



جامعة القاضي عياض  
UNIVERSITÉ CADI AYYAD



## RAPPORT DE PROJET DE FIN D'ÉTUDE

# Application de détection intelligente et suivi d'une éruption volcanique

### Réalisé par :

Bensatra Raihana  
Eddahani Oumaima

### Encadré par :

M. AFILAL Mounir

Membres du jury :  
M. BOUDERBA Saif Islam  
Mme. ALIOUA Nawal

Année Universitaire 2024-2025



## ***Remerciement***

Au terme de ce travail nous tenons tout d'abord à remercier :  
Allah qui nous a accordé le courage la volonté pourachever ce travail et la  
determination pour tenter de réaliser un avenir meilleur.

Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude à l'ensemble de nos professeurs qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce projet. Nous adressons une reconnaissance particulière à notre encadrant, Monsieur AFILAL Mounir, dont les conseils pertinents, la disponibilité, et le suivi méthodique ont été d'un grand soutien tout au long de notre travail. Grâce à son accompagnement, nous avons pu progresser dans une démarche structurée et réfléchie.

Nos reconnaissances vont aussi au corps professoral de la branche de science mathématiques et informatique pour l'attention portée à notre travail, pour le temps qu'ils nous ont consacré et leur aide inestimable permis définitivement d'améliorer la qualité de notre travail.



## **Résumé**

Dans le cadre de notre projet de fin d'études, nous avons développé une application avancée dédiée à la surveillance de l'activité volcanique et au suivi des éruptions, permettant ainsi une meilleure gestion et analyse des phénomènes naturels.

L'application permet de surveiller les volcans en temps réel et de prévoir les éruptions potentielles. Elle assure également un suivi continu des événements volcaniques, offrant ainsi une visibilité actualisée aux utilisateurs. De plus, l'application prend en charge le traitement des alertes après leur déclenchement, permettant une meilleure coordination des interventions. Elle dispose d'une interface intuitive et accessible, facilitant son utilisation par les chercheurs, les équipes d'urgence et les organismes de gestion des catastrophes.

De plus, elle intègre un système d'alerte précoce basé sur le traitement des données issues de sources fiables, telles que les satellites et les capteurs au sol, contribuant ainsi à l'amélioration des stratégies de prévention et de réponse rapide aux risques volcaniques.

# Table des matières

Remerciement .....	1
Résumé .....	2
<b>Introduction générale .....</b>	<b>7</b>
<b>Chapitre 1 : Cadre général du projet.....</b>	<b>8</b>
1. Introduction .....	9
2. Organisme d'accueil : .....	9
2.1 Définition d'une éruption volcanique .....	9
2.2 Les activités associées à la gestion des éruptions volcaniques.....	9
2.3 Les problèmes de la gestion d'une éruption volcanique .....	10
2.4 les techniques de détection des volcans.....	10
2.5 Les types de volcans .....	11
2.6 Relation entre les types de volcans et les stratégies de gestion des risques .....	12
3. Une application web : .....	12
4. Objectif du projet :.....	13
5.Les fonctionnalités clés de l'application incluront : .....	13
6. Conclusion .....	13
<b>Chapitre 2 : Analyse et spécification des besoins.....</b>	<b>14</b>
1. Introduction .....	15
2. Étude de l'existant.....	15
2.1 Analyse de l'existant .....	15
2.2 Besoins fonctionnels.....	17
2.3 Besoins non fonctionnels.....	18
3. Conclusion .....	19
<b>Chapitre 3 : Méthodologie de conception.....</b>	<b>20</b>
1. Introduction .....	21
2. La modélisation .....	21
3. Choix de la méthodologie et langage de la conception .....	21
3.1 Définition d'UML .....	21
3.2 Présentation des diagrammes UML.....	22
3.3 Intérêt du choix d'UML.....	26
4. Choix de la méthodologie.....	27
5. Conclusion .....	28
<b>Chapitre 4 : Spécification fonctionnelles et non fonctionnelles.....</b>	<b>29</b>
1. Introduction .....	30
2. La démarche de conception .....	30
2.1 Identification des acteurs .....	30
2.2 Diagrammes de cas d'utilisation et séquences en boite noire .....	31
3. Environnement de travail .....	45
3.1 Introduction .....	45
3.2 Environnement matériel .....	45
3.3 Environnement logiciel .....	45
3.4 Technologies utilisée .....	46

