



UNIVERSITÉ ABDELMALEK ESSAADI

FACULTÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE TANGER

PROJET DE FIN D'ANNÉE

2ème année en cycle Ingénieur d'État en Géoinformation

Conception et développement d'une application web SIG pour la gestion des inspections des actifs portuaires

Réalisé par :

KHOUSSE Imane

ANDALOUSSI RKIOUAK Malak

Membres du jury :

| | |
|----------------------------|-------------------------|
| Pr MAATOUK Mustapha | Président du jury |
| Mr KHARBACH Driss | Encadrant professionnel |
| Pr EL KHARKI Omar | Rapporteur |
| Pr WAHBI Miriam | Encadrante pédagogique |

Travail réalisé au sein de Tanger Med Engineering



Année universitaire 2024/2025

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes chers parents, pour leur amour inconditionnel, leurs encouragements constants et leurs sacrifices qui ont rendu possible la réalisation de ce projet.

À ma famille et à mes proches, pour leur soutien moral et leurs prières bienveillantes.

À mes camarades et amis, pour les moments de partage, d'entraide et d'amitié durant ces années d'études.

Enfin, à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de ce parcours.

KHOUSSE Imane

ANDALOUSSI RKIOUAK Malak

Remerciements

Au terme de ce projet de fin d'année, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre encadrant, **M. Driss KHARBACH** de Tanger Med Engineering, pour sa disponibilité, ses conseils avisés et son accompagnement constant tout au long du projet. Ses orientations et ses suggestions ont été d'une aide précieuse pour la réussite de notre application.

Nous remercions également l'ensemble du corps professoral de la **Faculté des Sciences et Techniques de Tanger** pour la qualité de l'enseignement dispensé, qui nous a permis d'acquérir les connaissances et les compétences nécessaires à la concrétisation de ce travail.

Notre reconnaissance s'étend à l'administration de la faculté pour avoir mis à notre disposition les ressources et un environnement d'apprentissage favorables.

Enfin, nous tenons à remercier nos familles et nos proches pour leur soutien moral, leurs encouragements constants et leur patience tout au long de cette aventure académique.

Résumé

Le complexe portuaire de Tanger Med, de par sa taille et la diversité de ses infrastructures, fait face à des défis majeurs dans la gestion et la maintenance de ses actifs. Le suivi des inspections, souvent manuel et cloisonné, engendre des inefficacités, des risques opérationnels et des difficultés à garantir une traçabilité réglementaire complète.

Ce projet vise à répondre à cette problématique par la conception et le développement d'une application web SIG (Système d'Information Géographique) centralisée. La solution implémente un workflow complet de gestion des inspections, de la planification par l'administrateur à la validation par le manager, en passant par la réalisation sur le terrain par l'opérateur.

L'application s'appuie sur une architecture technique moderne, utilisant **Angular** pour le frontend, **NestJS** pour le backend, et une base de données **PostgreSQL/PostGIS** pour la gestion des données attributaires et géospatiales. Cette intégration permet non seulement d'automatiser et de structurer le processus d'inspection, mais aussi d'offrir des outils de pilotage via un tableau de bord managérial et une dimension cartographique interactive basée sur **OpenLayers**.

Ainsi, la solution proposée contribue à optimiser les opérations de maintenance, à renforcer la traçabilité et à offrir une aide à la décision stratégique pour la gestion du patrimoine portuaire.

Mots-clés : SIG, Gestion des actifs, Inspection portuaire, Maintenance, Angular, NestJS, PostGIS, OpenLayers, Workflow, Tableau de bord.

Abstract

The Tanger Med port complex, due to its size and the diversity of its infrastructure, faces major challenges in the management and maintenance of its assets. The monitoring of inspections, often manual and siloed, leads to inefficiencies, operational risks, and difficulties in ensuring full regulatory traceability.

This project aims to address this issue through the design and development of a centralized GIS (Geographic Information System) web application. The solution implements a complete inspection management workflow, from planning by the administrator to validation by the manager, including on-site execution by the operator.

The application relies on a modern technical architecture using **Angular** for the frontend, **NestJS** for the backend, and a **PostgreSQL/PostGIS** database for the management of attribute and spatial data. This integration not only automates and structures the inspection process but also provides management tools through a managerial dashboard and an interactive mapping component using **OpenLayers**.

Thus, the proposed solution contributes to optimizing maintenance operations, improving traceability, and supporting strategic decision-making for port asset management.

Keywords : GIS, Asset Management, Port Inspection, Maintenance, Angular, NestJS, PostGIS, OpenLayers, Workflow, Dashboard

Table des matières

| | |
|--|-------------|
| Table des matières | v |
| Table des figures | viii |
| Liste des tableaux | x |
| Introduction générale | 1 |
| 1 Cadre général du projet | 2 |
| 1.1 Introduction | 2 |
| 1.2 Présentation de l'organisme d'accueil | 2 |
| 1.2.1 Groupe Tanger Med | 2 |
| 1.2.2 Agence Spéciale Tanger-Méditerranée (TMSA) | 3 |
| 1.2.3 Tanger Med Engineering (TME) | 3 |
| 1.3 Problématique | 4 |
| 1.3.1 Contexte | 4 |
| 1.3.2 Défis identifiés | 4 |
| 1.3.3 Formulation de la problématique | 4 |
| 1.4 Objectifs du projet | 4 |
| 1.4.1 Objectif principal | 4 |
| 1.4.2 Objectifs spécifiques | 5 |
| 1.4.3 Solution proposée | 5 |
| 1.5 Méthodologie de travail | 5 |
| 1.5.1 Approche méthodologique | 5 |
| 1.5.2 Phases du projet | 5 |
| 1.6 Conclusion | 6 |
| 2 Modélisation et conception | 7 |
| 2.1 Introduction | 7 |
| 2.2 Spécifications du système | 7 |
| 2.2.1 Besoins fonctionnels | 7 |
| 2.2.2 Besoins non fonctionnels | 8 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2.3 | Modélisation UML du système | 8 |
| 2.3.1 | Diagramme de cas d'utilisation | 8 |
| 2.3.2 | Structure hiérarchique des actifs | 9 |
| 2.3.3 | Diagramme de classes | 9 |
| 2.3.4 | Diagramme d'activité..... | 10 |
| 2.4 | Intégration SIG | 11 |
| 2.5 | Conclusion..... | 11 |
| 3 | Implémentation et développement technique | 12 |
| 3.1 | Introduction | 12 |
| 3.2 | Architecture et environnement de développement | 12 |
| 3.2.1 | Architecture logicielle..... | 12 |
| 3.2.2 | Outils et environnement..... | 13 |
| 3.3 | Développement du backend (NestJS) | 13 |
| 3.3.1 | Structure et sécurité de l'API..... | 13 |
| 3.3.2 | Gestion des données..... | 13 |
| 3.4 | Développement du frontend (Angular) | 14 |
| 3.4.1 | Structure et communication API..... | 14 |
| 3.4.2 | Intégration de la cartographie (SIG) avec OpenLayers | 14 |
| 3.5 | Conclusion..... | 14 |
| 4 | Résultats et Interfaces | 15 |
| 4.1 | Interface d'Authentification..... | 15 |
| 4.2 | Interface Administrateur | 16 |
| 4.2.1 | Tableau de bord administrateur | 16 |
| 4.2.2 | Gestion des utilisateurs | 16 |
| 4.2.3 | Gestion hiérarchique des actifs | 17 |
| 4.2.4 | Configuration des inspections | 18 |
| 4.3 | Interface principale d'utilisation | 19 |
| 4.3.1 | Gestion des actifs portuaires | 20 |
| 4.3.2 | Cartographie globale..... | 21 |
| 4.4 | Interface Opérateur | 23 |
| 4.4.1 | Tableau de bord opérateur | 23 |
| 4.4.2 | Consultation et navigation hiérarchique..... | 24 |
| 4.4.3 | Module des inspections..... | 25 |
| 4.5 | Interface Maître d'Ouvrage | 28 |
| 4.5.1 | Tableau de bord et validation | 28 |
| 4.5.2 | Historique et traçabilité..... | 30 |
| 5 | Conclusion Générale et Perspectives | 33 |

Table des figures

| | | |
|------|--|----|
| 1.1 | Groupe Tanger Med | 2 |
| 1.2 | Logo de l'Agence Spéciale Tanger-Méditerranée (TMSA) | 3 |
| 1.3 | Logo de Tanger Med Engineering (TME) | 3 |
| 2.1 | Diagramme de cas d'utilisation du système d'inspection portuaire | 9 |
| 2.2 | Diagramme de classes de l'application SIG d'inspection portuaire..... | 10 |
| 2.3 | Diagramme d'activité du workflow | 11 |
| 3.1 | Logo du framework Angular | 13 |
| 3.2 | Logo du framework NestJS | 13 |
| 3.3 | Logo de l'extension spatiale PostGIS..... | 13 |
| 4.1 | Page de connexion de l'application web SIG..... | 15 |
| 4.2 | Tableau de bord Administrateur..... | 16 |
| 4.3 | Interface de gestion des utilisateurs | 17 |
| 4.4 | Formulaire de création d'un utilisateur..... | 17 |
| 4.5 | Interface de gestion des familles d'actifs..... | 17 |
| 4.6 | Interface de gestion des groupes d'actifs avec filtrage..... | 18 |
| 4.7 | Interface de gestion des types d'inspection..... | 18 |
| 4.8 | Interface principale de gestion des inspections..... | 19 |
| 4.9 | Formulaire de création d'une inspection..... | 19 |
| 4.10 | Vue d'ensemble du tableau de bord principal | 20 |
| 4.11 | Interface de gestion des actifs portuaires | 20 |
| 4.12 | Interface de création d'un actif portuaire | 21 |
| 4.13 | Visualisation cartographique d'un actif sur la carte OpenStreetMap | 21 |
| 4.14 | Interface de modification d'un actif portuaire..... | 21 |
| 4.15 | Vue initiale de la carte OpenStreetMap..... | 22 |
| 4.16 | Mode satellite de la carte | 22 |
| 4.17 | Application du filtrage par état des actifs..... | 22 |
| 4.18 | Filtrage hiérarchique par site portuaire | 23 |
| 4.19 | Tableau de bord opérateur..... | 23 |
| 4.20 | Liste des actifs portuaires consultables par l'opérateur | 24 |

| | |
|--|----|
| 4.21 Familles d'équipements accessibles à l'opérateur | 24 |
| 4.22 Groupes d'ouvrages d'art et navigation vers les actifs..... | 25 |
| 4.23 Liste des inspections programmées pour l'opérateur | 25 |
| 4.24 Calendrier des inspections programmées..... | 26 |
| 4.25 Inspection planifiée avant démarrage..... | 26 |
| 4.26 Inspection en cours, en attente de clôture | 27 |
| 4.27 Formulaire de clôture d'une inspection portuaire | 27 |
| 4.28 Tableau de bord du Maître d'Ouvrage | 28 |
| 4.29 Validation d'une inspection clôturée par le Maître d'Ouvrage..... | 29 |
| 4.30 Rejet d'une inspection clôturée avec motif obligatoire..... | 30 |
| 4.31 Historique complet des logs des inspections..... | 31 |
| 4.32 Historique détaillé d'une inspection – Chronologie complète des transitions | 31 |

Liste des tableaux

| | | |
|-----|---|---|
| 2.1 | Les fonctionnalités de chaque utilisateur | 7 |
|-----|---|---|

Introduction générale

Le complexe portuaire de **Tanger Med**, par sa position stratégique sur le détroit de Gibraltar et son envergure internationale, s’est imposé comme un hub logistique et industriel de premier plan en Afrique et en Méditerranée. La gestion et la maintenance de son vaste patrimoine d’infrastructures, allant des quais aux *équipements de manutention*, représentent un enjeu crucial pour garantir sa performance opérationnelle, sa sécurité et sa compétitivité.

Cependant, les méthodes traditionnelles de suivi des inspections, souvent manuelles et fragmentées, peinent à répondre aux exigences de traçabilité, de conformité réglementaire et d’efficacité qu’impose un complexe portuaire de cette envergure. Le manque d’outils intégrés conduit à une coordination limitée entre les différentes équipes et à une perte de temps dans la planification et le contrôle des inspections.

Face à ce constat, la nécessité d’une solution technologique centralisée, intelligente et adaptée au contexte portuaire s’est imposée. Le projet présent vise donc à développer une **application web SIG** (Système d’Information Géographique) permettant de digitaliser l’ensemble du processus d’inspection, depuis la planification par l’administrateur jusqu’à la validation par le manager.

