



Stagiaire : Basile ANDRE

Tuteur entreprise : Bouilly Rémi

Tuteur académique : Jean-François Favennec

Remerciements

MRC AU CHAT ET A ZIZOU DEDICACE A PERSONNE FALLAIT ETRE LA

Résumé (FR)

Au cours de ma formation d'ingénieur généraliste à l'ENIB (École Nationale d'Ingénieurs de Brest), j'ai eu l'opportunité d'explorer des domaines variés, dont l'informatique, le traitement des données et la communication réseau. Ces enseignements, combinés au contexte environnemental actuel, m'ont donné l'envie d'explorer comment les outils numériques peuvent répondre à des enjeux concrets, en particulier ceux liés à l'environnement et au milieu marin, un domaine qui m'inspire depuis longtemps. C'est cette motivation qui m'a conduit à choisir la DEAL (Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement), où le développement d'outils informatiques joue un rôle clé dans la valorisation et l'accessibilité des données, offrant une occasion idéale d'allier mes compétences techniques à un sujet qui a du sens.

J'ai effectué mon stage au sein de la DEAL Réunion, plus précisément au SEB (Service Eau et Biodiversité), à l'UBIO (Unité Biodiversité). L'île de La Réunion est un territoire qui présente des enjeux majeurs de suivi et de préservation de la biodiversité, en raison de la forte proportion d'espèces endémiques et de la présence d'habitats naturels particulièrement sensibles. Ces milieux sont soumis à de fortes pressions, notamment liées aux EEE (Espèces Exotiques Envahissantes) et au développement du territoire, ce qui renforce la nécessité d'un suivi rigoureux des données naturalistes. La DEAL utilise Géonature (Application de gestion et de centralisation des données naturalistes) pour centraliser et gérer ces données. Le sujet principal de mon stage consistait à développer un module externe permettant d'y importer automatiquement les données marines issues de Quadrige (Application qui expose une API pour extraire les données de l'Ifremer). Ces données sont dédiées au suivi de l'environnement marin et littoral, et sont donc très utiles pour les agents de la DEAL dans le cadre de leurs missions de suivi de la biodiversité.

N'ayant pas suivi le module CAI (Conception d'Applications Interactives), ce stage m'a permis d'acquérir des compétences complémentaires en développement logiciel et applicatif, à travers la conception d'un module d'import, la manipulation de données et l'interfaçage de systèmes hétérogènes, afin d'obtenir un outil simple d'utilisation, robuste et maintenable.

Il m'a également offert une immersion dans le fonctionnement d'une administration publique de taille moyenne, où l'alternance entre travail autonome et collaboration avec les agents en charge des données naturalistes et de l'administration de Géonature s'est révélée particulièrement enrichissante. Cette expérience en environnement professionnel réel a renforcé ma compréhension des enjeux liés à la gestion des données environnementales et a affiné ma capacité à questionner la pertinence, l'utilité et le sens des projets auxquels je contribue, afin de m'assurer qu'ils soient en accord avec mes valeurs et porteurs d'un impact positif.

Abstract (EN)

As part of my general engineering studies at ENIB, I had the opportunity to explore a wide range of fields, including computer science,

data processing and network communications. These courses, combined with the current environmental context, strengthened my interest in understanding how digital tools can address real-world challenges — particularly those related to the environment and the marine domain, which has long inspired me. This motivation led me to choose DEAL, where the development of digital tools plays a key role in enhancing the value and accessibility of environmental data, offering an ideal opportunity to align my technical skills with a topic that holds meaning for me.

I completed my internship at DEAL Réunion, more specifically within the SEB and the UBIO. Réunion Island faces major biodiversity challenges due to its high proportion of endemic species and the presence of particularly sensitive natural habitats. These ecosystems are under strong pressure, notably from EEE and ongoing land-use development, which reinforces the need for rigorous naturalist data. DEAL uses Géonature to centralise and manage these datasets. The main objective of my internship was to develop an external module for this application, enabling the automated import of marine and coastal environmental data produced by Ifremer (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer). These data are essential for biodiversity monitoring and are accessed through Quadrige, which provides a GraphQL-based API (Interface de Programmation de l'Application).