3. 5 Base de données « NoSQL » .....	48
3.6 Choix de MongoDB: .....	50
3.7 Récupération des données : .....	50
3.8 Tri et traitement des données :.....	50
3 .9 Étiquetage et traitement intelligent des données : .....	51
3.10 Prédiction de l'activité volcanique : .....	53
3.11 Approche intelligente pour la détection et le suivi des éruptions volcaniques.....	53
4. Conclusion.....	54
<b>Chapitre 5 : Analyse et conception .....</b>	<b>55</b>
1. Introduction .....	56
2. Diagramme de classes .....	56
3. Diagramme de séquences en boite blanche .....	58
3.1 Cas d'utilisation « s'authentifier » .....	58
3.2 Cas d'utilisation «Consulter alerte» .....	59
3.3 Cas d'utilisation «Envoyer des données scientifiques».....	59
3.4 Cas d'utilisation « Gérer les alertes».....	60
3.5 Cas d'utilisation «Suivre l'évolution de l'éruption» .....	62
3.6 Cas d'utilisation «Gérer des rapports de surveillance» .....	63
3.7 Cas d'utilisation «Gérer utilisateur ».....	63
4. Diagramme d'activités.....	64
5. Conclusion.....	71
<b>Chapitre 6: Réalisation .....</b>	<b>72</b>
1.Introduction .....	73
2. Présentation de l'application «VolcanoAlert».....	73
2.1 Interface d'accueil .....	73
2.2 Interface de connexion : .....	75
2.3 Interface crée un compte: .....	75
2.4 Interface utilisateur .....	76
2.5 Interface administrateur du système .....	78
2.4 Interface ajoute utilisateur: .....	79
2.5 Interface mettre à jour alerte: .....	79
2.6 Interface intervenant:.....	80
2.7 Interface liste alerte: .....	82
2.8 Interface Mission détaillés :.....	83
2.9 Interface Ajouter ressource: .....	84
2.10 Interface Scientifique: .....	84
2.11 Interface Gestion des rapports :.....	85
2.12 Interface sentinelle: .....	86
2.13 Interface observation .....	88
2.14 Interface envoyer données :.....	89
2.15 Interface Média :.....	90
2.16 Interface Responsable d'équipe d'urgence:.....	91
2.17 Interface Responsable des autorités locales : .....	92
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>94</b>

<b>Webographie .....</b>	<b>95</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>96</b>

## Liste des figures :

Figure 1 : LOGO DE VOLCANO DISCOVERY .....	15
Figure 2 : Diagramme de cas d'utilisation général de l'application .....	32
Figure 3 : Description textuelle de cas d'utilisation « s'authentifier » .....	33
Figure 4 : Scénario nominal de cas d'utilisation « s'authentifier » .....	33
Figure 5 : Enchainement alternatif des erreurs de cas d'utilisation « s'authentifier ».....	33
Figure 6 : Diagramme de séquence en boite noire « s'authentifier » .....	34
Figure 7 : Description textuelle de cas d'utilisation «Consulter les alertes».....	35
Figure 8 : Scénario nominal de cas d'utilisation «Consulter les alertes » .....	35
Figure 9 : Enchainement alternatif des erreurs de cas d'utilisation «Consulter les alertes».....	36
Figure 10 : Diagramme de séquence en boite noire « Consulter les alertes » .....	36
Figure 11 : Description textuelle de cas d'utilisation «Suivre l'évolution de l'éruption».....	37
Figure 12 : Scénario nominal de cas d'utilisation « Suivre l'évolution de l'éruption » .....	37
Figure 13 : Enchainement alternatif des erreurs de cas d'utilisation «Suivre l'évolution de l'éruption».....	37
Figure 14 : Diagramme de séquence en boite noire «Suivre l'évolution de l'éruption»>.....	38
Figure 15 : Description textuelle de cas d'utilisation «Gérer les alertes» .....	39
Figure 16 : Scénario nominal de cas d'utilisation « Gérer les alertes ».....	39
Figure 17 : Enchainement alternatif des erreurs de cas d'utilisation «Gérer les alertes» .....	40
Figure 18 : Diagramme de séquence en boite noire «Gérer les alertes» .....	40
Figure 19 : Description textuelle de cas d'utilisation « Gérer l'évacuation ».....	41
Figure 20 : Scénario nominal de cas d'utilisation « Gérer l'évacuation».....	41
Figure 21 : Enchainement alternatif des erreurs de cas d'utilisation «Gérer l'évacuation» .....	42
Figure 22 : Diagramme de séquence en boite noire «Gérer l'évacuation».....	42
Figure 23 : Description textuelle de cas d'utilisation «Envoyer des données scientifiques» .....	43
Figure 24 : Scénario nominal de cas d'utilisation «Envoyer des données scientifiques».....	43
Figure 25 : Enchainement alternatif des erreurs de cas d'utilisation «Envoyer des données scientifiques» .....	44
Figure 26 : Diagramme de séquence en boite noire «Analyser les données volcaniques» .....	44
Figure 27 : Diagramme de classes .....	57
Figure 28 : Diagramme de séquence en boite blanche « s'authentifier » .....	58
Figure 29 : Diagramme de séquence en boite blanche «Consulter alerte» .....	59
Figure 30 : Diagramme de séquence en boite blanche «Envoyer des données scientifiques» .....	60
Figure 31 : Diagramme de séquence en boite blanche «Gérer les alertes».....	61
Figure 32: Diagramme de séquence en boite blanche «Suivre l'évolution de l'éruption» .....	62
Figure 33 :Diagramme de séquence en boite blanche «Gérer des rapports de surveillance» .....	63
Figure 34 : Diagramme de séquence en boite blanche «Gérer utilisateur» .....	64
Figure 35 : Diagramme d'activité « S'authentifier » .....	65
Figure 36 : Diagramme d'activité «Ajouter Observation» .....	66
Figure 37 : Diagramme d'activité «Ajouter Rapport».....	67
Figure 38 : Diagramme d'activité «Ajouter Utilisateur » .....	68
Figure 39 : Diagramme d'activité «Consulter Alerte» .....	69
Figure 40: Diagramme d'activité «Gérer Information Utilisateur».....	70
Figure 41 : Diagramme d'activité «Modifier Infos Utilisateur».....	71