Cette application intègre des outils modernes tels que **Angular** pour le frontend, **NestJS** pour le backend et **PostgreSQL/PostGIS** pour la gestion des données spatiales et attributaires. Elle propose également une composante cartographique interactive, basée sur **OpenLayers**, qui permet de visualiser et de gérer efficacement les actifs portuaires.

Ce rapport décrit les étapes de conception, de développement et de validation de cette solution logicielle. Le **Chapitre 1** présente le cadre général du projet et ses objectifs. Le **Chapitre 2** est consacré à la modélisation et à la conception UML du système. Le **Chapitre 3** expose les aspects techniques du développement et l’architecture mise en œuvre. Enfin, la **conclusion** résume les résultats obtenus et propose des perspectives d’amélioration futures.

Chapitre 1

Cadre général du projet

1.1 Introduction

Ce chapitre présente le cadre général du projet, en présentant l'environnement institutionnel de l'organisme d'accueil ainsi que la problématique à l'origine du développement de la solution proposée.

1.2 Présentation de l'organisme d'accueil

1.2.1 Groupe Tanger Med



FIGURE 1.1 – Groupe Tanger Med

Situé sur le détroit de Gibraltar, le complexe portuaire **Tanger Med** est le premier hub logistique et industriel d'Afrique, connecté à plus de 180 ports dans le monde. Il regroupe plusieurs entités complémentaires (Tanger Med 1, Tanger Med 2, Tanger Med Passagers et Zones Logistiques) permettant le traitement de millions de conteneurs, passagers et véhicules chaque année.

1.2.2 Agence Spéciale Tanger-Méditerranée (TMSA)



FIGURE 1.2 – Logo de l’Agence Spéciale Tanger-Méditerranée (TMSA)

Créée en 2003, la **TMSA** est l’autorité publique chargée du **développement, de l’aménagement et de la gestion du complexe Tanger Med**.

Elle planifie et coordonne les grands projets portuaires et industriels à travers une gouvernance intégrée rassemblant les principaux acteurs publics et privés, tout en veillant à la compétitivité, à la sécurité et à la durabilité des installations portuaires selon les standards internationaux.

1.2.3 Tanger Med Engineering (TME)



FIGURE 1.3 – Logo de Tanger Med Engineering (TME)

Tanger Med Engineering (TME), filiale de la TMSA, est une société d’ingénierie spécialisée dans les **études, la conception et la supervision des projets portuaires, maritimes et logistiques**.

Elle accompagne les maîtres d’ouvrage tout au long du cycle de vie des projets. TME joue un rôle clé dans la **modernisation numérique** et la **valorisation du patrimoine infrastructurel**, notamment à travers des solutions innovantes comme l’application web SIG développée dans ce projet.

Après avoir présenté le contexte institutionnel, nous abordons la problématique ayant motivé la mise en place de cette solution.

1.3 Problématique

1.3.1 Contexte

Dans le cadre de la gestion d'un complexe portuaire de l'envergure de Tanger Med, la maintenance et l'inspection des actifs infrastructurels représentent un défi majeur. Le patrimoine portuaire comprend des milliers d'équipements et d'infrastructures critiques (quais, grues, entrepôts, équipements de manutention, installations électriques, etc.) dont la disponibilité et la sécurité conditionnent directement la performance opérationnelle du port.

1.3.2 Défis identifiés

Les méthodes traditionnelles de suivi des inspections, souvent manuelles et fragmentées, peinent à répondre aux exigences actuelles. Les principaux défis rencontrés sont :

- **Complexité du patrimoine** : volume et diversité considérables des actifs à suivre, nécessitant une organisation hiérarchique claire
- **Traçabilité réglementaire insuffisante** : difficulté à documenter chaque inspection selon les normes en vigueur
- **Coordination multi-acteurs défaillante** : communication fragmentée entre opérateurs, managers et administrateurs
- **Absence d'indicateurs de pilotage** : manque de tableaux de bord pour la prise de décision stratégique
- **Gestion géospatiale limitée** : absence de visualisation cartographique des actifs et de leurs états

1.3.3 Formulation de la problématique

Comment développer une solution technologique intégrée permettant d'optimiser la gestion des inspections des actifs portuaires tout en assurant la traçabilité réglementaire et en fournissant aux décideurs les outils de pilotage nécessaires ?

1.4 Objectifs du projet

1.4.1 Objectif principal

Concevoir et développer une application web SIG dédiée à la gestion centralisée des inspections portuaires, intégrant un workflow collaboratif et des outils de suivi managérial.

1.4.2 Objectifs spécifiques

L'application vise à répondre aux besoins suivants :

- **Centralisation des données** : regrouper toutes les informations des actifs dans une base de données unifiée (PostgreSQL/PostGIS)
- **Automatisation du processus** : digitaliser la planification, l'exécution et le suivi des inspections
- **Workflow de validation structuré** : implémenter un circuit clair entre administrateurs, opérateurs et managers
- **Dimension géospatiale** : intégrer une carte interactive (SIG) pour la gestion et la visualisation spatiale des actifs
- **Traçabilité et conformité** : garantir l'historisation complète de toutes les actions et décisions

1.4.3 Solution proposée

Pour répondre à cette problématique, nous avons développé une **application web SIG** qui digitalise le processus complet d'inspection des actifs portuaires.

Fonctionnalités principales :

- Organisation hiérarchique des actifs (Famille → Groupe → Actif)
- Workflow d'inspection en trois étapes : planification, exécution, validation
- Carte interactive pour visualiser les actifs et leurs états
- Historique complet des inspections pour la traçabilité

1.5 Méthodologie de travail

1.5.1 Approche méthodologique

Le projet a été mené selon une approche itérative et incrémentale, permettant une progression structurée et une validation régulière des livrables avec l'encadrant professionnel.

1.5.2 Phases du projet

Le développement s'est articulé autour de cinq phases successives :

1. **Analyse et conception** : étude des besoins fonctionnels, modélisation UML et définition de l'architecture système
2. **Développement de l'infrastructure** : mise en place de l'environnement technique (base de données, API, authentification)

3. **Implémentation des fonctionnalités principales** : gestion des actifs, workflow d’inspection et modules métier
4. **Intégration SIG** : développement de la cartographie interactive
5. **Tests et validation** : vérification de la conformité aux besoins exprimés

Le diagramme de Gantt ci-dessous présente la répartition temporelle des différentes phases du projet

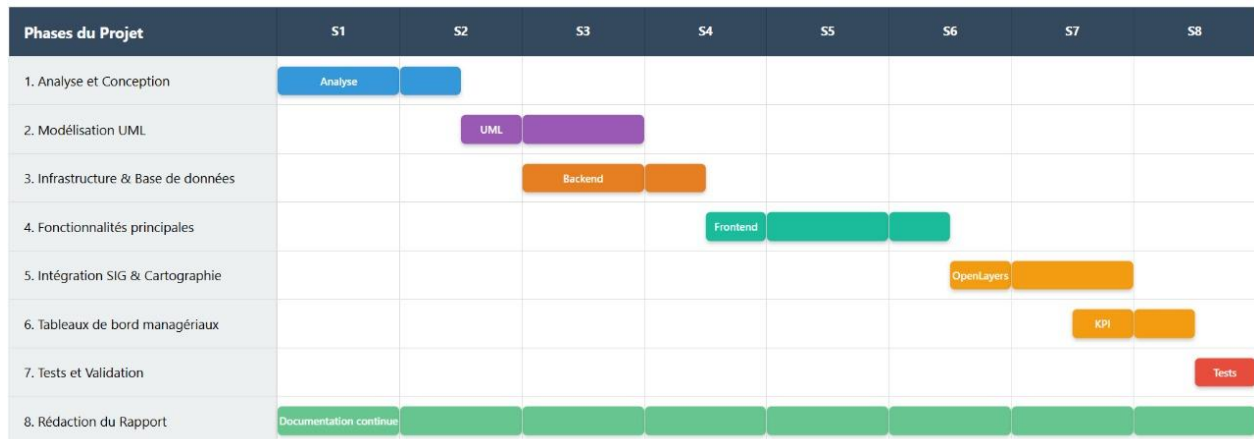


FIGURE 1.4 – Diagramme de Gantt du projet

1.6 Conclusion

Ce chapitre a présenté le cadre général du projet en décrivant l’organisme d’accueil, son environnement institutionnel et les enjeux liés à la gestion du patrimoine portuaire.

L’analyse du contexte et la formulation de la problématique ont permis de définir les objectifs du projet et la méthodologie adoptée pour son exécution.

Le chapitre suivant portera sur la **modélisation et la conception du système**, en traduisant les besoins identifiés en une architecture logique et fonctionnelle.

Chapitre 2

Modélisation et conception

2.1 Introduction

Ce chapitre présente la modélisation et la conception de l'application web SIG pour la gestion des inspections portuaires. Il traduit les besoins fonctionnels identifiés en modèles conceptuels structurés à l'aide du langage UML (Unified Modeling Language).

2.2 Spécifications du système

2.2.1 Besoins fonctionnels

Le tableau ci-dessous présente les fonctionnalités principales de l'application selon les trois profils utilisateurs :

TABLE 2.1 – Les fonctionnalités de chaque utilisateur

| Profil | Fonctionnalités |
|----------------|--|
| Administrateur | <ul style="list-style-type: none">— Gérer les utilisateurs et leurs rôles— Créer et organiser les actifs avec leur localisation— Planifier les inspections |
| Opérateur | <ul style="list-style-type: none">— Consulter son planning d'inspections— Démarrer et clôturer les inspections— Ajouter commentaires et documents |
| Manager | <ul style="list-style-type: none">— Valider ou rejeter les inspections— Consulter l'historique complet |

Fonctionnalités communes :

- Authentification sécurisée
- Visualisation cartographique des actifs
- Filtrage par état, site et zone

2.2.2 Besoins non fonctionnels

Les besoins non fonctionnels définissent les contraintes techniques, de qualité et de performance que doit respecter le système :

- Authentification par JWT
- Contrôle d'accès basé sur les rôles
- Hachage des mots de passe
- Sauvegarde automatique des données
- Traçabilité des changements d'état des inspections
- Respect des standards cartographiques

2.3 Modélisation UML du système

2.3.1 Diagramme de cas d'utilisation

Afin de représenter les interactions entre les différents acteurs du système et les principales fonctionnalités offertes par l'application, le diagramme de cas d'utilisation ci-dessous illustre la vue fonctionnelle globale de la solution SIG de gestion des inspections portuaires.

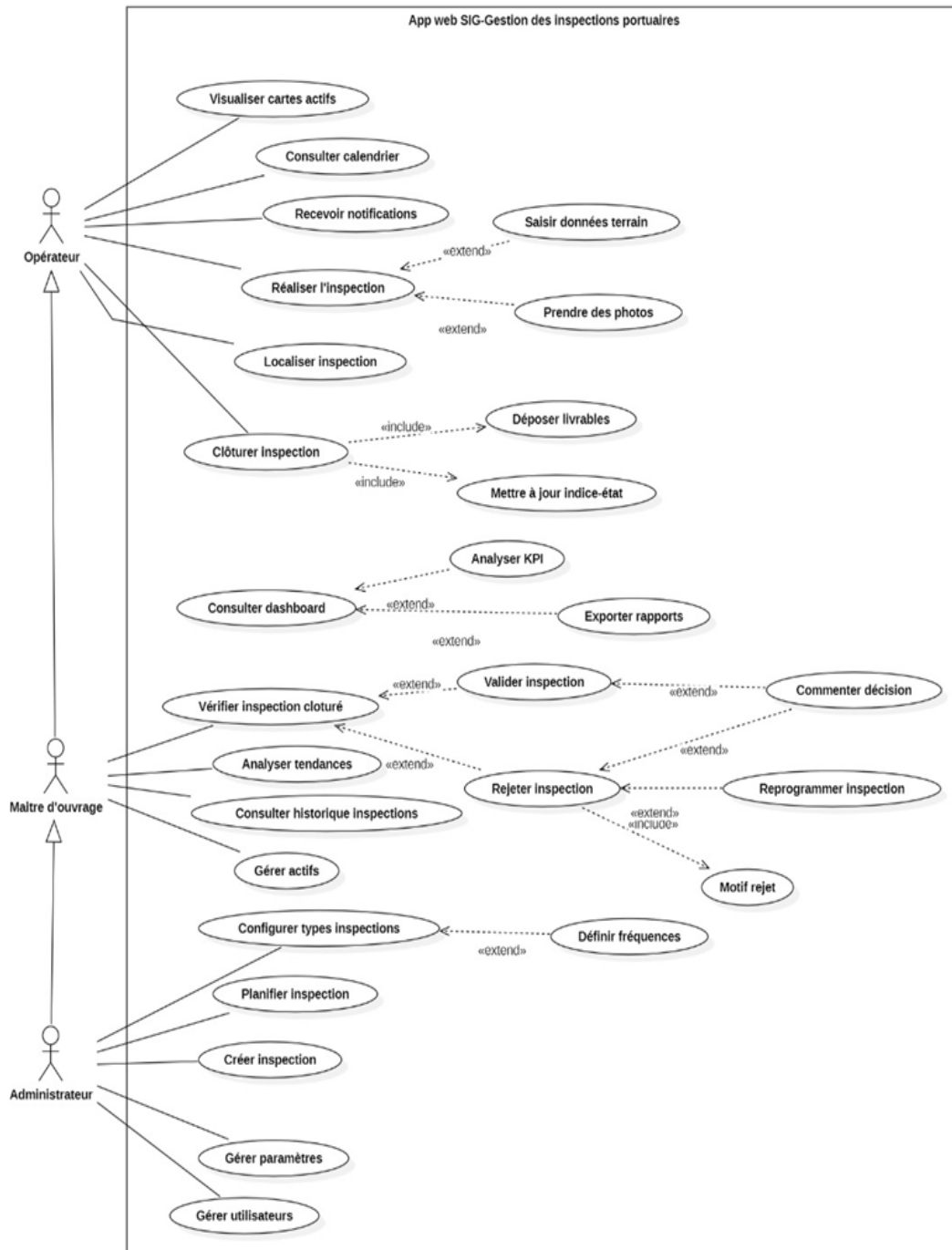


FIGURE 2.1 – Diagramme de cas d'utilisation du système d'inspection portuaire

2.3.2 Structure hiérarchique des actifs

Les actifs portuaires sont organisés selon une hiérarchie à trois niveaux :