Since I had not taken the CAI module, this internship allowed me to acquire complementary skills in software and application development through the design of an import module, data manipulation and the interfacing of heterogeneous systems, with the aim of producing a simple, robust and maintainable tool.

It also offered me insight into the functioning of a medium-sized public administration, where the alternation between autonomous work and collaboration with staff in charge of naturalist data and the administration of Géonature proved particularly enriching. This experience in a real professional environment strengthened my understanding of the challenges associated with environmental data management and refined my ability to reflect on the relevance, usefulness and purpose of the projects I contribute to, ensuring that they align with my values and have a positive impact.

Table des matières

Remerciements	1
Résumé (FR)	2
Abstract (EN)	3
Glossaire	6
1 Présentation de l'entreprise	7
1.1 DEAL Réunion	7
1.2 Diagnostic RSE	8
1.2.1 Risques et impacts des activités	8
1.2.2 Stratégie globale en matière de RSE	9
1.2.3 Conclusion personnelle	10
2 Organisation du stage	11
2.1 Contexte du stage	11
2.2 Objectifs du stage	11
2.3 Méthodologie de travail	11
3 Introduction à GeoNature	12
3.1 Principe général de GeoNature	12
3.2 Architecture technique	12
3.3 Organisation interne et modules	13
4 Développement du module d'import Quadrigé	14
4.1 Contexte du projet	14
4.2 Périmètre fonctionnel	14
4.3 Spécifications techniques	15
4.4 Contraintes, dépendances et livrables	15
4.5 Liens utiles	16
5 Travaux réalisés et compétences acquises	17

6 Perspectives	18
7 Conclusion	19
Bibliographie	20
Annexes	21

Glossaire

API	Interface de Programmation de l'Application
Borbonica	Plateforme régionale de diffusion des données naturalistes du SINP
CAI	Conception d'Applications Interactives
DEAL	Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
EEE	Espèces Exotiques Envahissantes
ENIB	École Nationale d'Ingénieurs de Brest
ERC	Éviter – Réduire – Compenser
Géonature	Application de gestion et de centralisation des données naturalistes
Ifremer	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
OFB	Office Français de la Biodiversité
PNRun	Parc National de La Réunion
Quadrigé	Application qui expose une API pour extraire les données de l'Ifremer
RNE	Responsabilité Numérique des Entreprises
RSE	Responsabilité Sociétale des Entreprises
SEB	Service Eau et Biodiversité
SEOR	Société d'Études Ornithologiques de La Réunion
SINP-974	Système d'Information de l'iNventaire du Patrimoine naturel de la Réunion
SREPEN	Société réunionnaise pour l'étude et la protection de la nature
UBIO	Unité Biodiversité

1. Présentation de l'entreprise

1.1. DEAL Réunion

La Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DEAL) est le service déconcentré de l'État. Elle met en œuvre, à l'échelle régionale, les politiques publiques relevant du Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, ainsi que du Ministère de la Transition Énergétique. La Réunion est un territoire insulaire soumis à de fortes pressions environnementales et à des enjeux d'aménagement complexes. Dans ce contexte, la DEAL occupe une place centrale. Elle se situe au croisement des questions d'environnement, de biodiversité, d'eau, d'urbanisme et de développement territorial.

La DEAL Réunion assure l'application des réglementations environnementales. Elle instruit les projets d'aménagement et gère les risques naturels. Elle suit la ressource en eau et met en œuvre les politiques de protection des milieux naturels. Elle travaille en étroite collaboration avec les collectivités et plusieurs établissements publics, tels que l'OFB (Office Français de la Biodiversité), le PNRun (Parc National de La Réunion) ou l'Ifremer. Elle coopère aussi avec de nombreuses associations locales, comme la SEOR (Société d'Études Ornithologiques de La Réunion) ou la SREPEN (Société réunionnaise pour l'étude et la protection de la nature), qui contribuent activement au suivi et à la préservation de la biodiversité insulaire.