# Introduction générale

La surveillance des éruptions volcaniques représente un enjeu majeur pour la prévention des catastrophes naturelles et la protection des populations. Une détection rapide et un suivi précis de l'activité volcanique permettent d'anticiper les risques et de mieux gérer les situations d'urgence. Pour répondre à ces défis, il est essentiel de disposer d'outils modernes de surveillance capables de collecter, traiter et transmettre les données en temps réel, tout en assurant une diffusion efficace des alertes précocees.

C'est dans ce contexte que notre projet de fin d'études prend tout son sens. Notre objectif est de concevoir et développer une application de détection et de suivi des éruptions volcaniques, qui permettra de surveiller en continu l'activité des volcans et d'améliorer la précision des prévisions. Cette application s'appuie sur plusieurs fonctionnalités essentielles, telles que l'analyse des signes précurseurs d'éruption, la modélisation des risques potentiels, la visualisation des données en temps réel, ainsi que la diffusion d'alertes automatiques pour appuyer les efforts de surveillance.

Dans ce cadre, nous avons intégré des techniques d'intelligence artificielle, de manière ciblée et progressive, afin de renforcer la capacité du système à interpréter les données issues de différentes sources (gaz volcaniques, déformation du sol, etc.). Plus précisément, l'IA a été utilisée pour l'étiquetage automatique des niveaux d'activité volcanique, en se basant sur une analyse multi-paramétrique des indicateurs scientifiques et des seuils établis. L'application repose sur une architecture moderne utilisant notamment Node.js pour le traitement serveur, MongoDB Atlas pour la gestion des données, ainsi que des scripts automatisés exécutés toutes les 15 minutes, assurant une mise à jour régulière et fiable des évaluations de risque.

Au-delà de la détection, l'application prend également en charge le traitement post-déclenchement. Une fois une alerte générée, des interfaces dédiées permettent aux autorités locales, aux responsables d'équipes d'urgence et aux intervenants sur le terrain d'accéder à des informations en temps réel, de suivre l'évolution de la situation, de planifier des missions, et de coordonner les ressources mobilisées. Ce volet opérationnel vient renforcer l'efficacité du système global de gestion des risques.

Dans ce rapport, nous détaillerons l'ensemble du processus de réalisation de notre projet, depuis l'analyse des besoins et la définition des exigences jusqu'à la mise en œuvre technique et les tests. Notre application vise à améliorer la surveillance volcanique en intégrant des technologies avancées, offrant ainsi un outil efficace aux chercheurs, aux autorités et aux populations exposées aux risques volcaniques.

