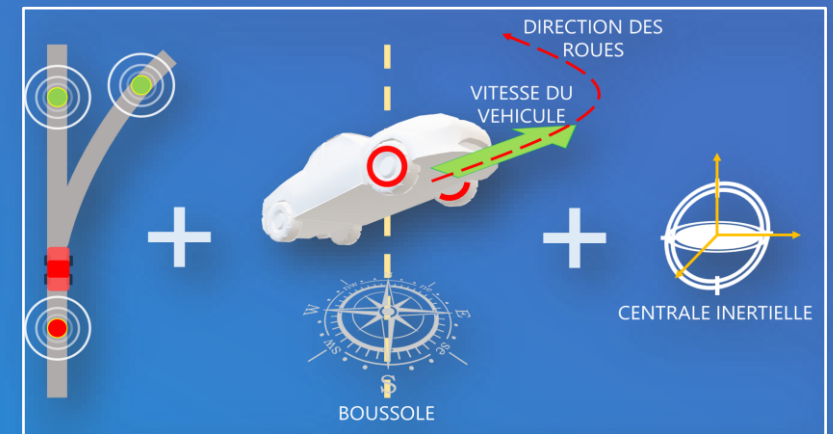


BLACK-OUT CHALLENGE

Projet GooseNav

Le projet GooseNav, alternative aux systèmes de positionnement par satellites pour la navigation terrestre, repose sur l'utilisation de deux technologies déjà existantes et compatibles avec les smartphones : la navigation à l'estime et le positionnement via balises fixes émettant leur position.

Les centrales inertielles permettent de déterminer la trajectoire d'une automobile de façon suffisamment précise pour qu'un utilisateur puisse se repérer sur une carte. En revanche, elles ne rendent pas possible un positionnement absolu, et les erreurs d'approximation qu'elles génèrent conduisent à des dérives trop importantes pour qu'elles soient utilisées seules. C'est pourquoi le projet GooseNav utilise un réseau de balises fixes qui émettent continuellement leur position. Les appareils de localisation du système peuvent alors se positionner par rapport à ces balises. Le positionnement peut être rendu encore plus précis en utilisant d'autres informations, notamment la vitesse et l'orientation du véhicule, mais aussi les données d'autres utilisateurs.



Arthur FINDELAIR
Louis BOSSU
Hadrien AFSA
Chloé BENZ

Le système GooseNav, c'est :

Une alternative à la navigation par satellite...

- ... **facile à mettre en œuvre** car basée sur des technologies préexistantes dont les éléments constitutifs sont des composants industriels standards
- ... **peu coûteuse** à l'échelle d'un pays
- ... **respectueuse de l'environnement**

Réseau de balises fixes

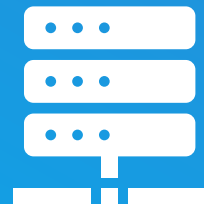
Chaque balise est installée à proximité du réseau routier et émet en continu son identifiant par signal **Bluetooth**.

- Un identifiant unique par balise
- Fabrication possible à partir de composants standards respectueux des normes environnementales
- Protection contre le clonage/piratage : chiffrement, mise à jour régulière des identifiants
- Protection contre la détérioration physique

Base de données GooseNav

Permet de faire le lien entre l'identifiant d'une balise et ses coordonnées géographiques.

- Délivre aux smartphones les coordonnées associées aux identifiants des balises.
- Favorise un déploiement rapide des balises



Smartphone de l'utilisateur

Composant central du système, le smartphone sert d'interface utilisateur, ainsi que de **calculateur de position** s'il est utilisé seul. Plus de 67% de la population mondiale possède un smartphone, ce chiffre avoisine les 80% en Europe

Réseau inter-utilisateurs

Les smartphones et boîtiers émettent leur position et récupèrent celles des autres utilisateurs :

- Augmente la précision du système
- Facilite la détection des dysfonctionnements