Au sein de cette structure, le Service Eau et Biodiversité (SEB) porte les missions liées à la préservation des milieux aquatiques et terrestres. Il développe la connaissance des espèces, veille à leur protection et régule les activités susceptibles d'impacter la biodiversité. Le SEB se trouve ainsi au cœur des enjeux écologiques de l'île.

Mon stage s'est déroulé au sein de l'Unité Biodiversité (UBIO). Cette unité est responsable du suivi des espèces et des habitats naturels. Elle gère et valorise les données naturalistes et instruit les dossiers réglementaires liés à la biodiversité. Elle anime également le Système d'Information sur la Nature et les Paysages (SINP-974 (Système d'Information de l'iNventaire du Patrimoine naturel de la Réunion)) régional et assure la gestion de la plateforme Borbonica. L'unité intervient aussi sur des thématiques transversales telles que les espèces exotiques envahissantes (EEE), la séquence ERC (Éviter – Réduire – Compenser) ou la diffusion des connaissances naturalistes. L'organisation interne de l'UBIO est présentée en annexe (Fig. 7.1).

L'organigramme interne montre une équipe composée de profils scientifiques, techniques et administratifs. Ces personnels travaillent de manière complémentaire pour répondre aux enjeux liés à la biodiversité du territoire. Mon stage s'inscrit dans cette dynamique, au sein du pôle

dédié aux données naturalistes. Il contribue à la structuration et à la modernisation des outils numériques utilisés par la DEAL.

Cette présentation de la DEAL et de son organisation permet de situer le contexte global de mon stage. Le chapitre suivant propose un **diagnostic RSE (Responsabilité Sociétale des Entreprises)** de la structure. Il vise à évaluer ses pratiques au regard des enjeux sociaux, environnementaux et organisationnels.

1.2. Diagnostic RSE

En raison des responsabilités qui lui sont confiées, la DEAL Réunion doit intégrer des considérations sociales, environnementales et organisationnelles dans l'ensemble de ses pratiques. Le diagnostic qui suit s'appuie sur la norme ISO 26000 et sur les principes de la RNE (Responsabilité Numérique des Entreprises), afin d'évaluer la manière dont la structure prend en compte ces enjeux.

1.2.1. Risques et impacts des activités

Impacts environnementaux

La DEAL n'engendre pas d'impacts industriels directs. Cependant, plusieurs de ses activités présentent des risques environnementaux indirects :

- un usage intensif d'outils numériques (bases de données naturalistes, SIG, plateformes SINP-974, Géonature, Borbonica (Plateforme régionale de diffusion des données naturalistes du SINP)), impliquant une consommation énergétique importante et une dépendance aux infrastructures serveurs ;
- le stockage et le traitement de volumes croissants de données, contribuant à l'empreinte carbone numérique et à la production de déchets électroniques liés au renouvellement du matériel ;
- des déplacements professionnels réguliers pour l'instruction de projets, le suivi de chantiers ou les missions de terrain, occasionnant des émissions de gaz à effet de serre.

Ces activités consomment de l'énergie, mobilisent des ressources non renouvelables et contribuent à l'empreinte environnementale globale du service.

Impacts sociétaux

Les missions de la DEAL comportent également plusieurs risques sociétaux :

- une influence directe sur les décisions d'aménagement (urbanisme, infrastructures, gestion des risques), pouvant affecter l'organisation du territoire et la qualité de vie des habitants ;

- une responsabilité dans l'instruction des permis CITES et le suivi des espèces menacées, dont une mauvaise évaluation pourrait fragiliser le patrimoine naturel ;
- la coordination des actions de lutte contre les espèces exotiques envahissantes (EEE), où un retard ou un défaut d'intervention peut entraîner une dégradation durable des écosystèmes ;
- une forte dépendance aux partenaires (collectivités, OFB, Ifremer, PNRun, associations), rendant certaines actions vulnérables à des manques de coordination ou de moyens.