En somme, ce projet reflète nos efforts pour mettre en pratique les connaissances théoriques acquises au cours de notre formation dans le cadre d'un problème concret, tout en apportant une contribution modeste au développement de solutions visant à améliorer la gestion des risques naturels.

# **Chapitre 1 : Cadre général du projet**

# **1. Introduction**

Le premier chapitre de ce rapport vise à contextualiser notre étude en présentant les aspects généraux de notre projet d'application de détection et de suivi des éruptions volcaniques.

Nous commencerons par une brève introduction sur les volcans et leur impact sur les zones environnantes. Ensuite, nous présenterons l'objectif de notre projet, qui repose sur l'utilisation d'outils de prévention et de prédition, en s'appuyant sur l'analyse de l'historique de l'activité volcanique dans une zone spécifique.

Nous aborderons également les défis spécifiques liés à la gestion des risques volcaniques, notamment la coordination des secours, l'évacuation de la population et la gestion des zones d'hébergement.

Enfin, ce chapitre se conclura par une présentation du contexte dans lequel notre application se déploie, ainsi que des objectifs fixés pour répondre aux besoins urgents de sécurité et de gestion des éruptions volcaniques.

## **2. Organisme d'accueil :**

### **2.1 Définition d'une éruption volcanique**

Une éruption volcanique est un phénomène naturel où des matériaux en fusion (lave), des gaz et des cendres sont projetés à la surface de la terre depuis un volcan.

Ces événements peuvent avoir des conséquences dramatiques sur l'environnement, l'écosystème, ainsi que sur la sécurité et les moyens de subsistance des populations vivant à proximité des volcans.

La gestion de ces risques nécessite des outils de surveillance avancés, une planification efficace des évacuations et une coordination optimale des secours.

### **2.2 Les activités associées à la gestion des éruptions volcaniques**

La gestion d'une éruption volcanique implique diverses activités cruciales, telles que la surveillance de l'activité sismique et volcanique, l'analyse des risques, la mise en place de systèmes d'alerte rapide et la gestion des évacuations.

Les autorités doivent également s'assurer de la sécurité des populations en leur fournissant des informations sur les zones à risques, les itinéraires d'évacuation, et les refuges disponibles. Les services de secours, tels que les pompiers et les équipes de secours d'urgence, doivent être coordonnés efficacement pour intervenir rapidement et efficacement.

## 2.3 Les problèmes de la gestion d'une éruption volcanique

La gestion des éruptions volcaniques soulève de nombreux défis, parmi lesquels :

- Prévision de l'éruption :

Comment utiliser les données historiques pour prédire le risque d'une éruption à partir de modèles géophysiques ?

- Coordination des secours :

Comment organiser efficacement les secours et l'évacuation des populations en tenant compte de la rapidité de l'événement ?

- Sécurisation des zones d'hébergement :

Comment assurer un abri adéquat et la gestion des zones d'hébergement pour les populations déplacées ?

- Communication en temps réel :

Comment garantir une communication fluide et rapide entre les autorités, les équipes de secours, et la population pendant l'éruption ?

## 2.4 les techniques de détection des volcans

### 2.4.1 Détection des volcans :

#### Définition

La détection consiste à identifier l'activité volcanique anormale à partir de données collectées sur le terrain ou via satellites. Cela inclut la surveillance : des émissions de gaz (ex. SO<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub>), de la déformation du sol.

Méthodes possibles pour la détection

#### a. Par traitement de données

Détecter des vibrations caractéristiques annonciatrices d'une éruption.

#### b. Par imagerie satellite

Utiliser des sources gratuites comme Sentinel-2 (optique) et Sentinel-1 (radar) via Copernicus.

Détecter :

Des panaches de gaz (anomalie visuelle),

Des déformations du sol (Insar – interférométrie radar).

#### c. Par capteurs de gaz

Analyse des concentrations anormales de SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>.

#### d. Par fusion de données

Combiner plusieurs sources (gaz + radar).

Cette fusion améliore la fiabilité de la détection.

## 2.5 Les types de volcans

Les volcans peuvent être classés en plusieurs types en fonction de leur forme, de leur activité et des types de matériaux qu'ils émettent lors des éruptions. La connaissance de ces types est essentielle pour la gestion des risques volcaniques, car chaque type de volcan présente des comportements spécifiques qui influencent la stratégie de prévention et d'évacuation.