Boîtier embarqué – optionnel

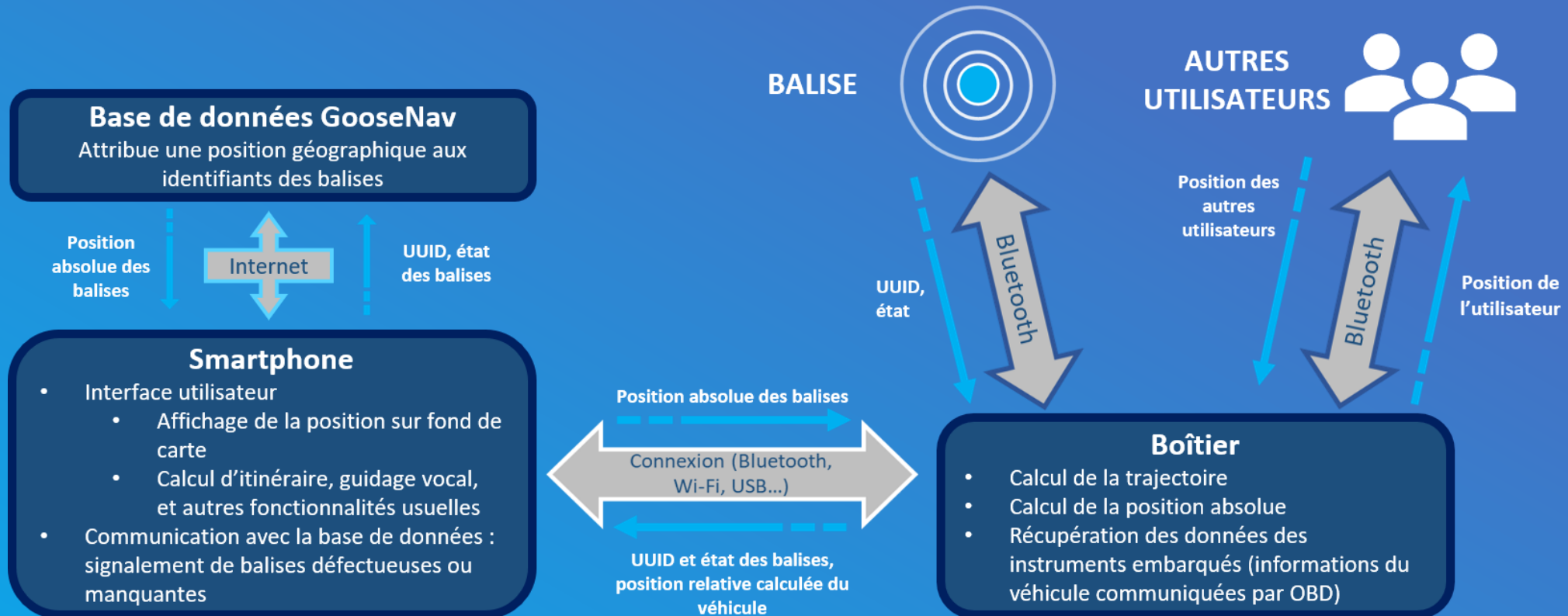
Le boîtier vise à **améliorer l'expérience utilisateur**.

- Augmente la précision : récupère directement les informations nécessaires sur la voiture
- Calcule la position de l'utilisateur et la communique en temps réel, affranchissant le smartphone de la tâche de calcul et libérant sa connexion **Bluetooth**
- Prototypé avec des composants industriels standards déjà disponibles sur le marché respectant les normes environnementales

Dispositifs utilisateur

Configuration 1 : Mobile + boîtier

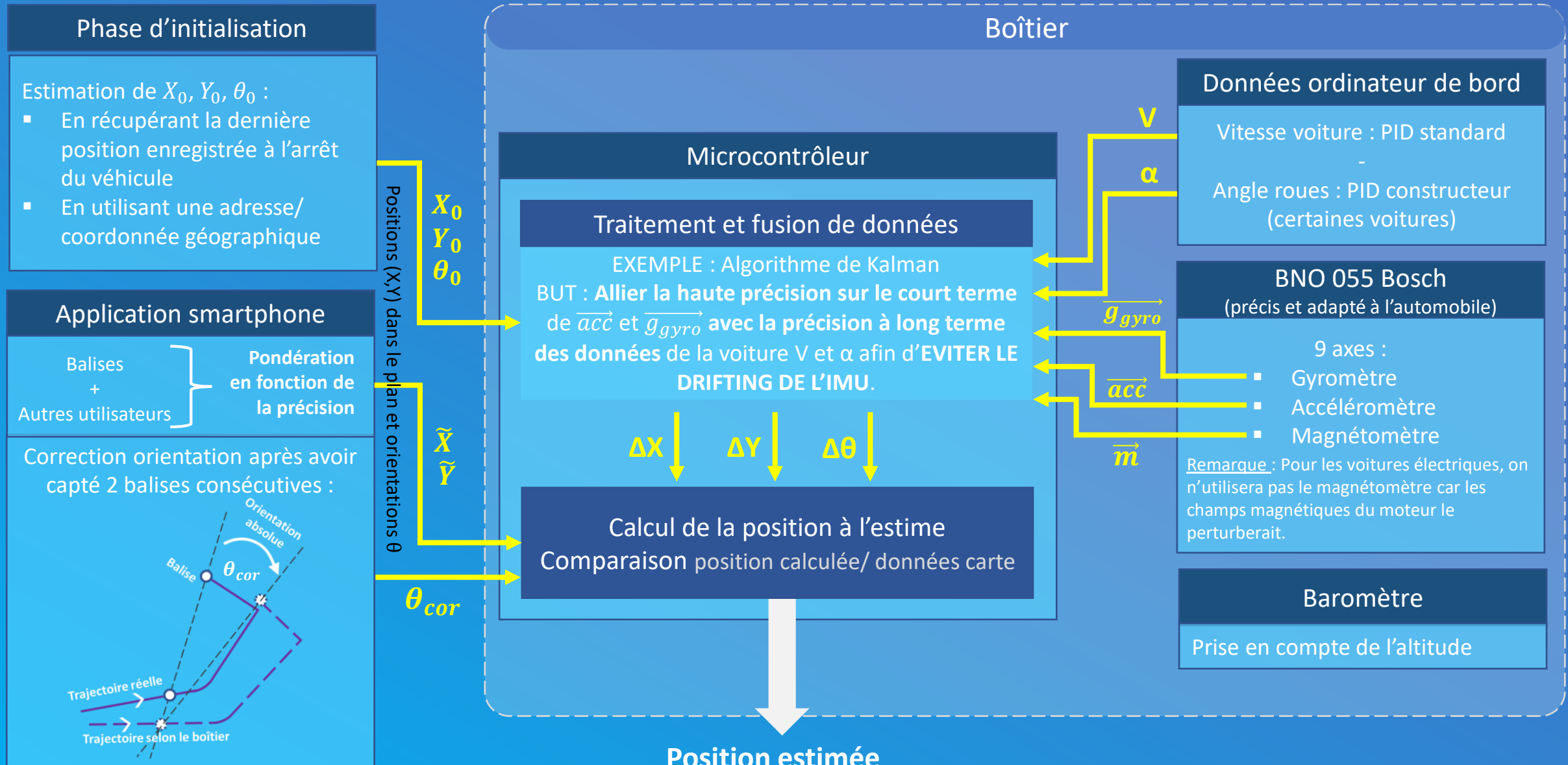
Le mobile et le boîtier sont connectés entre eux, par Wi-Fi, Bluetooth ou câble USB. L'utilisateur doit pouvoir utiliser son téléphone de la manière la plus naturelle possible pendant la navigation: les choix de connexion ne doivent pas empêcher l'utilisation d'un kit mains libres, ou encore la diffusion de musique dans l'habitacle, par exemple.