Ces risques peuvent affecter la cohérence des politiques publiques, la préservation des milieux naturels et l'équité territoriale.

Impacts sociaux

Le fonctionnement interne de la DEAL comporte également des risques sociaux. Ses équipes travaillent dans un environnement pluridisciplinaire soumis à des contraintes organisationnelles et réglementaires :

- une charge de travail variable selon les périodes, pouvant entraîner des tensions dans la répartition des tâches et la disponibilité des agents ;
- des missions de terrain présentant des risques pour la santé et la sécurité (déplacements fréquents, conditions difficiles, chantiers, zones accidentées) ;
- un besoin constant de mise à jour des compétences (réglementations, outils numériques, SIG), créant un risque d'obsolescence professionnelle pour les agents non formés ;
- un renouvellement régulier des stagiaires ou contractuels, pouvant fragiliser la continuité des projets ou l'organisation des équipes.

Ces éléments peuvent affecter la qualité de vie au travail, la sécurité en mission et la stabilité organisationnelle.

1.2.2. Stratégie globale en matière de RSE

Bien qu'elle agisse dans un cadre réglementaire strict, la DEAL cherche à renforcer la cohérence et la qualité de ses pratiques internes. Elle s'inscrit dans une dynamique de *pré-conformité active*, allant au-delà des obligations minimales en matière d'organisation, de gestion de l'information et de modernisation numérique. Cette démarche vise à améliorer la fiabilité des données environnementales, à harmoniser les outils utilisés par les services et à garantir une application rigoureuse des réglementations.

Sur le plan sociétal, la DEAL renforce ses méthodes de travail pour limiter les risques identifiés. Elle veille à la transparence dans l'instruction des projets d'aménagement, à sécuriser

les procédures liées aux permis CITES et à structurer davantage la coordination des actions de lutte contre les (EEE).

Cette dynamique repose également sur une coopération accrue avec les collectivités territoriales, les établissements publics et les associations naturalistes, afin de réduire les vulnérabilités liées à la gouvernance et à la circulation de l'information. Ces partenariats contribuent à une meilleure gestion des risques sociaux, environnementaux et sociétaux auxquels le territoire est confronté.

1.2.3. Conclusion personnelle

Ce diagnostic montre que la DEAL Réunion intègre progressivement les enjeux de la RSE et de la RNE au cœur de ses pratiques, malgré les contraintes propres à une administration publique. Cette approche illustre la volonté de la structure de moderniser son fonctionnement et de réduire ses vulnérabilités, tout en répondant aux attentes réglementaires et territoriales. Cette réflexion renforce l'idée que le numérique et l'organisation interne jouent un rôle essentiel dans la transition écologique et l'amélioration des politiques publiques.

2. Organisation du stage

2.1. Contexte du stage

Le SINP-974 est un dispositif collectif de mise en partage des données d'observations d'espèces sauvages sur l'île. Il a été mis en service à La Réunion en 2018, au travers de la plateforme Borbonica gérée conjointement par PNRUn et la DEAL.

Borbonica s'appuie sur un portail web, qui permet d'accéder aux différentes interfaces utilisateurs du SINP :

- Borbonica obs : consultation cartographique des données du SINP. Il s'agit d'une interface web basée sur le plugin Lizmap et reposant sur une base de données PostgreSQL. Cette plateforme offre un accès aux données selon différents niveaux et profils (grand public, experts, validateurs, etc.) ;
- Borbonica atlas : consultation des fiches espèces disponibles dans le SINP, sous forme de synthèse des principales informations (observations, documents, photos, etc.). Il s'agit d'un outil issu de la solution open source GéoNature ;
- Borbonica stats : module statistique qui permet de consulter des tableaux de bord chiffrés sur le contenu de Borbonica (données disponibles, principaux usages, etc.). Ce module s'appuie sur un projet Lizmap, exploitant des données de la base PostgreSQL.

