	Fréquence d'acquisition GNSS	5Hz
FC _{U10}	Avoir une fréquence d'acquisition réglable.	plage de fréquences	15min à 5Hz.
FC _{U20}	Résister à l'environnement marin.	Indice de protection	IP67 minimum
FC _{U21}	Avoir une bonne autonomie.	Durée d'autonomie Panneaux solaires	Le plus autonome possible. Idéalement 5 jours à fréquence d'acquisition élevée.

Table 6 – Niveaux de satisfaction du satellite Cyclopée

La valise multicapteurs

N°	Fonction	Critères	Niveaux
Fonctions Contraintes			
Phase d'utilisation (U)			
FC _{U4}	Géoréférencer les mesures.	Précision du positionnement	< 10m
FC _{U5}	Horodater les mesures.	Fréquence d'acquisition GNSS	1Hz
FC _{U10}	Avoir une fréquence d'acquisition réglable.	plage de fréquences	1h à 1Hz.
FC _{U20}	Résister à l'environnement marin.	Indice de protection	Sondes IP68 minimum IP67 minimum
FC _{U21}	Avoir une bonne autonomie.	Durée d'autonomie Panneaux solaires	Le plus autonome possible

Table 7 – Niveaux de satisfaction de la valise multi-capteurs

La passerelle

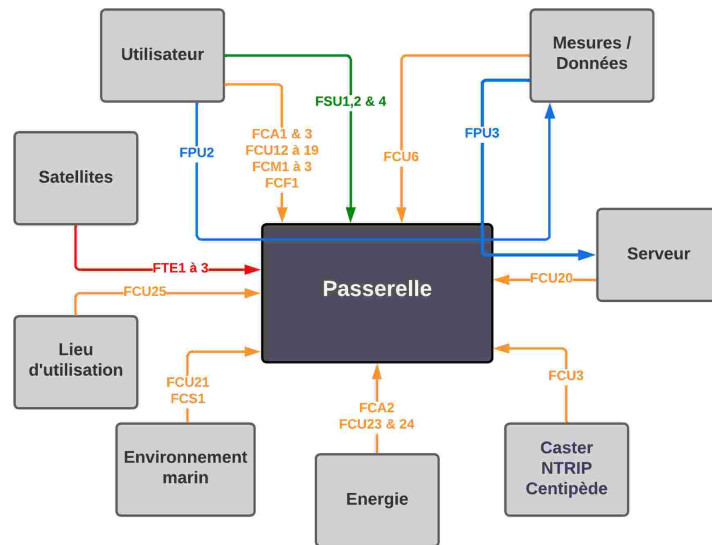


Figure 5 – Diagramme des interacteurs du systeme

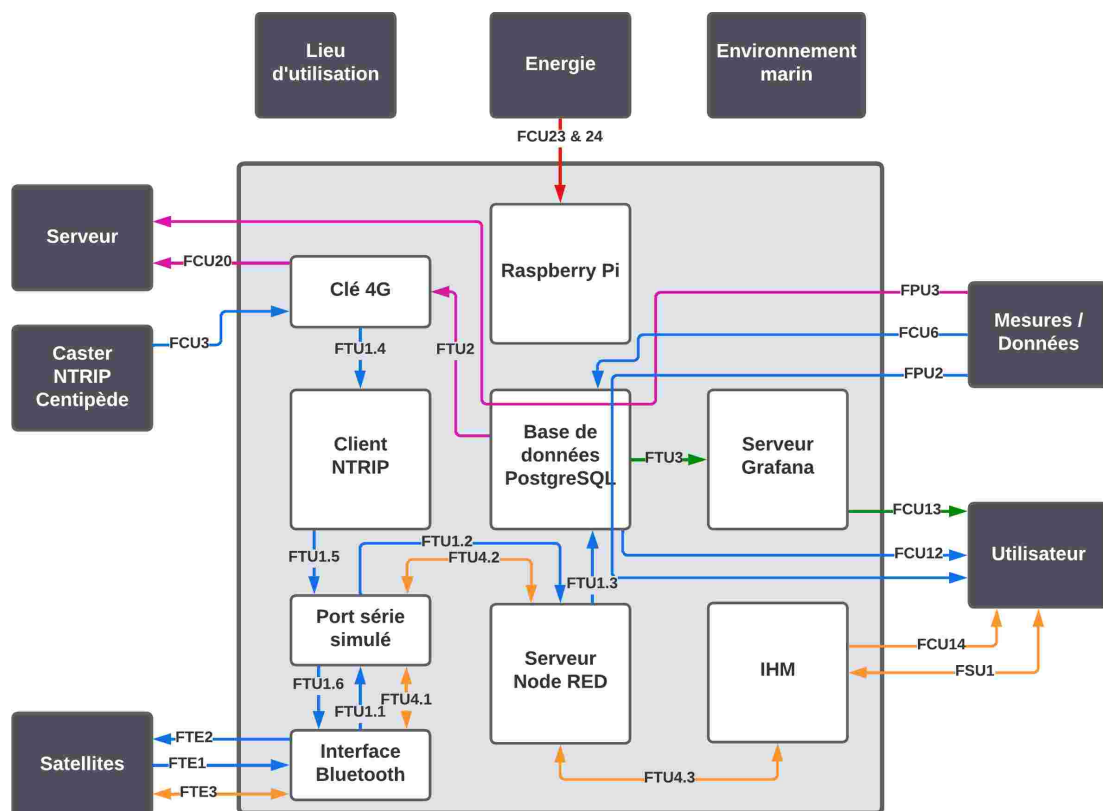


Figure 6 – BDF de la passerelle

En bleu, la chaîne d'acquisition; en orange, la chaîne de commande; en vert, la chaîne de visualisation; en rouge, la chaîne d'énergie; en violet, la chaîne de synchronisation.

N°	Fonction	Critères	Niveaux
Fonctions Principales			
Phase d'utilisation (U)			
FP _{U2}	Donner accès aux données à l'utilisateur		
FP _{U3}	Mettre à disposition les données automatiquement.		
Fonctions Secondaires			
Phase d'utilisation (U)			