- **Famille** : Catégorie générale
- **Groupe** : Sous-catégorie technique
- **Actif** : Équipement individuel géolocalisé

2.3.3 Diagramme de classes

Le diagramme de classes suivant présente la structure logique du système d'information. Il décrit les principales entités manipulées par l'application (Famille, Groupe, Actif, Inspection etc.) ainsi que leurs relations. Ce modèle orienté objet a servi de base à la conception de la base de données et au développement backend.

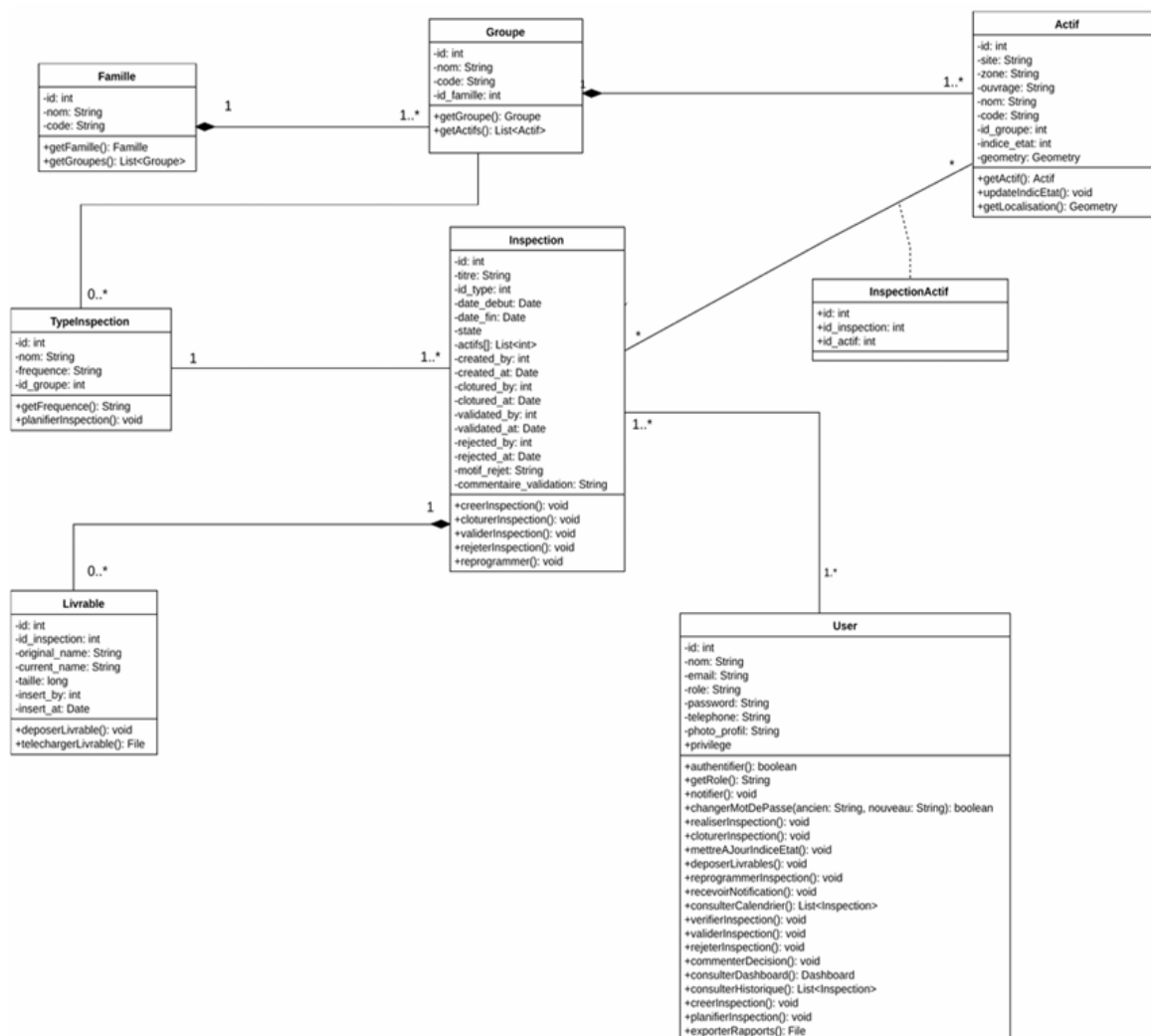


FIGURE 2.2 – Diagramme de classes de l'application SIG d'inspection portuaire

2.3.4 Diagramme d'activité

Le diagramme d'activité ci-dessous détaille le workflow complet d'une inspection portuaire, depuis sa création par l'administrateur jusqu'à sa validation par le manager. Il illustre la séquence des actions réalisées par chaque acteur (Administrateur, Opérateur, Manager) et met en évidence les transitions d'état du processus d'inspection.

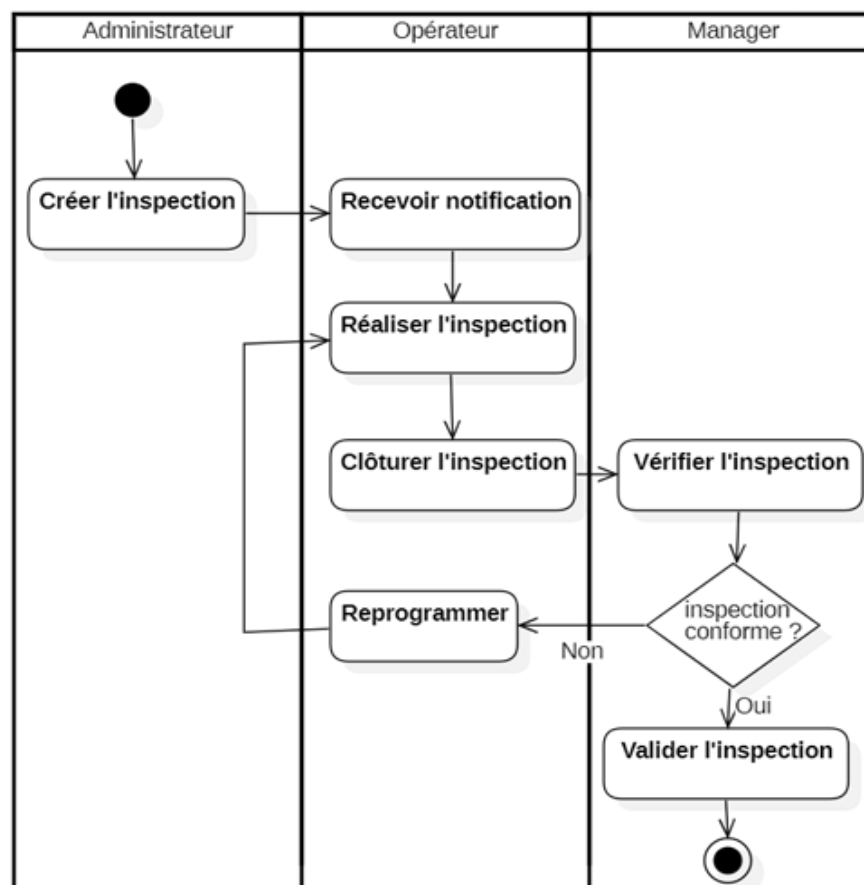


FIGURE 2.3 – Diagramme d'activité du workflow

2.4 Intégration SIG

L'intégration SIG permet la gestion géographique des actifs via **PostgreSQL/PostGIS**. Trois types de géométries sont utilisés : **Point** (caméras, bornes), **Ligne** (routes, quais), **Polygone** (entrepôts, zones). Les coordonnées sont en **EPSG :26191** et reprojetées en **WGS84** pour l'affichage.

Fonctionnalités :

- Carte interactive OpenLayers
- Filtrage spatial
- Zoom automatique
- Symbologie dynamique selon l'état des actifs

2.5 Conclusion

Cette modélisation définit l'architecture conceptuelle du système via les diagrammes UML et l'intégration SIG. Cette conception prépare la phase d'implémentation présentée au chapitre suivant.

Cette conception UML a permis de clarifier les interactions et de préparer efficacement la phase d'implémentation technique.

Chapitre 3

Implémentation et développement technique

3.1 Introduction

Ce chapitre détaille la phase de réalisation technique de l'application. Il présente l'architecture logicielle retenue, les choix technologiques et les aspects clés du développement backend (NestJS) et frontend (Angular), transformant les modèles conceptuels en une solution fonctionnelle.

3.2 Architecture et environnement de développement

3.2.1 Architecture logicielle

L'application repose sur une architecture 3-tiers moderne garantissant modularité et évolutivité :

- **Couche Présentation (Frontend)** : Développée avec Angular 18+, elle constitue l'interface utilisateur responsable de l'affichage, de l'expérience utilisateur et de la composante cartographique (OpenLayers).
- **Couche Métier (Backend)** : Construite avec NestJS, elle expose une API RESTful sécurisée gérant la logique métier, les autorisations (JWT, Guards) et la communication avec la base de données via TypeORM.
- **Couche Données** : Gérée par PostgreSQL 15+ avec PostGIS 3+, elle assure la persistance et l'intégrité des données attributaires et géospatiales.



FIGURE 3.1 – Logo du framework Angular



FIGURE 3.2 – Logo du framework NestJS



FIGURE 3.3 – Logo de l'extension spatiale PostGIS

3.2.2 Outils et environnement

Outils principaux : Visual Studio Code (IDE), Git/GitHub (versioning), Node.js v20+ (serveur), npm (dépendances), Swagger (documentation API).

3.3 Développement du backend (NestJS)

Le backend a été structuré en modules logiques pour une organisation claire et une bonne séparation des préoccupations, facilitant ainsi la maintenance et les tests.

3.3.1 Structure et sécurité de l'API

Le backend est structuré en modules logiques (utilisateurs, actifs, inspections, livrables) pour une organisation claire. Chaque fonctionnalité est exposée via des contrôleurs définissant les routes REST.

Sécurité : L'accès aux routes est protégé par deux mécanismes :

- **JwtAuthGuard** : vérifie la validité du token JWT dans chaque requête
- **RolesGuard** : contrôle que l'utilisateur possède le rôle requis (Administrateur, Opérateur, Manager)

3.3.2 Gestion des données

TypeORM traduit le diagramme de classes UML en entités TypeScript. Chaque classe correspond à une table avec décorateurs définissant les relations (OneToMany, ManyToMany), clés étrangères et contraintes. Cette approche assure la cohérence entre modèle conceptuel et physique.

Données géospatiales : L'endpoint GET /actifs/geojson utilise la fonction PostGIS ST_AsGeoJSON() pour convertir les géométries stockées au format GeoJSON, nativement compatible avec OpenLayers.