Afin de pérenniser le SINP 974, un projet a été lancé en 2023, avec pour principaux objectifs la modernisation et la simplification du fonctionnement du système. Plusieurs nouvelles fonctionnalités vont être ajoutées, et certaines briques logicielles seront remplacés par de nouvelles solutions plus modernes et plus simples à utiliser et à maintenir. C'est le cas notamment de la solution Géonature qui est en cours de déploiement pour remplacer le périmètre de Borbonica obs.

2.2. Objectifs du stage

2.3. Méthodologie de travail

3. Introduction à GeoNature

3.1. Principe général de GeoNature

GeoNature est une application web dédiée à la gestion, la centralisation et la valorisation des données naturalistes. Développé initialement en 2010 puis entièrement refondu en 2017, le projet est aujourd’hui maintenu par le PNRun. L’application repose sur une architecture moderne combinant un backend Python/Flask et un frontend Angular, ce qui lui permet d’assurer à la fois la saisie, la consultation, la validation et la restitution des données.

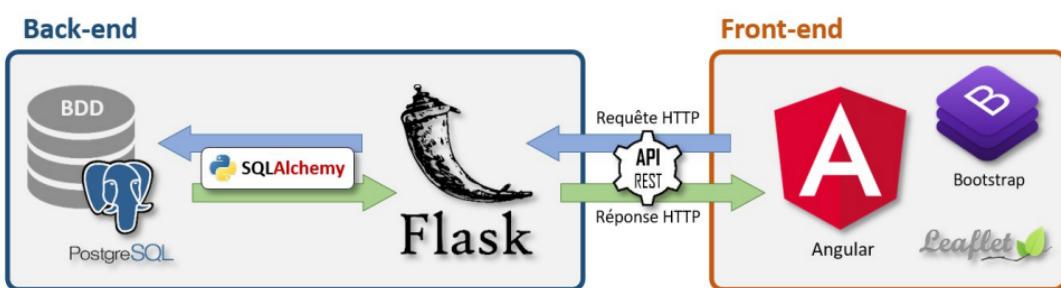


Figure 3.1: Architecture générale du backend et du frontend de GeoNature

Le fonctionnement de GeoNature est modulaire : un noyau applicatif fournit les briques communes (API, référentiels, schéma de synthèse), et différents modules viennent étendre les fonctionnalités selon les besoins (Occtax, Occhab, Validation, Import, Export, etc.). La documentation officielle détaille l’ensemble de cette architecture, ([documentation officielle](#)) ainsi que les sources du projet, disponibles sur [GitHub](#).

3.2. Architecture technique

GeoNature combine une partie serveur (backend) et une partie cliente (frontend) qui dialoguent via une API REST.

Le backend est développé en Python à l'aide du framework Flask. Il assure l'ensemble des traitements métiers, l'accès aux données et la gestion des opérations spatiales via PostgreSQL et PostGIS. La gestion des utilisateurs et de leurs permissions repose sur UsersHub, qui fournit l'authentification et le contrôle des accès. L'API exposée par le backend constitue le point central de communication avec l'interface web.

Le frontend, développé en Angular, constitue l'interface visible par l'utilisateur. Il interroge exclusivement l'API du backend pour afficher les formulaires, les cartes, les graphiques et les données attributaires. Des bibliothèques comme Leaflet ou Bootstrap renforcent les fonctionnalités.

ités cartographiques et l'ergonomie générale. Cette séparation nette entre backend et frontend garantit la stabilité et la modularité du système, tout en facilitant les évolutions futures.