FS _{U1}	Permettre à l'utilisateur de commander le système à distance.		
FS _{U2}	Alerter l'utilisateur.		
FS _{U4}	Être pratique.		
Fonctions Contraintes			
Phase d'assemblage (A)			
FC _{A1}	Être facilement assemblable par l'utilisateur.		
FC _{A2}	Être protégé en tension et courant.		
FC _{A3}	Permettre le contrôle du bon fonctionnement par l'utilisateur.		
Phase d'utilisation (U)			
FC _{U3}	Être connecté au Centipède.	Connexion Internet Client NTRIP	
FC _{U6}	Stocker les données.		
FC _{U11}	Permettre l'accès aux données.		
FC _{U12}	Permettre la visualisation des données.	Monitoring temps réel Fenêtre de temps modifiable	
FC _{U13}	Informar l'utilisateur de l'état du système.		
FC _{U14}	Être abordable.		
FC _{U15}	Être facile à installer.		
FC _{U16}	Être facile à mettre en service.		
FC _{U17}	Être facile à transporter.		
FC _{U18}	Être sans danger.		

FC _{U19}	Copier la base de données sur le serveur.	Connexion Internet	IP67 minimum A définir par satellite...
FC _{U20}	Résister à l'environnement marin.	Indice de protection	
FC _{U22}	Pouvoir être alimenté extérieurement.		
FC _{U23}	Être mis sous/hors tension.		
FC _{U24}	S'adapter aux lieux d'utilisation.	Facilité d'utilisation en bateau.	
Phase maintenance (M)			
FC _{M1}	Nécessiter peu de maintenance.		
FC _{M2}	Être facilement réparable.	Facilité à changer les composants.	
FC _{M3}	Être facilement mis à jour.		
Phase de stockage (S)			
FC _{S1}	Résister à l'environnement marin.	Indice de protection pendant le stockage	IP67 minimum
Fin de vie (F)			
FC _{F1}	Être démontable pour le tri.		