Voici les principaux types de volcans :

### **Volcan bouclier**

Ce type de volcan est généralement large et peu pentu, avec des éruptions caractérisées par des flux de lave fluide. Les volcans boucliers, comme le Kīlauea à Hawaii, sont formés par des éruptions relativement tranquilles, où la lave s'écoule lentement et couvre de vastes zones.

Ils ont souvent des éruptions de faible intensité, mais peuvent recouvrir de grandes surfaces.

### **Volcan stratifié (ou composite)**

Les volcans stratifiés, comme le Mont Saint-Hélène ou le Vésuve, sont plus hauts et plus complexes. Ils sont formés par des couches successives de lave, de cendres et de débris volcaniques.

Les éruptions de ces volcans sont souvent explosives, entraînant des risques plus graves pour les populations environnantes. Ce type de volcan nécessite une surveillance rigoureuse pour prévoir des éruptions violentes.

### **Volcan explosif**

Ce type de volcan est caractérisé par des éruptions violentes et des émissions de gaz et de cendres à haute pression.

Les volcans explosifs sont généralement associés à des marges de plaques tectoniques convergentes.

Ces éruptions peuvent créer des nuées ardentes et des lahars (coulées de boue volcaniques), mettant en danger les communautés proches.

### **Volcan de caldeira**

Une caldeira est une grande dépression formée après l'effondrement d'un volcan après une éruption majeure.

Le Yellowstone aux États-Unis est un exemple de volcan à caldeira. Bien que ces volcans soient moins fréquents, leurs éruptions peuvent être extrêmement dévastatrices, affectant des régions très vastes et ayant un impact mondial, notamment sur le climat.

### **Volcan fissural**

Les volcans fissuraux se forment lorsque des fissures dans la croûte terrestre permettent à la lave de s'écouler sur de grandes étendues.

Ces volcans, comme le Laki en Islande, peuvent produire des éruptions sur de longues périodes et affecter des régions étendues. Leur lave est souvent fluide, mais les émissions de gaz peuvent être particulièrement dangereuses.

## **2.6 Relation entre les types de volcans et les stratégies de gestion des risques**

La nature et l'intensité des éruptions varient en fonction du type de volcan.

Par exemple, les volcans boucliers, bien que généralement moins explosifs, peuvent présenter un danger par leurs flux de lave massifs, nécessitant une planification spécifique pour l'évacuation des populations.

En revanche, les volcans stratifiés ou explosifs demandent une vigilance accrue, avec des mesures de prévention pour limiter les risques de nuées ardentes et d'explosions soudaines.

Il est essentiel que l'application de détection et de suivi des éruptions volcaniques tienne compte de ces différents types pour proposer des solutions adaptées à chaque situation.

Par exemple, un système d'alerte pour un volcan explosif pourrait se concentrer davantage sur les risques de nuées ardentes et d'éruptions explosives, tandis qu'un volcan bouclier pourrait nécessiter un suivi constant des flux de lave.

## **3. Une application web :**

### **A. Qu'est-ce qu'une application web ?**

Une application web est un logiciel accessible via un navigateur, hébergé sur un serveur distant. Elle ne nécessite aucune installation spécifique sur les appareils des utilisateurs, tels que les ordinateurs, les smartphones ou les tablettes.

Cela permet une gestion centralisée et une accessibilité globale, ce qui est crucial pour la gestion d'une crise liée à un événement aussi imprévisible qu'une éruption volcanique.

### **B. Pourquoi utiliser une application web ?**

#### **➤ Accessibilité universelle :**

L'application est accessible depuis n'importe quel navigateur, ce qui permet une couverture géographique étendue.

#### **➤ Mises à jour en temps réel :**

Les données peuvent être mises à jour en temps réel, offrant ainsi une gestion continue de la situation, avec des alertes immédiates sur les éruptions en cours ou imminentes.

#### **➤ Compatibilité et stockage :**

Elle fonctionne sur divers systèmes d'exploitation et les données sensibles sont stockées sur le cloud, garantissant leur sécurité et leur intégrité.

Les applications web sont particulièrement adaptées pour offrir des services accessibles, maintenables et fiables dans un contexte de gestion de crise.

## **4. Objectif du projet :**

L'objectif principal de cette application est de fournir une solution complète pour la détection des éruptions volcaniques et la gestion des risques associés.