Gestion des fichiers : La bibliothèque **Multer** traite les uploads via POST /livrables/upload/:inspectionId, avec validation du type/taille, attribution de noms uniques et enregistrement des métadonnées (traçabilité complète).

3.4 Développement du frontend (Angular)

3.4.1 Structure et communication API

L'application frontend est une **SPA (Single-Page Application)** structurée en composants réutilisables (tableaux de bord, cartes, formulaires). Les services Angular (ex : ActifsService, InspectionsService) encapsulent les appels HTTP vers l'API backend, centralisant la logique de communication.

3.4.2 Intégration de la cartographie (SIG) avec OpenLayers

La visualisation géospatiale est gérée par le composant ActifsMapComponent utilisant OpenLayers :

Initialisation : La carte est centrée sur la zone portuaire avec fonds OSM et satellite. Les données GeoJSON issues de GET /actifs/geojson sont ajoutées à une couche vectorielle avec reprojection automatique (EPSG :26191 → EPSG :4326 → EPSG :3857).

Interactivité :

- **Popup contextuelle** : affiche les détails d'un actif au clic
- **Navigation** : zoom, recentrage, déplacement fluides
- **Filtres** : affichage conditionnel par zone, état ou type
- **Symbologie dynamique** : couleurs selon l'état (vert=bon, orange=moyen, rouge=mauvais)

Cette intégration transforme la carte en outil décisionnel pour analyser la répartition spatiale des actifs et optimiser la planification des inspections.

3.5 Conclusion

La phase d'implémentation a permis de concrétiser la conception architecturale en une application web fonctionnelle. Côté backend, l'utilisation de NestJS et TypeORM a fourni un cadre de travail structuré et robuste pour développer une API RESTful sécurisée et performante. Côté frontend, Angular et OpenLayers ont permis de construire une interface utilisateur riche et réactive, dont la pièce maîtresse est une carte SIG interactive et intuitive. Le chapitre suivant présentera les résultats obtenus à travers cette application, en montrant des exemples concrets des interfaces développées pour chaque acteur du workflow d'inspection.

Chapitre 4

Résultats et Interfaces

Introduction

Ce chapitre présente les résultats obtenus à la suite du développement de l'application web SIG dédiée à la gestion des inspections des actifs portuaires de Tanger Med. Il illustre la concrétisation des spécifications fonctionnelles et techniques décrites dans les chapitres précédents, à travers les interfaces développées pour les différents profils d'utilisateurs : *Administrateur*, *Opérateur* et *Maître d'Ouvrage* (Manager).

4.1 Interface d'Authentification

L'interface d'authentification constitue la porte d'entrée de l'application. Elle assure un accès sécurisé grâce à une vérification des identifiants et à une authentification basée sur un jeton JWT (JSON Web Token), garantissant la confidentialité des connexions et la traçabilité des sessions. Selon le rôle de l'utilisateur (administrateur, opérateur ou maître d'ouvrage), la redirection s'effectue automatiquement vers l'espace correspondant.

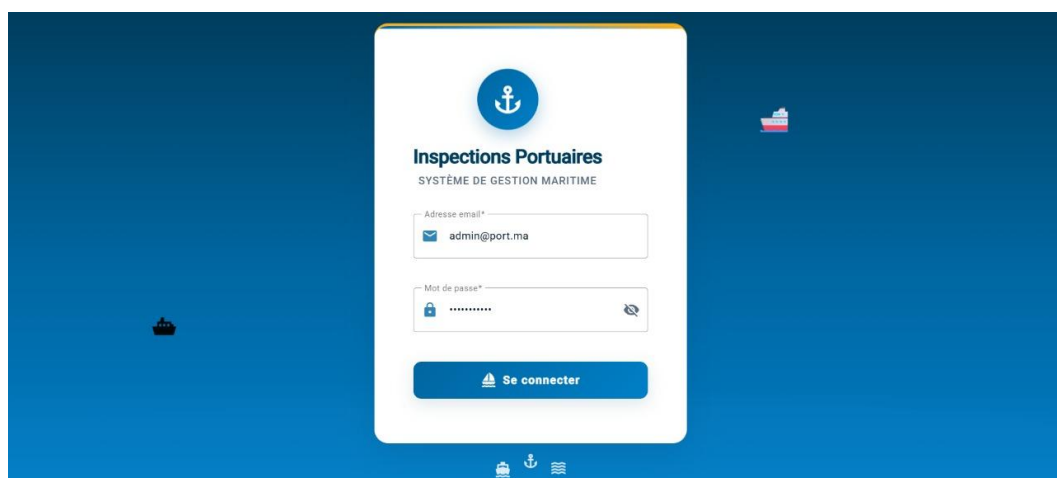


FIGURE 4.1 – Page de connexion de l'application web SIG

4.2 Interface Administrateur

L'administrateur dispose d'un ensemble complet de modules permettant la configuration du système, la gestion des utilisateurs, des actifs et des inspections.

4.2.1 Tableau de bord administrateur

Cette interface présente une vue synthétique des indicateurs clés : nombre total d'utilisateurs, d'actifs enregistrés, et d'inspections en cours. Elle offre également un accès direct aux différents modules de gestion via une navigation rapide et hiérarchisée.

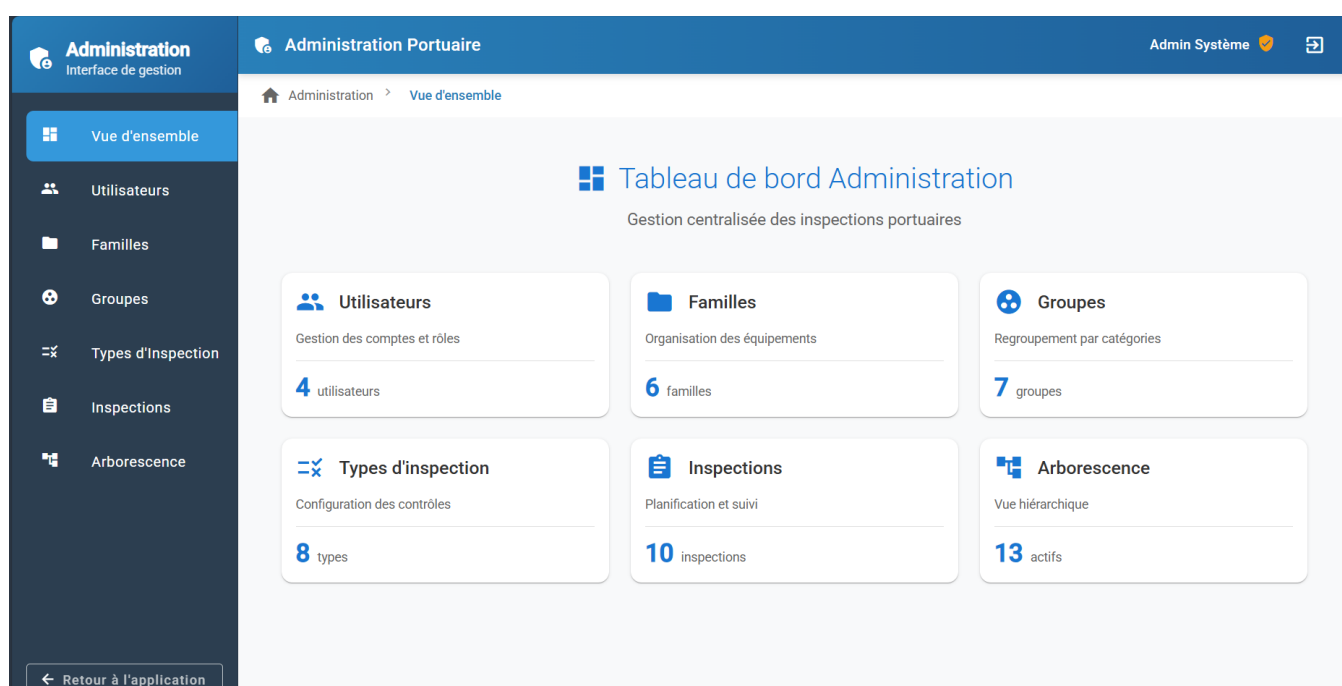


FIGURE 4.2 – Tableau de bord Administrateur

4.2.2 Gestion des utilisateurs

Le module de gestion des utilisateurs permet la création, la modification et la suppression des comptes selon le rôle attribué. Chaque utilisateur est identifié par son nom, son adresse électronique, son numéro de téléphone et son rôle dans le système. La distinction visuelle des profils facilite l'administration et le contrôle des accès.

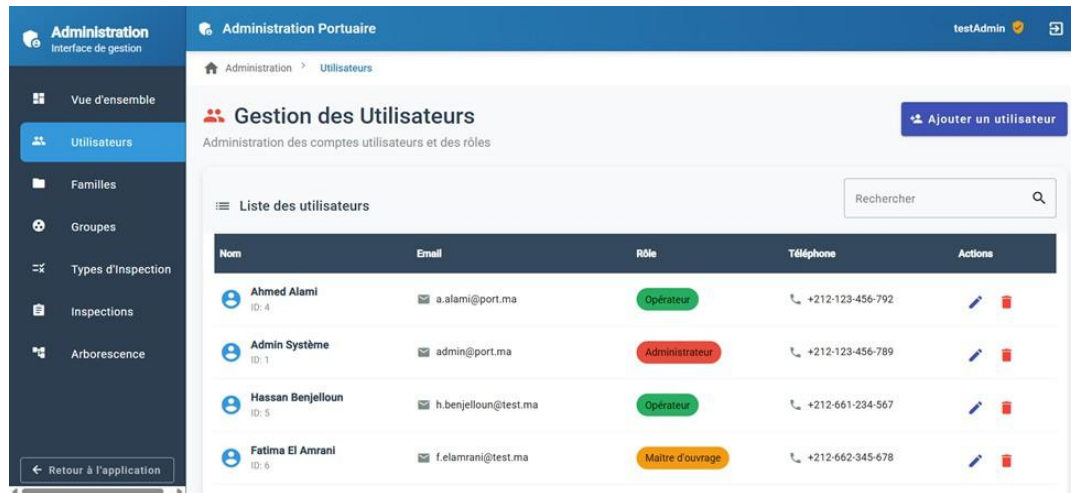


FIGURE 4.3 – Interface de gestion des utilisateurs

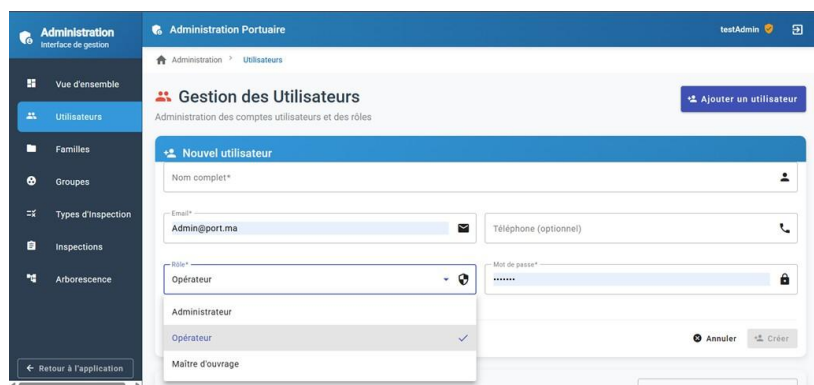


FIGURE 4.4 – Formulaire de création d'un utilisateur

4.2.3 Gestion hiérarchique des actifs

Le système repose sur une hiérarchie à trois niveaux (*Famille* → *Groupe* → *Actif*), permettant une organisation structurée du patrimoine portuaire.