3.3. Organisation interne et modules

L'application est structurée autour de modules fonctionnels s'appuyant tous sur les mêmes référentiels : taxonomie (TaxHub), nomenclatures, utilisateurs (UsersHub) et schéma de synthèse. Les modules principaux — Occtax pour les observations, Occhab pour les habitats, ou encore la Validation — s'intègrent directement au cœur applicatif.

Chaque module possède son propre schéma de base de données, son API et ses composants Angular. Cette organisation modulaire permet de faire évoluer GeoNature, d'ajouter de nouveaux protocoles d'acquisition ou de développer des extensions externes. La documentation décrit précisément les bonnes pratiques et l'architecture à respecter pour développer un module GeoNature externe.

4. Développement du module d'import Quadrige

4.1. Contexte du projet

Le SINP-974, déployé à La Réunion au sein de l'application Borbonica, comporte encore très peu de données issues du milieu marin : selon le bilan 2024, moins de 10 % des observations concernent des taxons marins. Cette sous-représentation constitue un frein à la connaissance de la biodiversité littorale et sous-marine de l'île.

À l'inverse, le système d'information Quadrige, maintenu par l'Ifremer, rassemble un volume considérable de données environnementales et biologiques collectées en mer. La mise en place, fin 2024, d'une nouvelle API GraphQL rend désormais possible l'interrogation directe et structurée de ces données, ouvrant la voie à une intégration plus large dans les outils du SINP-974.

Dans ce contexte, le projet a consisté à développer un **module externe GeoNature** capable d'interroger l'API de Quadrige, de récupérer les programmes pertinents pour La Réunion, d'en extraire les observations utiles, puis de produire un fichier d'import conforme aux spécifications du modèle SINP-974. Le module devait s'intégrer naturellement à l'interface existante de GeoNature, offrir une exploration intuitive des programmes Quadrige, et préparer les données en vue de leur intégration finale dans Borbonica. Ce développement s'inscrit ainsi dans la dynamique d'amélioration continue du SINP-974 Réunion et vise à renforcer la représentativité des données marines dans la base régionale.

4.2. Périmètre fonctionnel

Le module d'import devait couvrir l'ensemble de la chaîne d'acquisition : de la découverte des programmes Quadrige jusqu'à la production d'un fichier structuré pour GeoNature. La première étape consistait à interroger l'API en mode authentifié afin d'obtenir la liste des programmes disponibles pour un utilisateur donné. Un filtrage automatique sur un périmètre géographique — principalement La Réunion, mais extensible à d'autres territoires comme les îles Éparses — permettait d'isoler les programmes pertinents. Une interface dédiée intégrée à GeoNature offrait ensuite la possibilité de rechercher des programmes, d'affiner l'affichage par mots-clés et de sélectionner ceux à importer.

Une fois les programmes choisis, l'utilisateur pouvait définir les filtres à appliquer aux données (la période d'intérêt, les champs souhaités, ou encore la reprise des stations déjà extraites). Le module interrogait alors l'API Quadrige pour récupérer les observations correspondantes.

Seuls les champs utiles au modèle SINP-974 étaient extraits : identifiants des programmes et stations, localisation géographique, taxon observé, date, ainsi que les métadonnées essentielles (auteur, organisme, méthode d'acquisition, etc.). Une transformation était appliquée pour obtenir une structure compatible avec les mécanismes d'import de GeoNature.

Enfin, le module produisait un fichier CSV intermédiaire, destiné à être importé via l'infrastructure existante de GeoNature. Chaque opération d'import était consignée dans un historique affiché dans un second onglet, permettant de suivre les actions réalisées, leur date, leur statut et les éventuelles erreurs rencontrées. L'ensemble du module était réservé aux administrateurs, conformément aux pratiques habituelles de contrôle des imports dans GeoNature.