Cette application intégrera des outils avancés de prédition, en se basant sur l'analyse de l'historique des volcans afin d'anticiper les éruptions potentielles.

Elle permettra également de gérer efficacement l'évacuation de la population, en fournissant des cartes interactives des zones à risques, les itinéraires d'évacuation et les zones d'hébergement disponibles.

## **5.Les fonctionnalités clés de l'application incluront :**

➤ Prédiction et suivi en temps réel de l'activité volcanique :

Surveillance des émissions de gaz (SO<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub>), observation des déformations du sol et détection des signes précurseurs.

➤ Gestion des évacuations :

Suivi des déplacements, alertes d'évacuation et notifications de sécurité.

➤ Coordination des secours :

Intégration des différents acteurs impliqués dans l'intervention, avec un système de communication et de gestion des ressources.

➤ Suivi des zones d'hébergement :

Identification des refuges disponibles pour les populations déplacées.

La sécurité des données, notamment celles des populations et des zones sensibles, sera assurée par des protocoles de cryptage robustes et une gestion sécurisée du cloud.

## **6. Conclusion :**

Ce premier chapitre nous a permis de situer le contexte de notre projet d'application dédié à la détection et à la gestion des risques volcaniques. En combinant des outils de prévention, des mécanismes d'alerte et une interface facile à utiliser, cette solution vise à améliorer l'efficacité de la gestion des crises volcaniques.

L'objectif est de garantir la sécurité des populations et d'assurer une gestion optimale des secours et des évacuations, tout en proposant des moyens technologiques fiables pour anticiper et réagir face aux éruptions volcaniques.

## **Chapitre 2 : Analyse et spécification des besoins**

# 1. Introduction

Ce chapitre présente les besoins fonctionnels et non fonctionnels de l'application web dédiée à la détection et au suivi des éruptions volcaniques.

L'objectif est de définir clairement les attentes en termes de fonctionnalités et de performance du système, afin de garantir son efficacité et sa pertinence dans la gestion des risques volcaniques.

L'analyse des besoins repose sur une analyse comparative des applications existantes dans le domaine de la surveillance volcanique et des outils de gestion des crises, afin d'identifier les meilleures pratiques et de proposer des solutions innovantes adaptées à notre projet.

# 2. Étude de l'existant

## 2.1 Analyse de l'existant

Dans le domaine de la surveillance volcanique et de la gestion des risques associés, plusieurs applications et systèmes ont été développés pour aider à la détection des éruptions, à la gestion de l'évacuation des populations et à la coordination des secours.

Voici quelques exemples d'applications pertinentes dans ce secteur :

### 1. Volcano Discovery

Application populaire de suivi des activités volcaniques, fournissant des alertes en temps réel et des informations détaillées sur les éruptions en cours. Elle permet une cartographie précise des zones à risque et offre des données historiques sur les éruptions passées.



Figure 1 : LOGO DE VOLCANO DISCOVERY

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Accès en temps réel aux alertes sur les éruptions.</li> <li>-Informations détaillées et géolocalisées sur les activités volcaniques mondiales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Absence de modèles prédictifs avancés.</li> <li>- Manque d'outils intégrés pour la gestion des évacuations et des secours.</li> </ul>

## 2. Volcanoes & Earthquakes

Application populaire de suivi des activités volcaniques et sismiques, offrant des alertes en temps réel ainsi que des informations détaillées sur les événements en cours. Elle propose une cartographie précise des zones à risque et intègre des données historiques sur les volcans et séismes mondiaux.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Accès en temps réel aux alertes sur les éruptions et séismes.</li> <li>- Interface intuitive avec cartographie interactive et géolocalisation précise.</li> <li>-Regroupement des données volcaniques et sismiques dans une seule application.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Absence de modèles prédictifs avancés.</li> <li>- Manque d'outils intégrés pour la gestion des évacuations et des secours.</li> </ul>

## 3. FEMA Earthquake and Volcano Monitor

Système développé par la FEMA pour surveiller les risques liés aux volcans et aux séismes. Il fournit des alertes et des conseils pratiques sur les mesures de sécurité à adopter par la population.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Notifications immédiates sur les risques.</li> <li>-Directives claires pour les populations sur les actions à entreprendre</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Outils de gestion des secours relativement basiques.</li> <li>- Interface utilisateur parfois difficile à naviguer pour un public non spécialisé.</li> </ul>

Ces applications montrent la nécessité d'un système plus intégré qui combine détection, prédiction, gestion des évacuations, et coordination des secours, tout en garantissant une interface accessible et une précision des informations en temps réel.