Configuration 2 : Mobile seul

Dans le cas où le dispositif utilisateur est composé du mobile seul, ce dernier doit effectuer toutes les fonctions citées ci-dessus. L'utilisateur ne pourra alors potentiellement pas profiter d'une connexion *Bluetooth* avec son véhicule pour l'utilisation d'un kit mains libres, par exemple.

Boîtier - Principe de fonctionnement



Balises à technologie *Bluetooth Low Energy* (BLE)

Pourquoi le *Bluetooth* ?

- Compatible avec la plupart des smartphones sur le marché
- Faible consommation d'énergie
- Peut fonctionner en broadcast
- Vaste intervalle de portée
- Faible latence
- Faible coût de construction et d'exploitation



Que transmet une balise Bluetooth ?

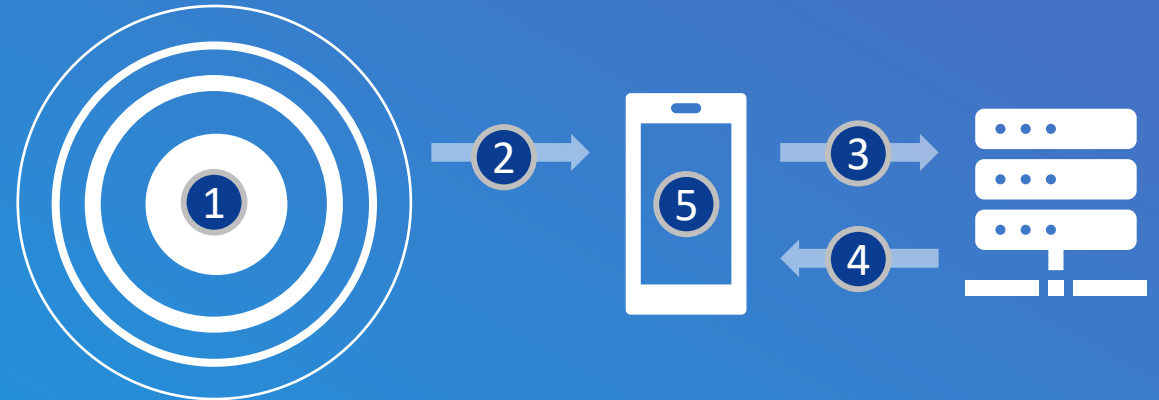
Un identifiant unique.

Le nombre d'identifiants utilisables possible dépend du protocole choisi. Par exemple, le protocole iBeacon d'Apple propose environ 3.10^{38} identifiants différents.

Une balise peut également périodiquement transmettre des informations sur son état (batterie restante, puissance d'émission). Ces informations sont stockées avec les coordonnées dans les bases de données et permettent de dresser un état du réseau régulièrement mis à jour.

Comment fonctionnent les balises ?

- [1] Les balises émettent leur identifiants dans un certain rayon
- [2] Le mobile de l'utilisateur détecte l'identifiant de la balise
- [3] Cet identifiant est transmis vers les serveurs
- [4] Les serveurs renvoient la position assignée à l'identifiant
- [5] L'application met à jour la position de l'utilisateur avec les données reçues



Comment sont composées les bases de données ?