4.3. Spécifications techniques

Techniquement, le module repose sur une architecture conforme à celle de GeoNature. Le **backend**, développé en Python avec le framework Flask, se charge de communiquer avec l'API Quadrige, d'effectuer les transformations nécessaires sur les données et de générer les fichiers d'export. Le **frontend**, construit en Angular et Bootstrap, s'intègre à l'interface existante de GeoNature et fournit les pages de sélection des programmes ainsi que l'historique des imports.

La communication avec Quadrige s'effectue via des requêtes GraphQL, qui permettent d'obtenir uniquement les champs nécessaires, réduisant ainsi le volume de données transférées. L'authentification repose sur un token fourni par l'Ifremer et configurable directement dans les paramètres du module. Les autres réglages comprennent l'URL de l'API, le périmètre géographique par défaut, ainsi que le mapping entre les champs Quadrige et les champs attendus par le schéma de synthèse de GeoNature.

Un soin particulier a été apporté à la gestion des erreurs : vérification des réponses HTTP, détection des timeouts, contrôle de la validité des données, et affichage de messages explicites à l'utilisateur. Toutes les actions — appels API, transformations, exports — sont consignées dans les logs du module, conformément aux pratiques de GeoNature.

4.4. Contraintes, dépendances et livrables

La réussite du projet dépendait principalement de l'accessibilité de l'API Quadrige, de la stabilité de ses services, et de la disponibilité d'une documentation actualisée. L'intégration dans GeoNature nécessitait également de respecter la structure modulaire du noyau applicatif et les contraintes du modèle SINP-974.

Les livrables attendus comprenaient le code source du module, un fichier de configuration, une documentation à destination des administrateurs (installation, configuration, maintenance) ainsi qu'un guide d'utilisation orienté métier.

Plusieurs évolutions ont été envisagées : automatisation des imports périodiques, gestion des imports incrémentaux, intégration à la gestion des droits de GeoNature et, à plus long terme,

publication du module dans le catalogue officiel des extensions GeoNature.

4.5. Liens utiles

Pour accompagner le développement, plusieurs ressources officielles ont été mobilisées :

Quadrige

- Documentation API
- Tutoriels vidéo
- Accès à l'application

GeoNature

- Dépôt GitHub
- Documentation générale
- Guide de développement des modules externes

L'ensemble de ces éléments a permis de définir précisément le périmètre et les modalités du développement. Le chapitre suivant présente la réalisation concrète du module, depuis l'organisation du travail jusqu'aux phases de tests et de validation des fonctionnalités mises en place.

5. Travaux réalisés et compétences acquises

6. Perspectives

7. Conclusion

Bibliographie

(à compléter)