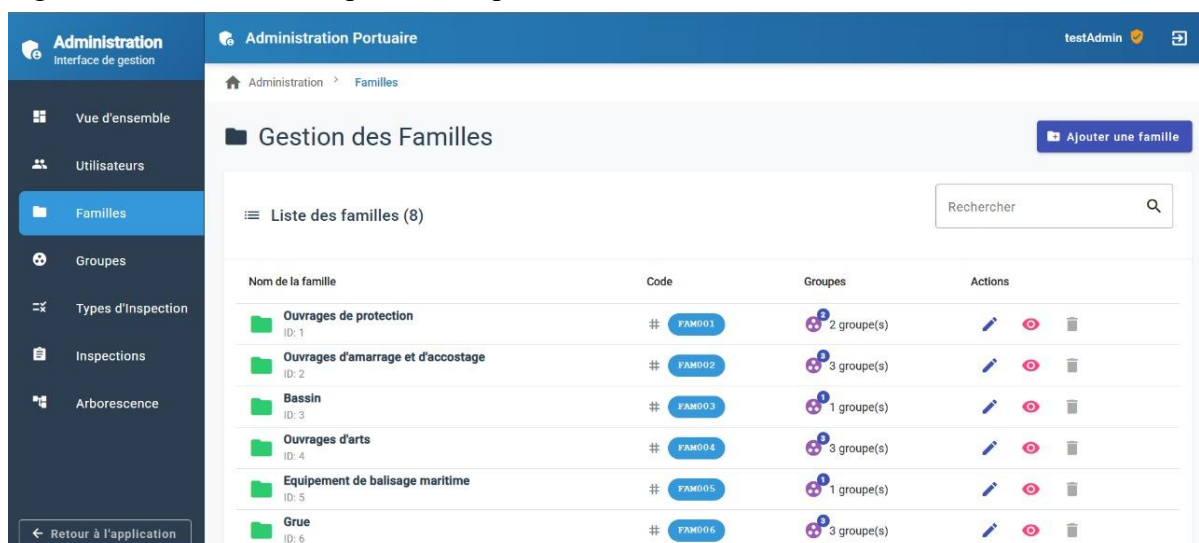


FIGURE 4.5 – Interface de gestion des familles d'actifs

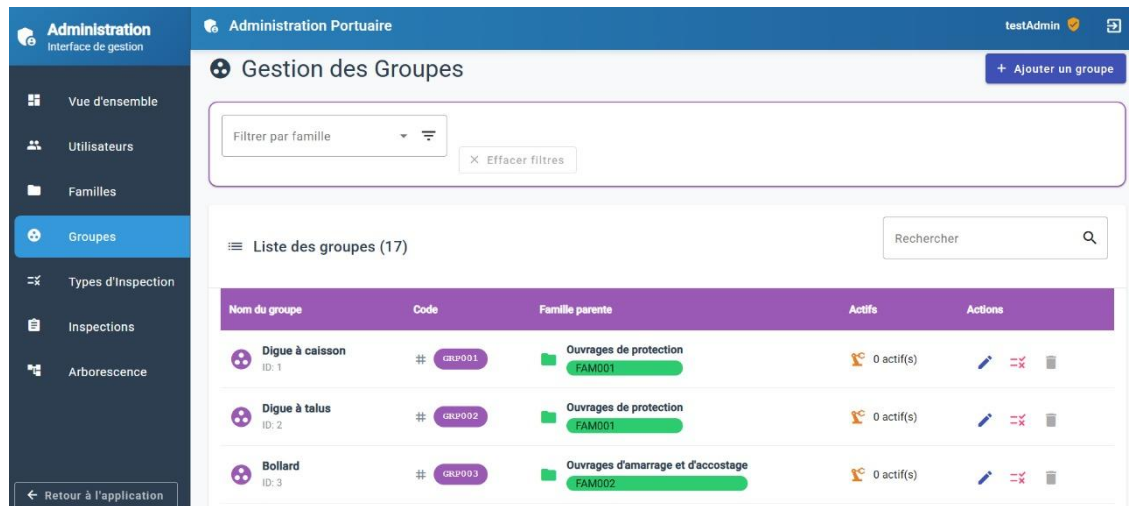


FIGURE 4.6 – Interface de gestion des groupes d’actifs avec filtrage

4.2.4 Configuration des inspections

L’administrateur définit les types d’inspection (préventive, corrective, sécurité, qualité, etc.) ainsi que leurs paramètres de planification. Des filtres multicritères facilitent la recherche et la visualisation des campagnes existantes selon la famille d’actifs, la fréquence ou le site portuaire.

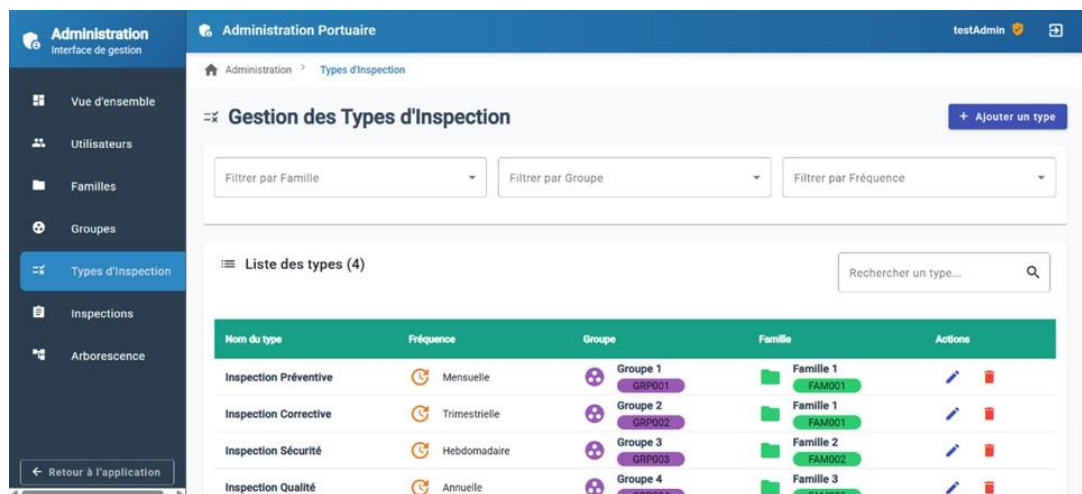


FIGURE 4.7 – Interface de gestion des types d’inspection

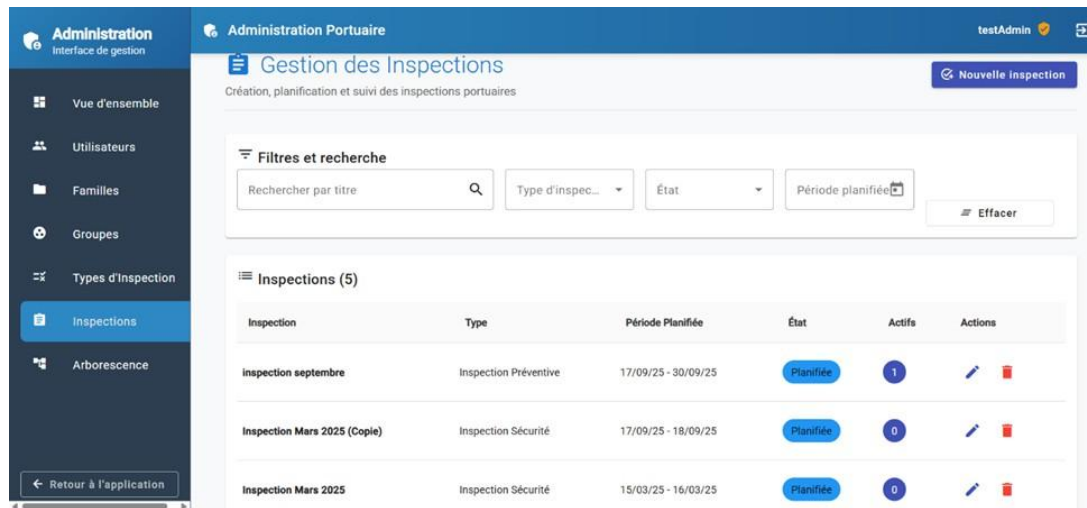


FIGURE 4.8 – Interface principale de gestion des inspections

4.3 Interface principale d'utilisation

Cette interface constitue le point d'accès général pour tous les utilisateurs. Elle présente une vue d'ensemble des inspections planifiées, en cours, clôturées et validées. Le tableau de bord offre également des indicateurs de performance tels que le taux de validation et les échéances à venir.

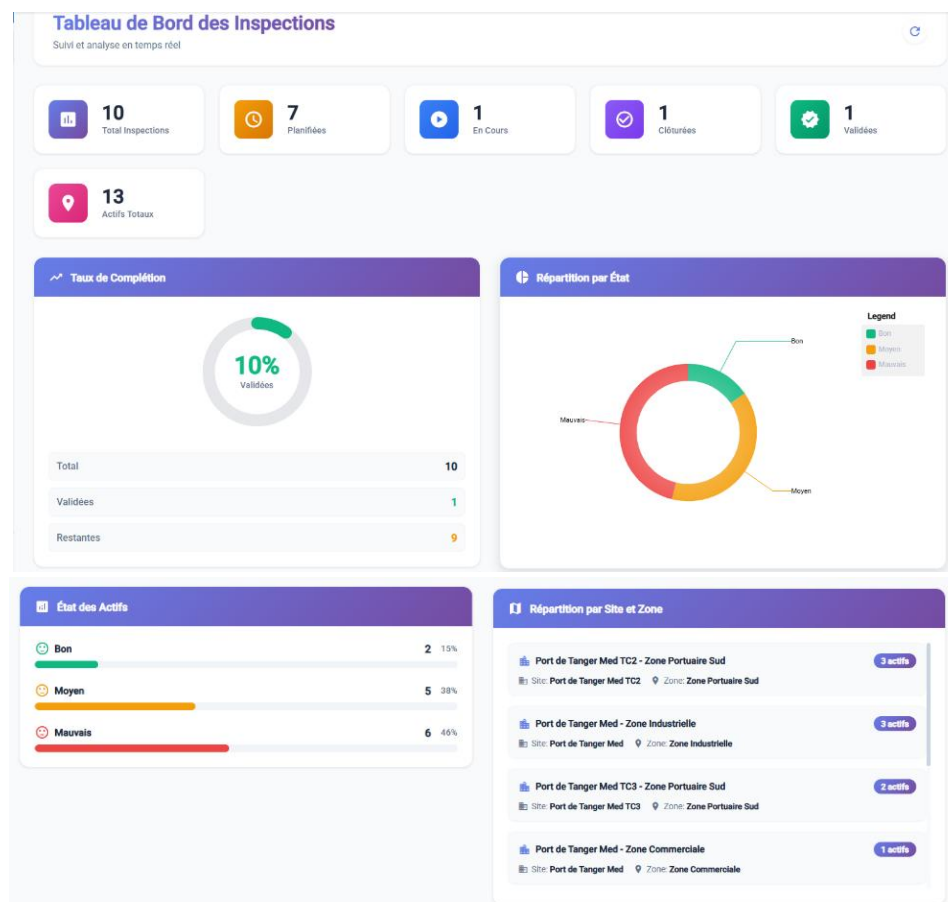


FIGURE 4.10 – Vue d'ensemble du tableau de bord principal

4.3.1 Gestion des actifs portuaires

Les actifs portuaires sont visualisés sous forme tabulaire, accompagnée d'actions rapides telles que la consultation, la modification ou la localisation sur la carte SIG. Chaque actif comporte les attributs essentiels : code unique, site, zone et état de maintenance.