Les bases de données, stockées sur des serveurs, permettent d'associer les identifiants des balises aux positions auxquelles elles sont placées, ainsi qu'à leur état. Il n'y a donc pas besoin de programmer chaque balise séparément (entrer une unique information de position dans une balise désignée) : cela facilite le déploiement de ces dernières et permet de sécuriser les données.

Intégration des balises

Portée :
70 m

Espacement
des balises :
Entre 0,5 km et 4
km selon les
zones

Comment dimensionner le réseau de balises ?

Le réseau de balises doit être suffisamment dense pour permettre une couverture optimale, mais plus le réseau est dense, plus le coût du projet augmente.

Une navigation GPS implique usuellement une réception de coordonnées GPS à 1Hz, soit une donnée tous les 36 mètres à 130 km/h. Le système GooseNav intégrant la navigation à l'estime, il est possible d'espacer la récupération des coordonnées.

On fera l'hypothèse qu'une centrale inertielle a une autonomie (durée pendant laquelle sa dérive reste inférieure à 10 mètres) de 2 minutes, bien que cela sous-estime l'autonomie réelle (voir VI. Prototypage).

On estimera sous cette approximation la couverture nécessaire sur les routes départementales et nationales ainsi que les autoroutes. En agglomération, la situation est différente : les véhicules rencontrent plus de carrefours et de giratoires ; il faut alors rapprocher les balises pour compenser ces nombreux changements de trajectoire susceptibles d'affecter la précision du calcul de positionnement.

Comment affiner l'estimation de l'autonomie d'une centrale inertielle?

Le nombre de balises nécessaires au système GooseNav est inversement proportionnel à l'autonomie d'une balise: pour le réduire, il faut considérer la dérive de la moins précise des centrales inertielles embarquées. C'est cette dérive qui conditionne l'espacement des balises.

Plusieurs expériences sont envisageables pour estimer la dérive d'une centrale inertielle, notamment:

- Suivre un itinéraire précis qui boucle et regarder l'écart entre les coordonnées initiales et celles d'arrivée
- Tester la centrale en la faisant tourner un nombre de fois connu sur elle-même et observer l'écart entre angle de départ et d'arrivée

Ces tests peuvent être mis en œuvre facilement mais nécessitent un très grand nombre de répétitions pour donner des résultats significatifs.

Et si plusieurs balises sont captées simultanément?

Le dispositif utilisateur peut mesurer la puissance du signal, qui dépend entre autre de sa distance à la balise. Ainsi, dans les zones où les balises sont peu espacées et lorsque le dispositif en détecte plusieurs, il est possible de trianguler la position de l'utilisateur en se basant sur la puissance reçue des balises. Le signal peut être perturbé par des obstacles : une optimisation soignée doit en être faite.

Pré-dimensionnement du nombre de balises nécessaire

Le pré-dimensionnement d'un réseau de balises à l'échelle d'un pays se fera, à défaut de pouvoir tester précisément la dérive du système final, sous l'hypothèse qu'une centrale inertielle est autonome pendant 2 minutes.

On peut à titre d'exemple donner une estimation du nombre de balises à installer pour deux pays où le groupe Safran est particulièrement présent :

La France (métropolitaine et Outre-Mer)

Pour estimer l'espacement des balises en France, on utilise la vitesse moyenne sur un type de route donné:

Type de route	Voies communales	Routes départementales	Routes Nationales	Autoroutes
Kilométrage	704 999 km	377 890 km	9 044 km	11 618 km
Limitation de vitesse	50 km/h	80 à 90 km/h (85 km/h en moyenne)	110 km/h	130 km/h
Espacement des balises	0,5 km	2,8 km	3 km	4 km
Nombre de balises nécessaires	1 409 998	134 961	3 015	2 905

1,5 millions de balises (2,4 balises/km²)

Les Etats-Unis d'Amérique

L'estimation de l'espacement des balises aux Etats-Unis d'Amérique est moins aisé car les limitations de vitesses sont plus disparates: chaque Etat a ses spécificités. On reprendra alors les mêmes espacements que ceux pour la France, pour une première estimation du nombre de balises nécessaire.

Type de route	Locales	Collectrices	Artères	Inter-états
Kilométrage	4 653 966 km	1 310 667 km	648 150 km	57 576 km
Espacement des balises	0,5 km	2,8 km	3 km	4 km
Nombre de balises nécessaires	9 307 932	468 095	216 050	14 394

10 millions de balises (1 balise/km²)

Le nombre de balises à implanter est inversement proportionnel au temps d'autonomie des centrales inertielles :
Ainsi, doubler l'autonomie revient donc à diviser par deux le nombre de balises nécessaires.

Sécurisation du réseau de balises

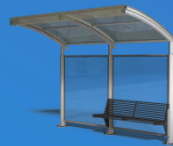
Sécurité physique

Pour éviter toute détérioration ou vol, les balises doivent être placées hors de portée des individus. Cependant, si elles sont équipées de panneaux solaires, elles doivent pouvoir être exposées à la lumière de façon à ce que leur fonctionnement ne soit jamais interrompu.