Annexes

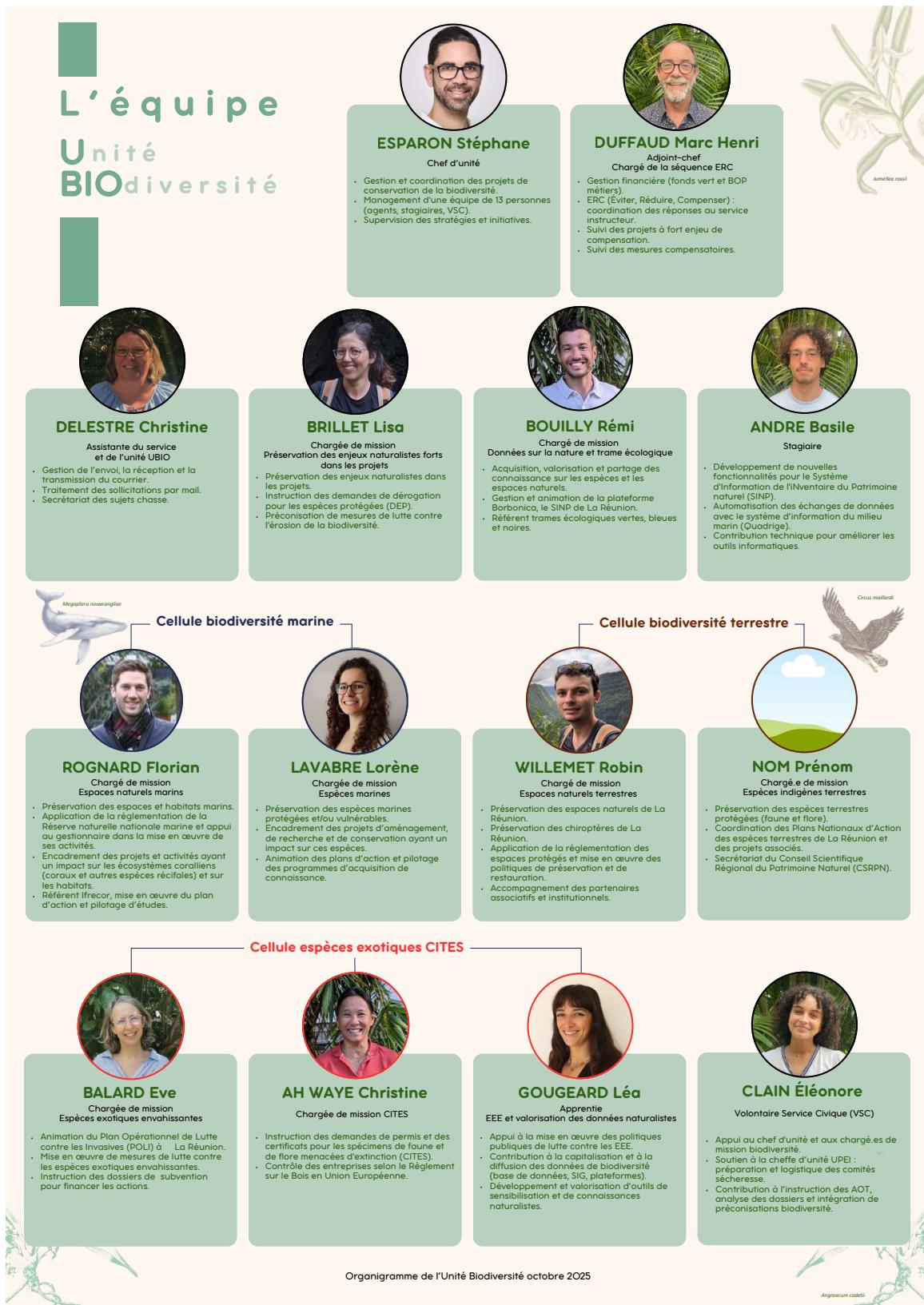


Figure 7.1: Organigramme de l'Unité Biodiversité (UBIO) – SEB / DEAL Réunion

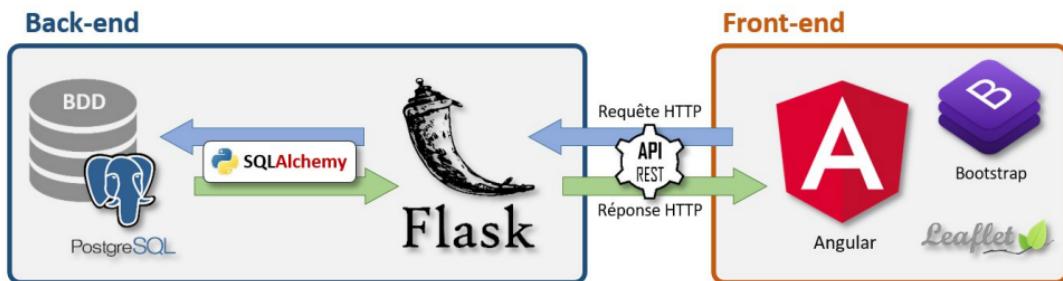


Figure 7.2: Architecture générale du backend et du frontend de GeoNature