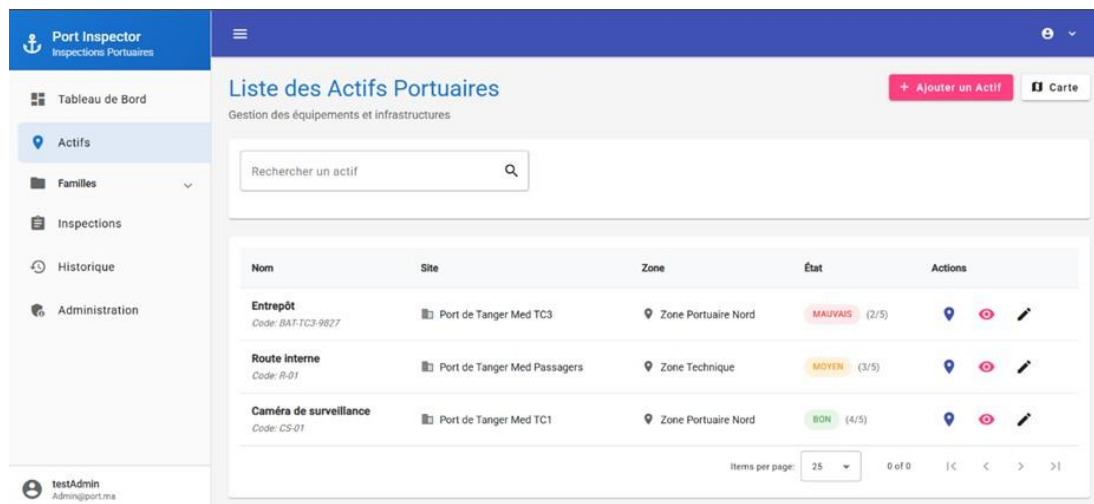


FIGURE 4.11 – Interface de gestion des actifs portuaires

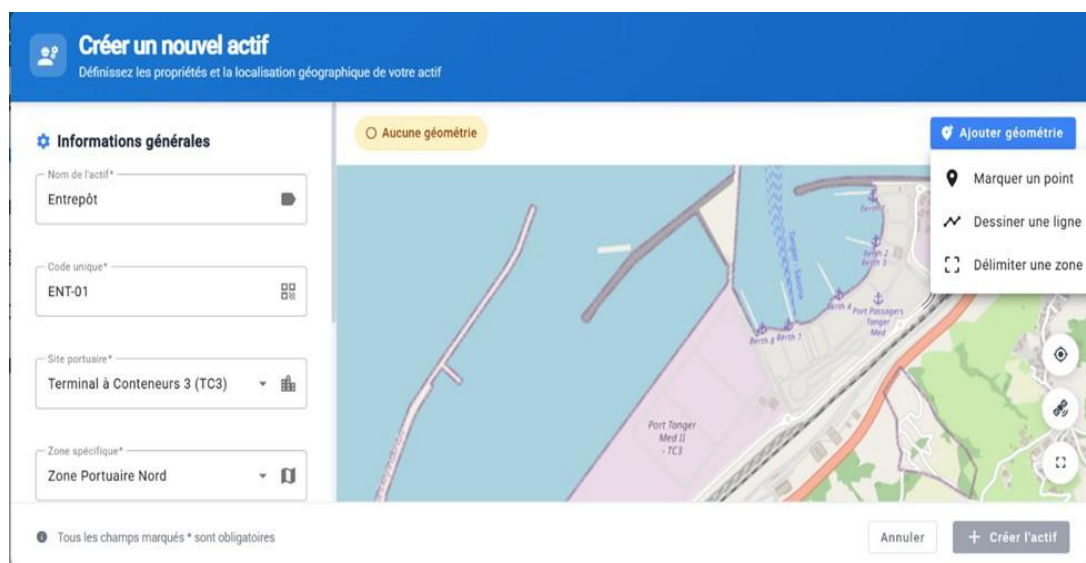


FIGURE 4.12 – Interface de création d'un actif portuaire



FIGURE 4.13 – Visualisation cartographique d'un actif sur la carte OpenStreetMap

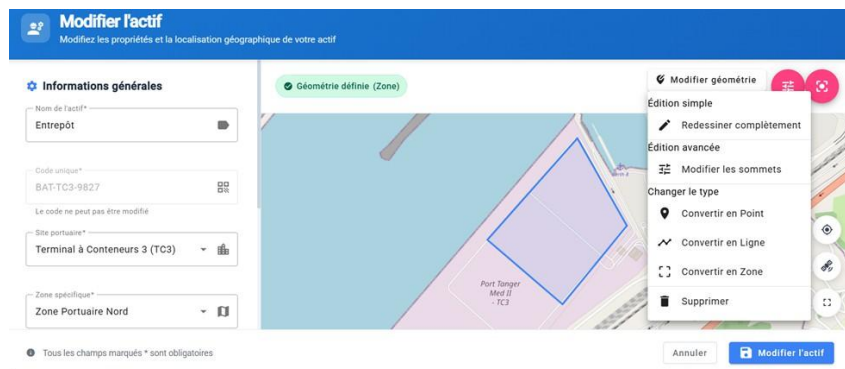


FIGURE 4.14 – Interface de modification d'un actif portuaire

4.3.2 Cartographie globale

La carte SIG, fondée sur OpenStreetMap, permet une visualisation interactive des actifs. L'utilisateur peut alterner entre le mode plan et le mode satellite, appliquer des filtres par état ou par site portuaire, et naviguer dans la hiérarchie des actifs.

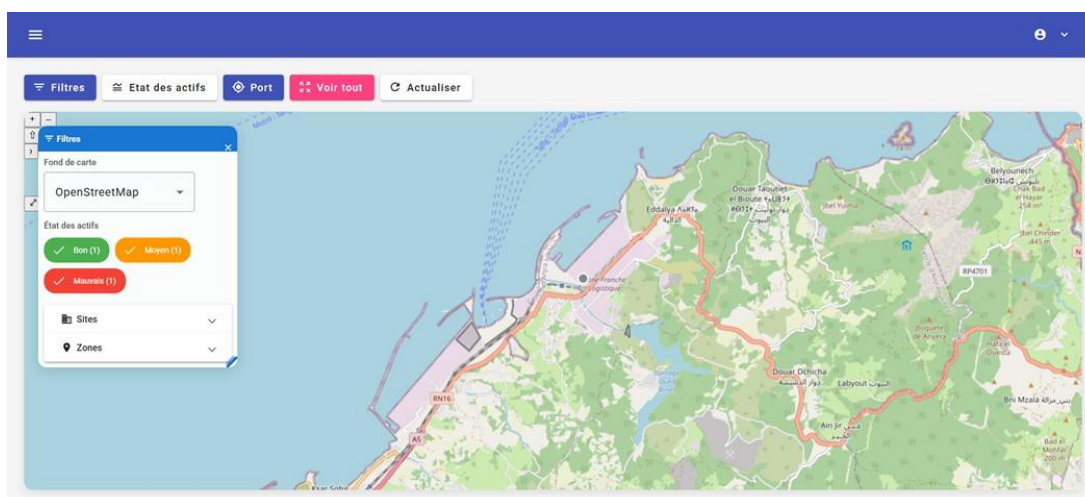


FIGURE 4.15 – Vue initiale de la carte OpenStreetMap

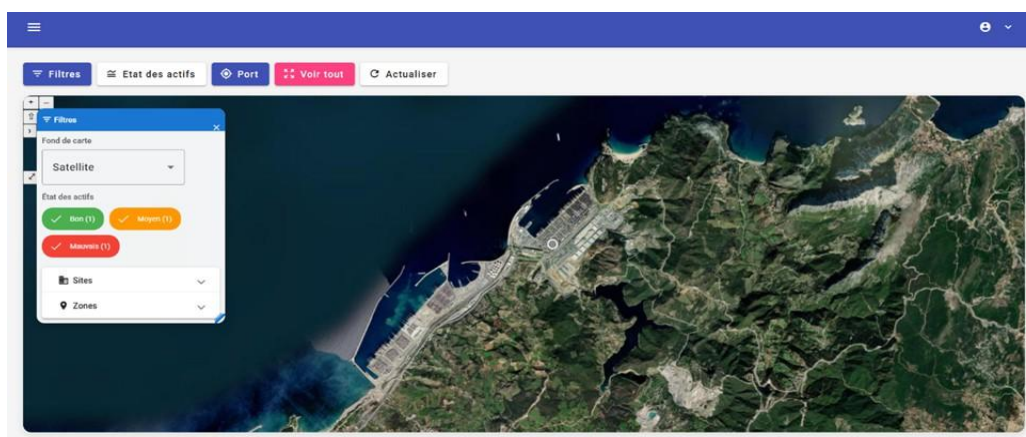


FIGURE 4.16 – Mode satellite de la carte

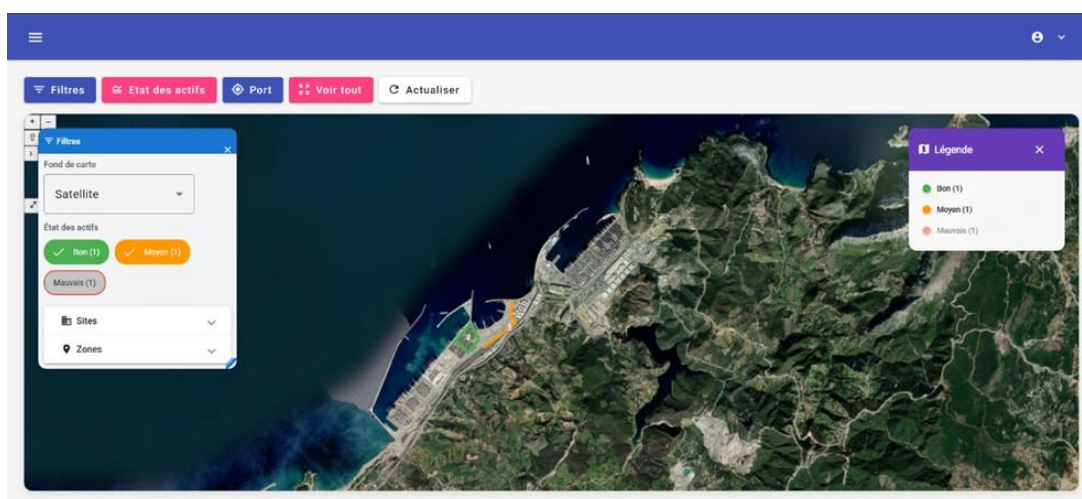


FIGURE 4.17 – Application du filtrage par état des actifs

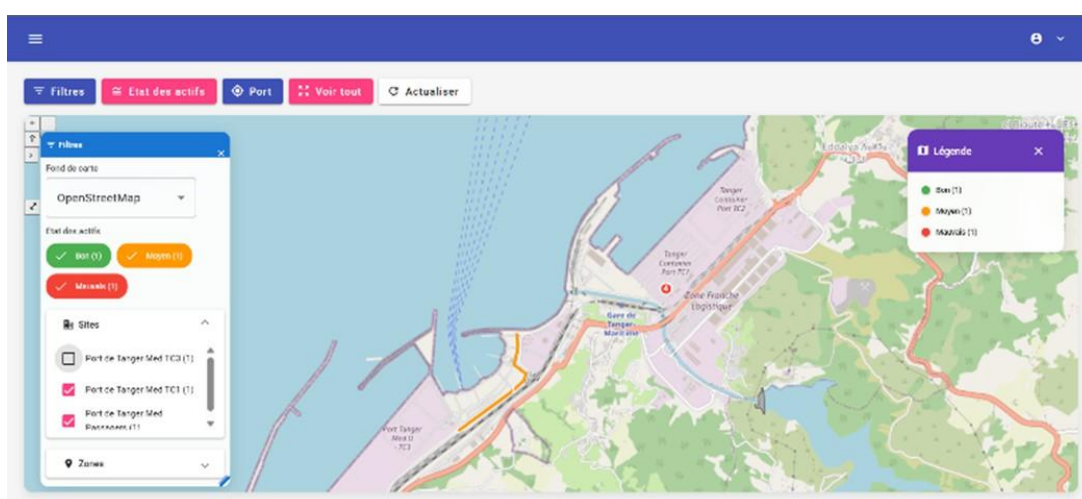


FIGURE 4.18 – Filtrage hiérarchique par site portuaire

4.4 Interface Opérateur

L'interface opérateur est optimisée pour les besoins de terrain. Elle présente un tableau de bord synthétique ainsi que des modules dédiés à la consultation des actifs et à la réalisation des inspections.

4.4.1 Tableau de bord opérateur

Cette interface regroupe les indicateurs relatifs aux inspections attribuées à l'opérateur, leur état d'avancement et leur répartition par état .



FIGURE 4.19 – Tableau de bord opérateur

4.4.2 Consultation et navigation hiérarchique

L'opérateur accède à la liste complète des actifs portuaires et peut naviguer à travers la hiérarchie (*Famille* → *Groupe* → *Actif*) pour consulter les détails de chaque équipement.