Plusieurs choix de placement sont possibles :

En agglomération :

- Mobilier urbain (feux tricolores, réverbères, horodateurs, stations de bus, ...)
- Toitures peu élevées



Sur autoroute :

- Infrastructures routières (bornes de péage, aires d'autoroute, ...)
- Equipements routiers (signalisation, panneaux d'affichage, dispositifs d'alerte sonore, radars, ...)

En milieu rural :

- Equipements routiers (signalisation, réverbères, ...)

Les balises étant réalisées à partir de composants industriels standards et peu onéreux, il n'y a que peu de risque qu'une tierce personne détériore délibérément ou vole du matériel. En revanche, les conditions climatiques présentent un risque non négligeable pour le dispositif. Les contraintes sont les suivantes:

- Les composants externes, notamment les panneaux solaires, doivent pouvoir résister aux intempéries
- La coque de la balise doit être étanche de façon à préserver les composants électroniques ainsi que la batterie
- La balise doit pouvoir fonctionner aussi bien en hiver qu'en été (soit sur une plage de -10°C à +50°C)

Dans l'éventualité où une balise se trouve endommagée ou détruite, son remplacement est cependant simple et rapide. Comme le système GooseNav utilise les balises en parallèle d'une navigation à l'estime, il est possible de transmettre aux dispositifs des utilisateurs les zones dans lesquelles ces derniers doivent s'attendre à capter des coordonnées. Si dans une certaine zone plusieurs utilisateurs ne reçoivent aucune donnée, alors la balise associée à la zone n'est plus fonctionnelle. Les coordonnées d'une telle balise sont alors connues, et la maintenance peut avoir lieu peu de temps après la détection de la panne et de sa localisation.

Sécurisation du réseau de balises



Sécurité informatique

Les balises, comme tout dispositif informatique, présentent des risques de sécurité. Les balises peuvent être piratées, clonées ou brouillées.

1- Risque de piratage :

Le logiciel de chaque balise peut être verrouillé pour empêcher un individu de récupérer son code. Le matériel peut cependant être volé et réutilisé, mais compte-tenu de sa faible valeur marchande, le risque reste réduit. Il est par ailleurs possible dissuader ces effractions en rendant inutilisable la balise en cas d'ouverture.

2- Risque de clonage (spoofing) :

Un individu malveillant peut par exemple cloner une balise et récupérer ses identifiants pour les diffuser à un autre endroit, et ainsi fausser le repositionnement. Plusieurs solutions existent :

- Modifier les identifiants régulièrement selon un algorithme implémenté dans chaque balise et dans la base de données
- Chiffrer les identifiants, en modifiant la clé temporellement

Les balises ne fonctionnant qu'en émetteur, ces modifications doivent alors être configurées avant leur placement. Pour contourner cet inconvénient, il est possible de permettre une communication avec les balises pour les mettre à jour. Plusieurs possibilités existent :

- Connecter les balises au réseau internet pour leur donner accès à une base de données
- Permettre aux utilisateurs de se connecter aux balises via l'application

Ces solutions impliquent que les balises puissent fonctionner en récepteur: elles seront plus chères, plus vulnérables au piratage, et consommeront davantage d'énergie.

Une solution possible pour ces deux premiers risques est de considérer comme endommagée une balise dont le comportement semble anormal (identifiant incorrect, correspondant à une autre balise, non détectée au bon endroit...), . Si plusieurs utilisateurs détectent une erreur sur une même balise, celle-ci sera rendue temporairement inactive dans la base de donnée, le temps de cibler le problème et de prendre les mesures adéquates.

3- Risque de brouillage :

Aucune solution directe ne permet de résoudre ce risque.

Réseau inter-utilisateurs

Afin d'améliorer le repositionnement des utilisateurs, le réseau de balises peut être complété par un réseau regroupant tous les utilisateurs actifs du système : ainsi, chaque mobile ou boîtier se comporte comme une balise. Les positions calculées pourront être échangées entre utilisateurs proches.

L'erreur sur la position d'un utilisateur dépend de plusieurs critères et peut être plus ou moins élevée.

On introduira alors le coefficient de fiabilité F tel que :

F(temps, distance, précision)

Le temps parcouru depuis la dernière balise

Plus cette durée est faible, moins l'impact de la dérive des centrales inertielles est élevé.

La précision de l'utilisateur

En comparant la position estimée du véhicule et celles des balises détectées, il est possible de déterminer la précision du dispositif utilisateur.

Le Received Signal Strength Indication (RSSI)

Lors de la détection d'une balise, le RSSI est comparé à la puissance d'émission de la balise, fournie par les bases de données. Cela permet de connaître la distance entre l'utilisateur et la balise.