Table 8 – Besoins fonctionnels de la passerelle

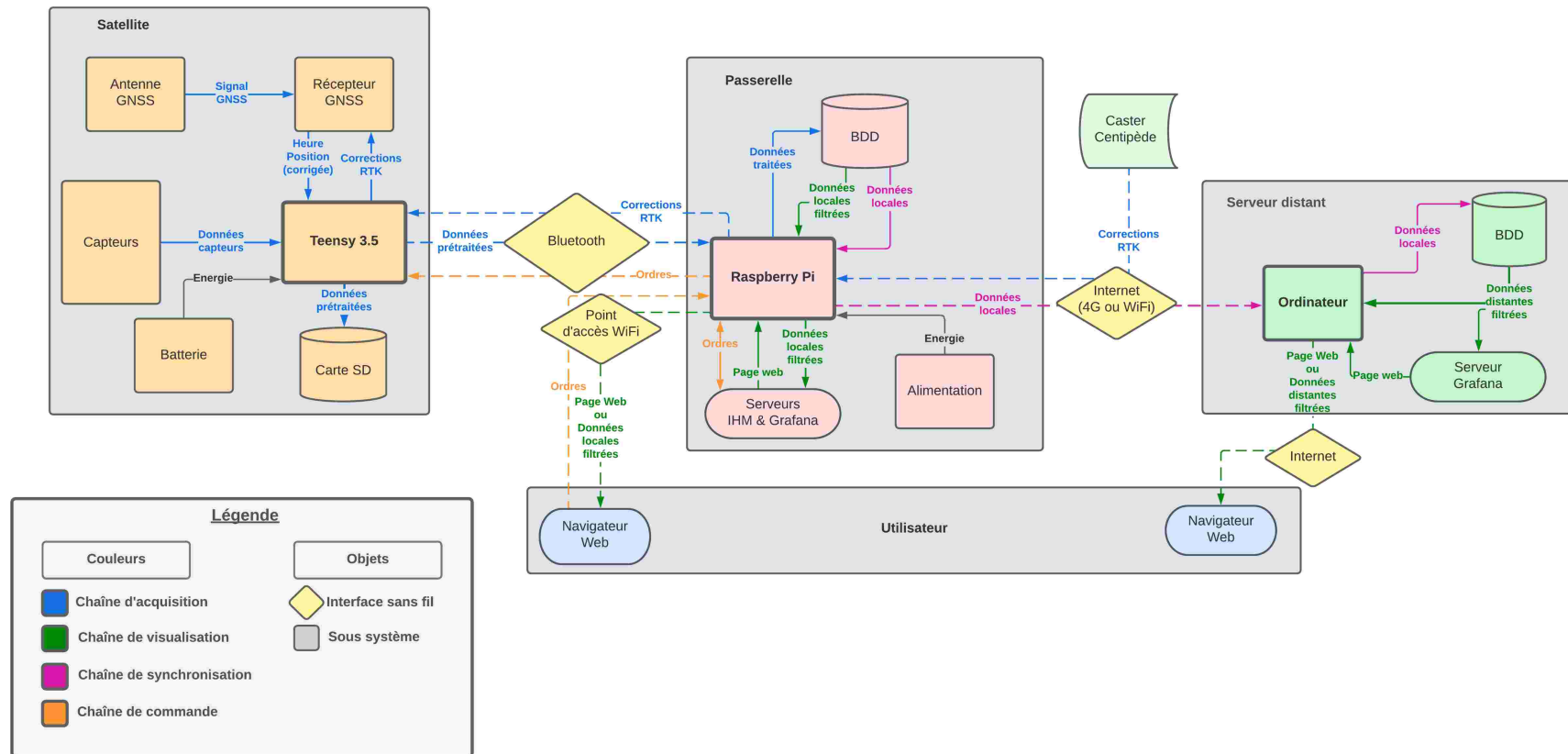
N°	Fonction	Critères	Niveaux
Fonctions Techniques Externes (E)			
FT _{E1}	Recevoir les données sans fil des satellites.	Vitesse de communication Portée	...
FT _{E2}	Envoyer les corrections Real Time Kinematics ou Cinématique Temps Réel (RTK) aux satellites.		10m
FT _{E3}	Transmettre les ordres aux satellites.		

Table 9 – Fonctions techniques externes de la passerelle

N°	Fonction	Critères	Niveaux
Fonctions Techniques			
Phase d'utilisation (U)			
FT _{U1.1}	Transférer les données Bluetooth au port simulé.		
FT _{U1.2}	Lire les données sur le port série simulé.		
FT _{U1.3}	Ecrire les données en base de données.		
FT _{U1.4}	Transférer les corrections RTK au port série simulé.		
FT _{U1.5}	Transférer les corrections RTK à l'interface Bluetooth.		
FT _{U2}	Envoyer le copie de la base de données sur Internet.		
FT _{U3}	Lire et afficher les données à l'utilisateur.		
FT _{U4.1}	Envoyer / Recevoir les ordres / réponses à l'interface Bluetooth.		
FT _{U4.2}	Envoyer / Recevoir les ordres / réponses au port série simulé.		
FT _{U4.3}	Envoyer / Recevoir les ordres / réponses à l'IHM.		

Table 10 – Fonctions techniques de la passerelle

Diagramme des flux global du système



Terminologie

Liste des termes

- burst** En français, salve. Dans le contexte du projet, série de mesures à haute fréquence, sur une courte période. 9, 13
- caster NTRIP** Serveur de diffusion de corrections 3 à tous ses clients. 6, 9, 19
- low cost** En français, à bas prix. 1
- Bluetooth** Norme de télécommunication sans fil, souvent utilisée pour l'Internet des Objets. 15, 22
- Centipède** Réseau de bases GNSS ouvertes. 6
- RTCM** Format de corrections RTK standard (RTCM3).
Désigne également l'association à but non lucratif à l'origine de ce format. 25

Acronymes

- BDF** *Bloc Diagramme Fonctionnel*
Diagramme représentant les fonctions contraintes et techniques entre les EME et les composants interne d'un système. 7, 12, 17, 25
- CdCF** *Cahier des Charges Fonctionnel*
Document rassemblant les spécifications fonctionnelles d'un système. 1–3, 6, 25
- EME** Eléments du Milieu Extérieur. 1, 6, 25
- GNSS** *Global Navigation Satellite System*
Le Système Mondial de Navigation par Satellites représente l'ensemble des constellations de satellites (GPS, GLONASS, Beidou, etc.) servant au positionnement sur la Terre. 4, 6, 9, 13, 15, 16, 25
- IHM** Interface Homme Machine. 22
- LIENSs** Littoral Environnement et Sociétés. 1, 2, 5
- NTRIP** *Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*
Transport de trames RTCM via Protocole Internet en Réseau. 6, 9, 19, 25
- RTK** *Real Time Kinematics ou Cinématique Temps Réel*
Méthode de positionnement de précision centimétrique, reposant sur la connaissance précise de la position de bases GNSS à proximité. 15, 21, 22, 25