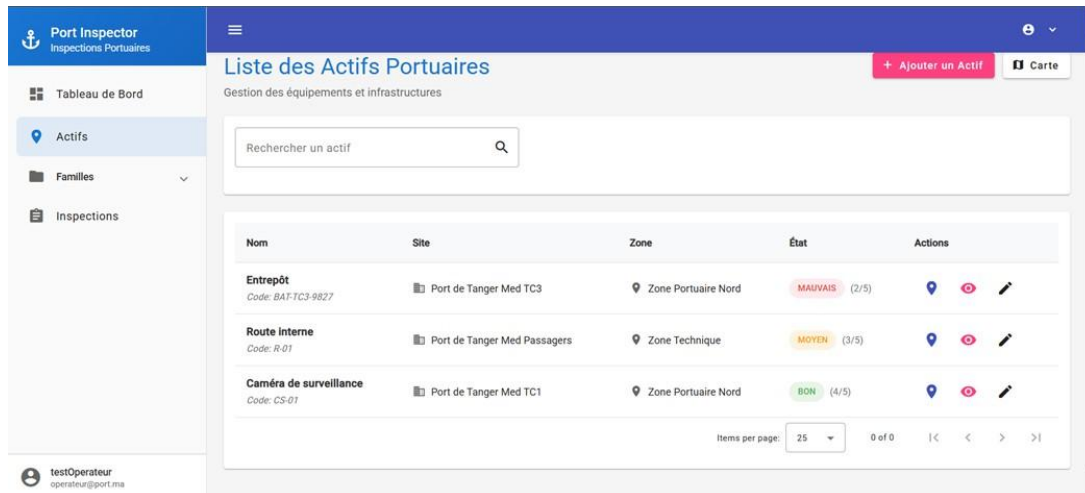


FIGURE 4.20 – Liste des actifs portuaires consultables par l'opérateur

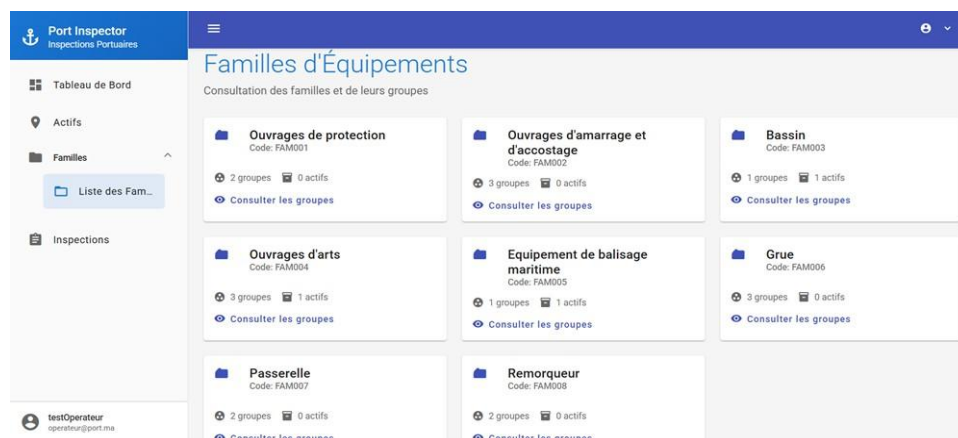


FIGURE 4.21 – Familles d'équipements accessibles à l'opérateur

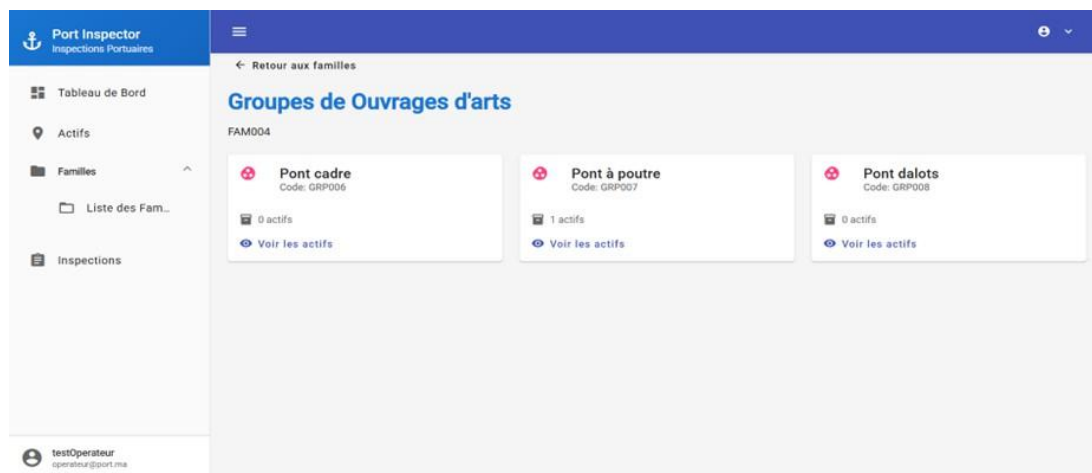


FIGURE 4.22 – Groupes d’ouvrages d’art et navigation vers les actifs

4.4.3 Module des inspections

Le module des inspections permet à l’opérateur de suivre ses missions selon un cycle de vie structuré : planification, exécution et clôture.

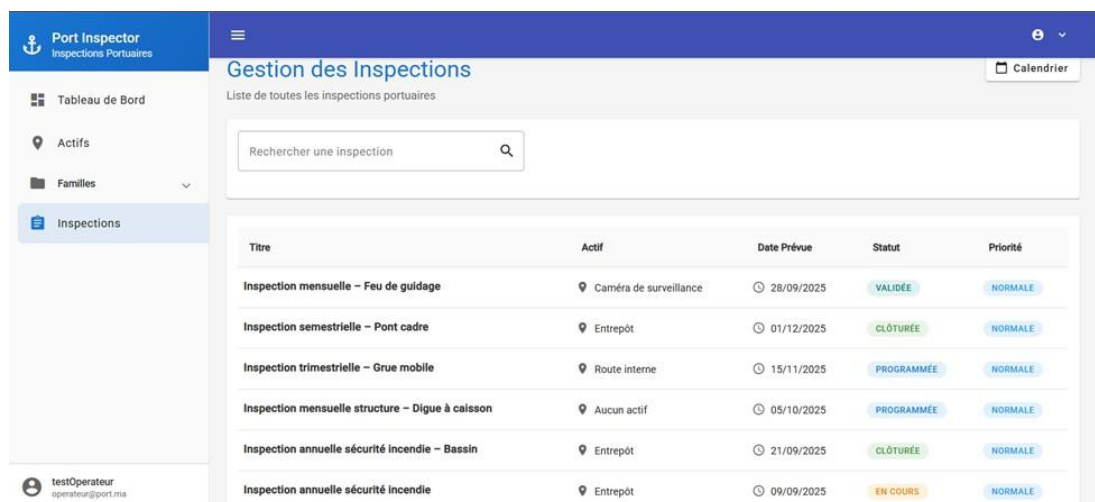


FIGURE 4.23 – Liste des inspections programmées pour l’opérateur

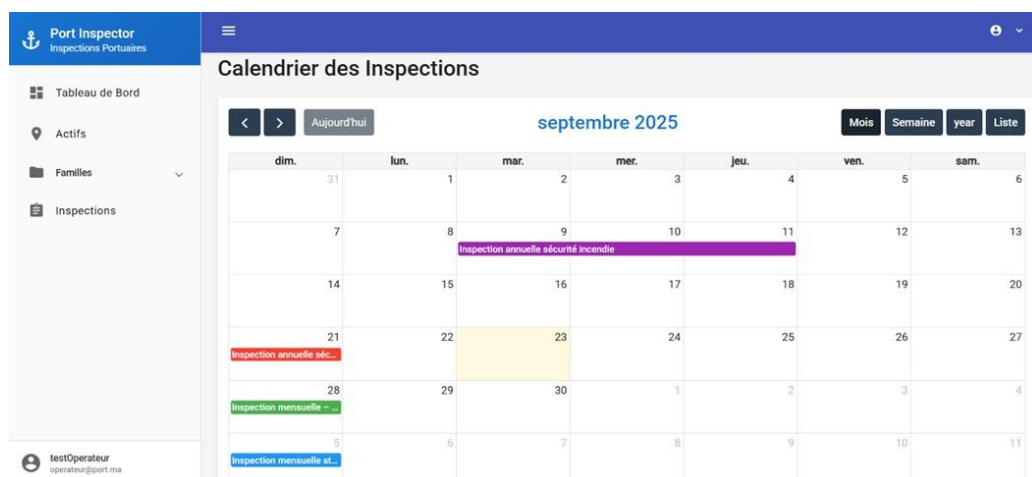


FIGURE 4.24 – Calendrier des inspections programmées

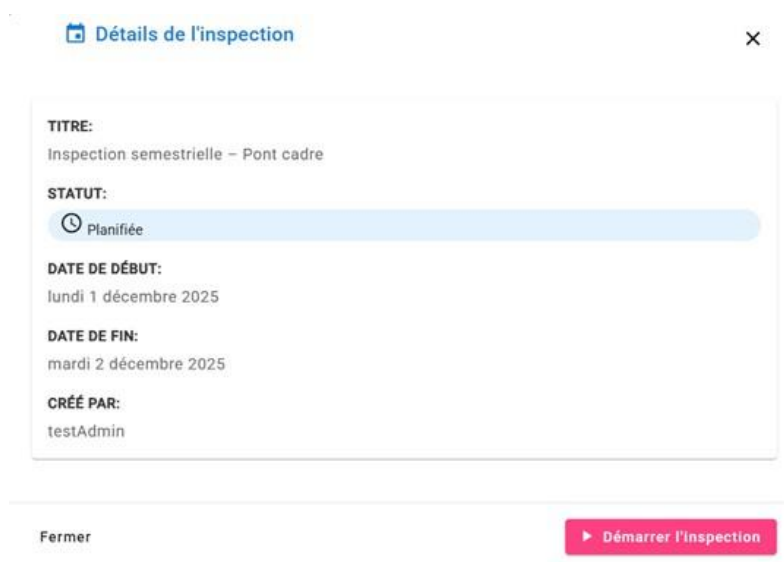


FIGURE 4.25 – Inspection planifiée avant démarrage



FIGURE 4.26 – Inspection en cours, en attente de clôture

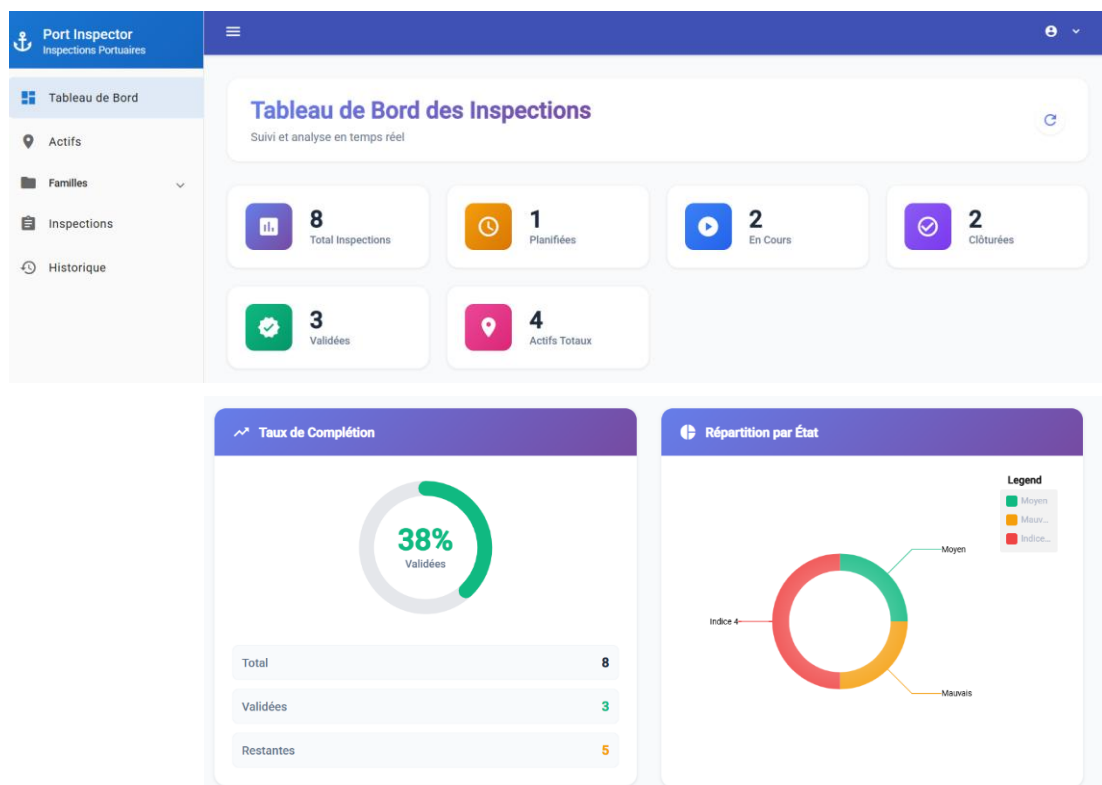
FIGURE 4.27 – Formulaire de clôture d’une inspection portuaire

4.5 Interface Maître d’Ouvrage

Le Maître d’Ouvrage dispose d’une interface intégrée pour le contrôle, la validation et l’analyse des inspections réalisées.

4.5.1 Tableau de bord et validation

Cette interface centralise les inspections clôturées et en attente de validation. Chaque inspection peut être validée, accompagnée d’un commentaire, ou rejetée en cas de non-conformité avec un motif obligatoire.