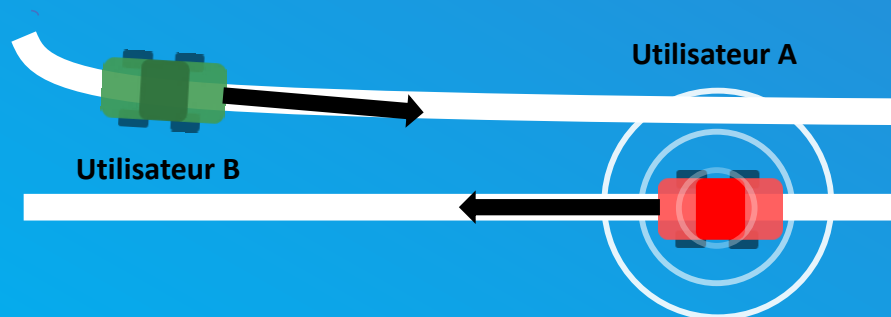
Avantages :

- Renforce le réseau de balises
- Aucun coût matériel
- Autosuffisant

Inconvénients :

- Réseau plus vulnérable au piratage
- Nécessite de mettre en pause périodiquement le scan des balises pour pouvoir émettre aux autres utilisateurs*
- Consomme plus d'énergie*

** ne concerne que les utilisateurs non équipés d'un boîtier*



Exemple : navigation sur autoroute

L'utilisateur A a reçu les données d'une balise située à 2km de sa position actuelle. Son véhicule a peu tourné, la dérive sur les calculs de position est faible. Le dispositif de l'utilisateur A a une erreur moyenne sur ses calculs de l'ordre du centimètre.

Il rencontre alors un utilisateur B, qui n'a pas croisé de balise depuis un certain temps.

B capte la position de A, pondérée par le coefficient de fiabilité, qui sera élevé car : A a rencontré une balise avant de dépasser sa limite d'autonomie et calcule des positions précises.

Le dispositif de l'utilisateur B peut alors ajuster sa position à partir de celle de l'utilisateur A.

Impact sur l'environnement

Un impact limité

La fabrication des dispositifs nécessaires (balises et boîtiers) requiert l'utilisation de batteries, fabriquées à partir de matériaux rares (lithium, cadmium,...) dont l'extraction a un impact sur l'environnement (émission de CO₂). Leur recyclage, bien que faisable, est complexe et coûteux. Leur réutilisation est possible. Pour réduire l'impact, il convient de choisir des batteries à grande durée de vie.

Les autres composants employés (circuits imprimés, bâti en plastique, panneaux solaires) sont bien plus facilement recyclables et des procédés permettant leur réutilisation sont développés. Il est aussi possible d'utiliser des batteries au cobalt (batteries LiCoO₂), cet élément étant bien mieux recyclable.

Des perspectives de minimisation de l'empreinte

De nombreux types de batteries sont actuellement à l'essai ou en voie d'amélioration (Li-S, Na-ion, Z-air, batteries solides) et pourraient présenter de réels progrès écologiques. Les méthodes de recyclages évoluent aussi et rendraient possible un meilleur recyclage (projet ReLieVe de Suez, BASF et Eramet).

Respect des normes environnementales REACH et RoHS

Ces normes, qui limitent ou sécurisent l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques, sont généralement respectées par les fabricants. Par exemple, les dispositifs employés pour le prototypage de notre solution respectent les deux normes.

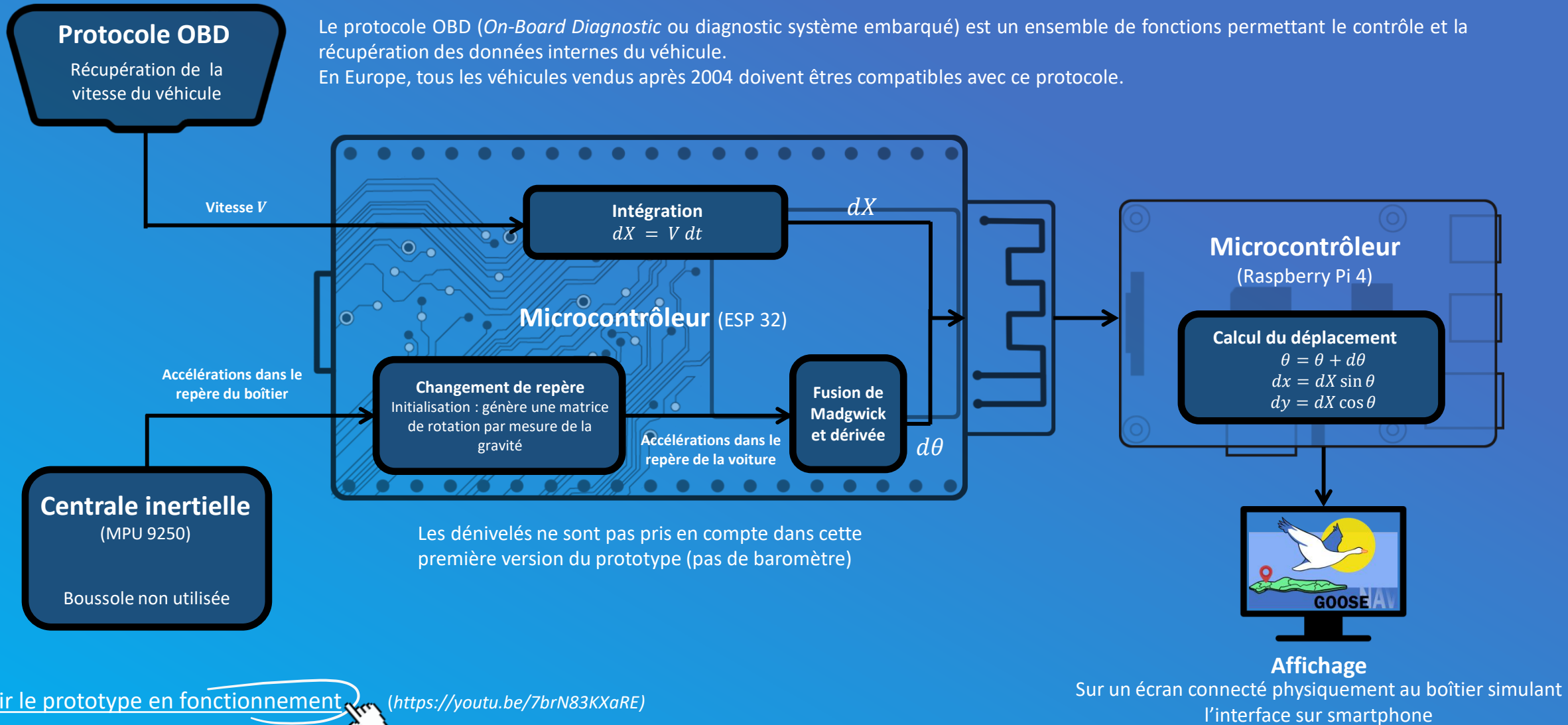


Facilitation du recyclage

La conception des dispositifs employés peut être optimisée de façon à faciliter leur démontage et donc leur recyclage.

Prototypage

Le premier prototype du boîtier, fonctionnel, est structuré de la manière suivante :



Prototypage

Nous utilisons un kit télémétrique *Freematics One+ A*, qui permet la lecture de la vitesse du véhicule et contient un gyroscope et un accéléromètre.

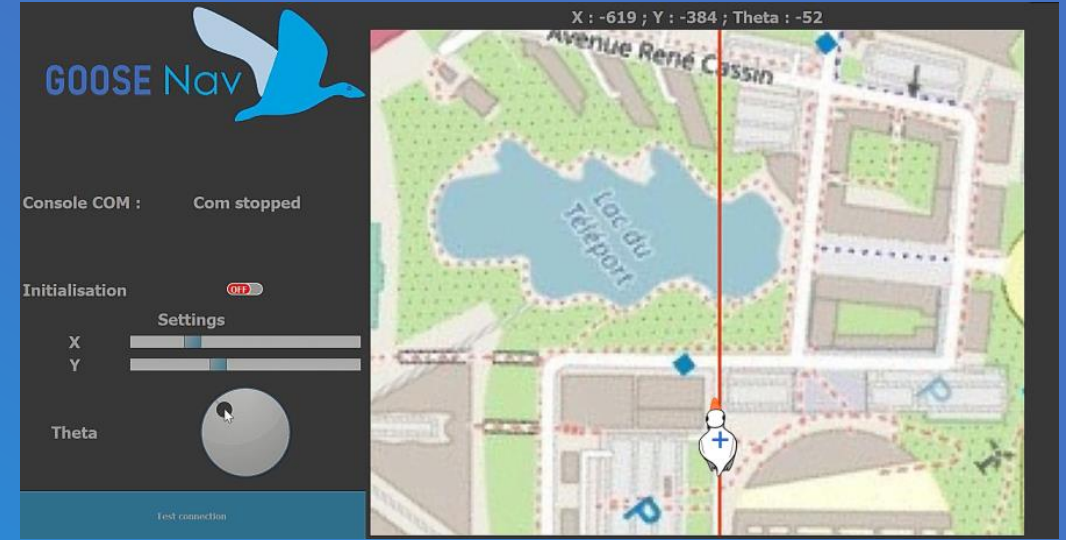


Un écran relié à une Raspberry Pi effectuant les calculs de position à partir des données du kit. L'écran affiche alors notre position sur un fond de carte, et sert d'interface pour l'initialisation.

Initialisation de la position

Notre position initiale doit être entrée manuellement, en plaçant le curseur au bon emplacement sur la carte et en réglant son orientation par rapport à la route.

Ces réglages seront facilités dans le produit final (sauvegarde de la dernière position, balises à proximité, indication d'adresse...).



Interface utilisateur du prototype, permettant l'initialisation

Résultats

Nous avons mis à l'épreuve notre prototype dans des conditions réelles. Nous n'avons pas utilisé la boussole du kit télémétrique. Ainsi, seules la vitesse du véhicule et l'orientation déterminée grâce à l'accéléromètre et au gyroscope sont pris en compte.