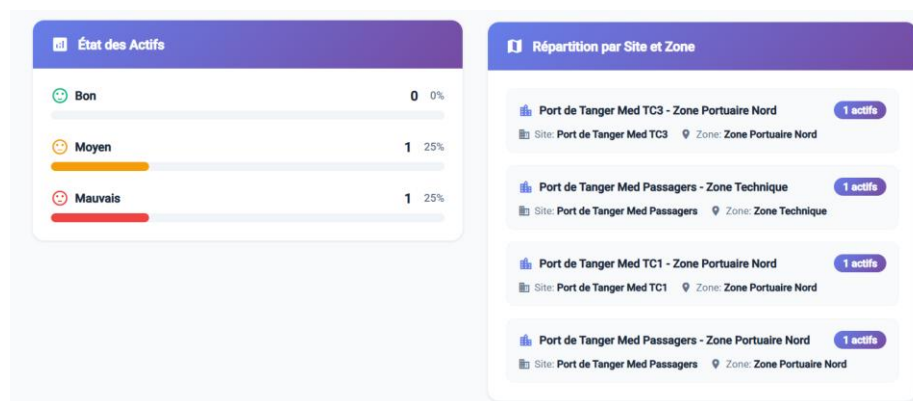


FIGURE 4.28 – Tableau de bord du Maître d'Ouvrage

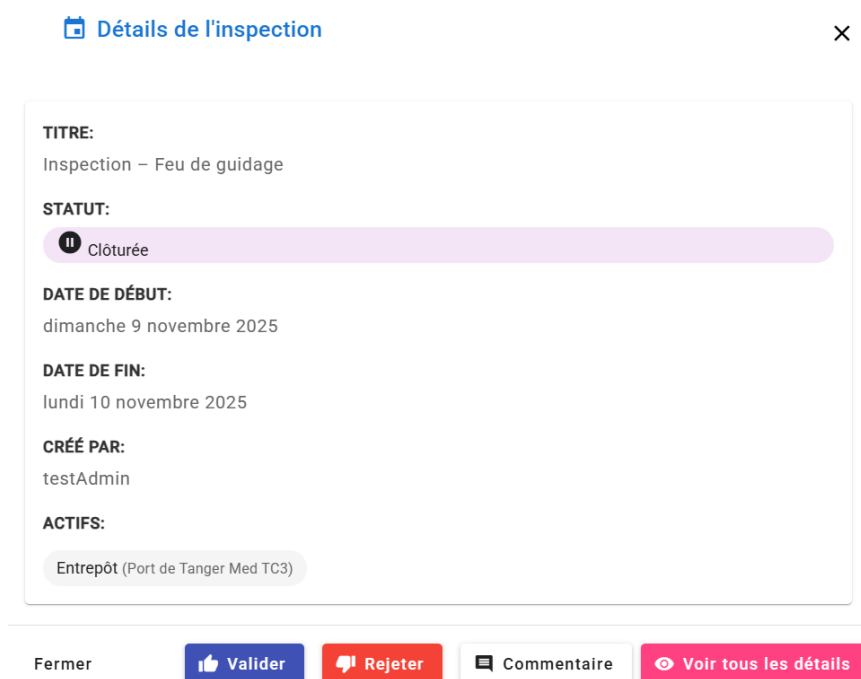



FIGURE 4.29 –Détails de l'inspection

 Valider l'inspection


Inspection:
Inspection – Feu de guidage

Statut actuel:
Clôturée

Clôturée par:
Le 09/11/2025 00:47

Confirmation de validation

Commentaire de validation (optionnel)

 La validation marquera cette inspection comme terminée avec succès.

Résumé de l'action

Action:

Validation de l'inspection

Utilisateur:

maitre_ouvrage

Date/Heure:

09/11/2025 12:20

Nouveau statut:

Validée

Annuler


 Valider l'inspection

FIGURE 4.30 – Validation d’une inspection par le Maître d’Ouvrage

Rejeter l'inspection

X

Inspection:
Inspection – Feu de guidage

Statut actuel:
Clôturée

Clôturée par:
Le 09/11/2025 00:47

Motif de rejet

Motif de rejet **

Résumé de l'action

Action: Rejet de l'inspection

Utilisateur: maitre_ouvrage

Date/Heure: 09/11/2025 12:23

Nouveau statut: Rejetée

Annuler

Rejeter l'inspection

FIGURE 4.31 – Rejet d’une inspection clôturée avec motif obligatoire

4.5.2 Historique et traçabilité

Le module d'historique regroupe l'ensemble des événements associés au cycle de vie des inspections : création, démarrage, clôture, validation ou rejet. Chaque action est datée, identifiée et assortie d'un commentaire, garantissant une traçabilité complète des opérations.

| Date | Intervenant | Inspection | Ancien État | Nouvel État | Commentaire | Actions |
|------------------|---|--|-------------|-------------|---|---------|
| 25/09/2025 16:38 | testMaitreOuvrage maitredouvrage@port.ma | Inspection semestrielle – Pont cadre #5 | CLOTURÉE | VALIDÉE | Inspection vérifiée | [Icons] |
| 25/09/2025 06:56 | testOperateur operateur@port.ma | Inspection semestrielle – Pont cadre #5 | EN COURS | CLOTURÉE | Contrôle terminé, fonctionnement normal de l'équip... | [Icons] |
| 25/09/2025 06:44 | testOperateur operateur@port.ma | Inspection semestrielle – Pont cadre #5 | PROGRAMMÉE | EN COURS | Inspection démarrée par l'opérateur | [Icons] |
| 23/09/2025 16:19 | testAdmin Admin@port.ma | Inspection mensuelle – Feu de guidage #6 | CLOTURÉE | VALIDÉE | Inspection validée par le maitre d'ouvrage | [Icons] |
| 23/09/2025 16:19 | testAdmin Admin@port.ma | Inspection mensuelle – Feu de guidage #6 | EN COURS | CLOTURÉE | Inspection clôturée par l'opérateur | [Icons] |
| 23/09/2025 16:19 | testAdmin Admin@port.ma | Inspection mensuelle – Feu de guidage #6 | PROGRAMMÉE | EN COURS | Inspection démarrée par l'opérateur | [Icons] |

Inspection annuelle

FIGURE 4.32 – Historique complet des logs des inspections

| Date | État Ancien | État Nouveau | Intervenant | Commentaire |
|------------------|-------------|--------------|-------------------|--|
| 25/09/2025 16:38 | cloturee | validee | testMaitreOuvrage | Inspection vérifiée |
| 25/09/2025 06:56 | en_cours | cloturee | testOperateur | Contrôle terminé, fonctionnement normal de l'équipement. |
| 25/09/2025 06:44 | programmee | en_cours | testOperateur | |

FIGURE 4.33– Historique détaillé d'une inspection – Chronologie complète des transitions

Conclusion

Le développement de l'application web SIG a abouti à une plateforme opérationnelle, intuitive et conforme aux exigences initiales. Les interfaces élaborées traduisent fidèlement les besoins fonctionnels et offrent une gestion centralisée, automatisée et traçable du processus d'inspection. Grâce à la cartographie interactive, aux tableaux de bord analytiques et aux rôles clairement définis, la solution permet une coordination efficace entre les acteurs impliqués dans la maintenance des actifs portuaires de Tanger Med.

Chapitre 5

Conclusion Générale et Perspectives

Conclusion générale

Le présent projet de fin d'année a porté sur la conception et le développement d'une application web SIG dédiée à la gestion des inspections des actifs portuaires de Tanger Med. L'objectif principal était de concevoir une solution technologique moderne permettant de centraliser les données, d'automatiser le workflow d'inspection et d'assurer une traçabilité complète des opérations de maintenance.

Le développement de la plateforme s'est appuyé sur une architecture à trois couches, reposant sur **Angular** pour la partie frontend, **NestJS** pour le backend, et **PostgreSQL/PostGIS** pour la gestion des données relationnelles et spatiales. Cette combinaison technologique a permis d'obtenir une application performante, évolutive et parfaitement adaptée à la gestion d'actifs géoréférencés dans un environnement portuaire complexe.

Les principales contributions de ce projet peuvent être résumées comme suit :

- La **digitalisation du processus d'inspection**, en remplaçant les procédures manuelles et fragmentées par un système centralisé et automatisé ;
- La mise en place d'un **workflow collaboratif** clair entre les différents acteurs (administrateur, opérateur et maître d'ouvrage), garantissant la cohérence et la traçabilité de chaque étape du cycle d'inspection ;
- L'intégration d'une **dimension cartographique interactive**, permettant la visualisation, la localisation et la gestion spatiale des actifs à travers une interface SIG intuitive ;
- La création de **tableaux de bord analytiques**, facilitant le pilotage stratégique des opérations et la prise de décision.

Sur le plan personnel et professionnel, ce projet nous a permis d'approfondir nos compétences en développement web full-stack, en intégration de systèmes SIG et en conception d'architectures logicielles distribuées. Il a également constitué une expérience enrichissante dans la gestion de projet, la collaboration en équipe et la mise en œuvre d'une méthodologie de développement agile.

Perspectives d'évolution

Malgré les résultats obtenus, plusieurs pistes d'amélioration peuvent être envisagées afin d'étendre les fonctionnalités de la plateforme et d'en accroître la portée opérationnelle.

Application mobile terrain

Le développement d'une application mobile connectée à la plateforme web constituerait une évolution majeure. Elle permettrait aux opérateurs de réaliser les inspections directement sur le terrain, même en mode hors ligne, avec une synchronisation automatique des données dès le rétablissement de la connexion. Une telle extension renforcerait la mobilité, la réactivité et la continuité du service.

Maintenance prédictive

L'exploitation des données historiques d'inspection ouvre la voie à la maintenance prédictive. En appliquant des modèles d'apprentissage automatique (*Machine Learning*), il serait possible d'anticiper les défaillances probables et d'optimiser la planification des interventions, réduisant ainsi les coûts et les temps d'arrêt.

Renforcement de la dimension SIG

L'ajout d'outils d'analyse spatiale avancée (densité d'incidents, zones à risque, corrélation géographique) permettrait d'enrichir la compréhension du patrimoine portuaire. L'intégration d'images aériennes ou de données issues de drones contribuerait également à une meilleure précision du suivi des infrastructures.

Interopérabilité et intégration

L'interconnexion avec d'autres systèmes de gestion (GMAO, ERP) assurerait une continuité numérique entre les différents processus de maintenance et de gestion du patrimoine. Cette approche garantirait une meilleure cohérence des informations et une vision globale du cycle de vie des actifs.

Tableaux de bord décisionnels dynamiques

La mise en place d'un tableau de bord décisionnel interactif, intégrant des indicateurs de performance (KPI) personnalisables et des visualisations en temps réel, offrirait un outil puissant d'aide à la décision managériale.

Jumeau numérique du port

Enfin, une perspective à long terme serait le développement d'un **jumeau numérique** (*Digital Twin*) du complexe portuaire. Ce modèle 3D dynamique permettrait de représenter virtuellement les infrastructures, d'y intégrer les données d'inspection, les capteurs IoT et les flux d'information en temps réel. Une telle évolution positionnerait la solution dans une approche de gestion intelligente, prédictive et durable des actifs portuaires.

Synthèse

En définitive, ce projet s'inscrit pleinement dans la stratégie de modernisation et de transformation numérique du port Tanger Med. L'application développée constitue une étape significative vers la digitalisation complète des processus de maintenance et d'inspection. Elle représente un socle solide sur lequel pourront s'appuyer de futures évolutions technologiques pour aboutir à une gestion plus intelligente, proactive et durable du patrimoine portuaire.

Bibliographie

- [1] ESRI. Introduction to gis concepts and applications. <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>, 2024.
- [2] GeoJSON Working Group. Geojson specification – format d’échange de donnees geospa-
tiales. <https://geojson.org>, 2024.
- [3] GitHub Developers. Depots open source et ressources techniques – angular, nestjs, open-
layers. <https://github.com>, 2024.
- [4] Open Geospatial Consortium (OGC). Normes geospatiales ouvertes. <https://www.ogc.org>, 2024.
- [5] OpenLayers Project. Openlayers – bibliotheque javascript pour la cartographie interactive.
<https://openlayers.org/en/latest/doc/>, 2024. PostGIS Development Team. Postgis
– extension spatiale de postgresql. <https://postgis.net/documentation>, 2024.
- [6] PostgreSQL Global Development Group. Postgresql – documentation officielle. <https://www.postgresql.org/docs>, 2024.
- [7] Stack Overflow Community. Forum d’aide au developpement web et sig. <https://stackoverflow.com>, 2024.
- [8] Tanger Med Special Agency (TMSA). Presentation de tanger med et de ses infrastructures.
<https://www.tangermed.ma/fr/>, 2024.
- [9] Angular Team. Angular – documentation officielle du framework angular. <https://angular.io/docs>, 2024.
- [10] NestJS Team. Nestjs – documentation officielle du framework backend nestjs. <https://docs.nestjs.com>, 2024.
- [11] TypeORM Team. Typeorm – orm pour typescript et node.js. <https://typeorm.io>, 2024.