Sans balises, accéléromètre, magnétomètre, sans information sur l'orientation des roues ni correction de position sur carte ainsi que sans réseau inter-utilisateur, **notre trajectoire a été correctement estimée pendant plus de deux minutes**, bien que comportant plusieurs virages. De plus, le fond de carte utilisé pouvait présenter des défauts.

La navigation par l'estime est donc suffisamment fiable, et le temps d'autonomie d'une balise a bien été sous-estimé.

Pour aller plus loin...

Une vidéo de démonstration du prototype est disponible en ligne, en plus de la vidéo de présentation du projet (cf slide précédente)

Le code source du prototype est disponible sur GitHub (github.com/ArthurFDLR/BlackOut_Challenge)

Estimation des coûts du projets

Les coûts se répartissent entre plusieurs secteurs :

Coûts de production

Coût unitaire production balise

~ 9,45 €

Peut être amoindri



Coût unitaire production boîtier

~ 31,63 € électronique + coque

Peut être amoindri



Coûts divers

A estimer selon procédés de fabrication
Relatifs aux infrastructures de production, au
développement, à la communication, à la
distribution, ...

Coût pour l'utilisateur

Coût éventuel abonnement/achat application

A définir



Coût unitaire éventuel boîtier

~ 40 € (selon marges)

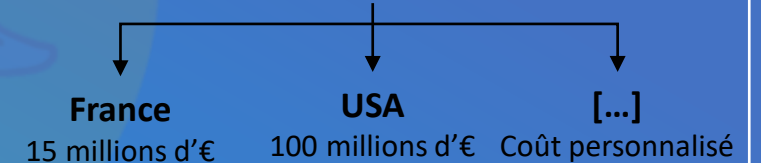
Coût pour le pays

Coût unitaire balise

~ 10 € (selon marges)



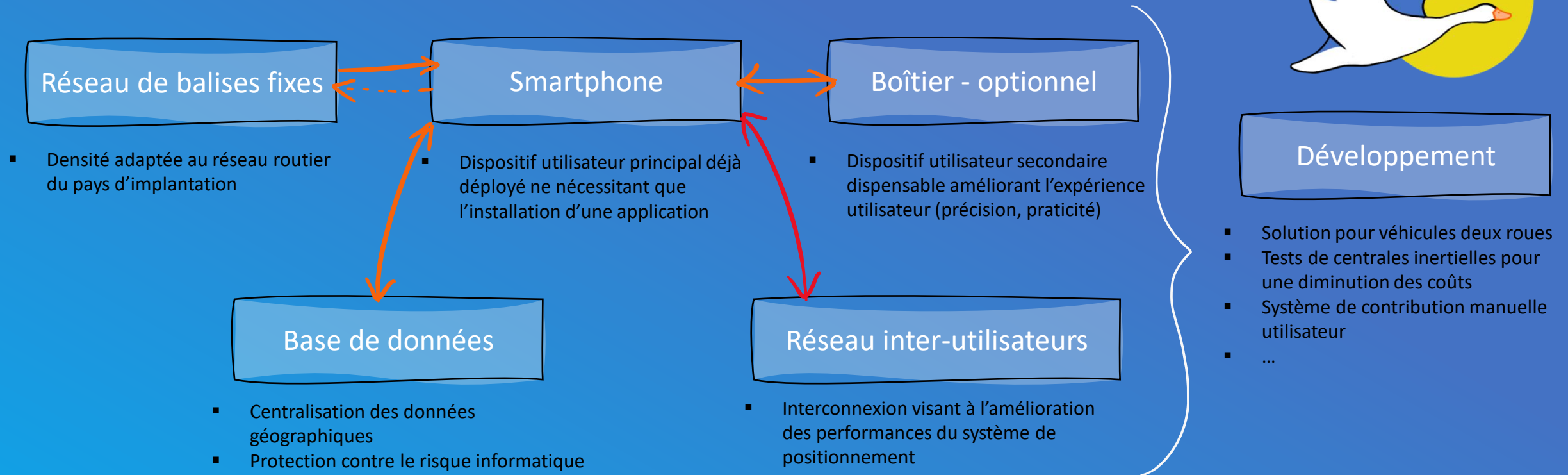
Coût infrastructure



Coût de déploiement, assistance et maintenance

A estimer

GOOSENAV: conclusion et axes de développement



Le système GooseNav est pensé pour être fiable, à déploiement rapide et répondant aux critères de faisabilité.

- ✓ Il remplace intégralement l'actuel GPS, en utilisant un réseau innovant de balises et d'utilisateurs
- ✓ Les moyens technologiques employés sont déjà existants et maîtrisés
- ✓ Il touche un public large: il est accessible par tous les utilisateurs de smartphones, à coût moindre ou nul
- ✓ Les panneaux solaires et des batteries adaptées rendent la solution durable
- ✓ Il est viable financièrement grâce aux bénéfices générés par la vente des boîtiers
- ✓ L'impact écologique est limité, et pourra être réduit davantage avec les projets de recherche actuels