## 2.2 Besoins fonctionnels

L’application web de détection et suivi des éruptions volcaniques doit répondre aux besoins fonctionnels suivants :

### Surveillance en temps réel de l’activité volcanique :

Collecte et analyse continue des données sismiques et volcaniques provenant de capteurs et observatoires, permettant de détecter rapidement toute anomalie ou activité suspecte.

### Prédiction des éruptions :

Utilisation de modèles prédictifs permettant d’analyser l’historique des éruptions et d’anticiper les risques volcaniques sur la base des comportements passés et des données observées en temps réel.

### Gestion des évacuations :

Élaboration de plans d’évacuation en fonction de l’intensité de l’activité volcanique, de la géographie et de la densité de la population. L’application devra permettre une mise à jour en temps réel des plans d’évacuation et des itinéraires sécurisés.

### Gestion des zones d’hébergement :

Identification et gestion en temps réel des zones d’hébergement pour les populations évacuées, avec la possibilité de réserver des places dans les centres d’hébergement.

### Coordination des secours :

Intégration des services de secours (pompiers, équipes médicales, etc.) dans un système de gestion centralisé qui leur permet d’accéder à des informations actualisées sur l’évolution de l’éruption et d’optimiser leur intervention.

### Communication avec les autorités et la population :

Mise en place d’un système d’alertes et de communication bidirectionnelle avec les autorités locales, les équipes de secours et la population à risque. Cela inclut des notifications push et des messages sur les réseaux sociaux pour garantir une diffusion large et rapide des informations.

### Règles et directives de déplacement de la population :

Fourniture de directives précises concernant les itinéraires d’évacuation, les zones dangereuses à éviter, et les zones sûres où la population peut se rendre en cas d’urgence.

### Analyse géophysique des volcans et de leur comportement :

Fourniture d’une analyse détaillée des différents types de volcans (stratovolcans, volcans boucliers, etc.) et des liens avec la dérive des continents, permettant de mieux comprendre les risques volcaniques dans des zones spécifiques.

### **Alertes et notifications en temps réel :**

Envoi d'alertes instantanées concernant l'évolution des risques, qu'il s'agisse d'une éruption imminente ou d'un changement dans les conditions d'évacuation.

### **Interface multilingue :**

L'application devra être disponible en plusieurs langues pour toucher une audience internationale et répondre aux besoins des populations locales dans des zones à risques volcaniques.

## **2.3 Besoins non fonctionnels**

Les besoins non fonctionnels visent à garantir la qualité, la performance et la sécurité du système. Les exigences non fonctionnelles pour cette application incluent :

### **Sécurité des données :**

Protection des informations sensibles liées aux utilisateurs, aux données géographiques, et aux analyses volcaniques. L'application devra intégrer des mécanismes de cryptage des données et une authentification sécurisée.

### **Performance :**

L'application doit être capable de supporter un grand nombre d'utilisateurs simultanés, surtout en période de crise, et offrir des temps de réponse rapides pour garantir une expérience utilisateur fluide.

### **Accessibilité et convivialité :**

L'interface de l'application doit être intuitive et facile à utiliser, même pour des utilisateurs non spécialisés. La navigation doit être simple et les informations doivent être présentées de manière claire et concise.

### **Fiabilité et disponibilité :**

L'application doit garantir une disponibilité continue, même lors de pics de trafic ou de crises. Des mesures doivent être mises en place pour assurer une haute disponibilité du service.

### **Extensibilité :**

Le système doit être capable d'évoluer pour intégrer de nouvelles fonctionnalités au fur et à mesure des besoins, tout en permettant une maintenance aisée.

### **Multilinguisme :**

L'application doit offrir un support multilingue pour permettre une utilisation dans différentes régions géographiques et par des populations diverses.

### **3. Conclusion**

Ce chapitre a présenté les besoins fonctionnels et non fonctionnels essentiels à l’élaboration de l’application web de détection et suivi d’une éruption volcanique. Il a permis de clarifier les attentes en termes de fonctionnalités, de sécurité, de performance .

Ces besoins seront pris en compte dans la phase de conception pour garantir que l’application réponde efficacement aux exigences des utilisateurs et des autorités responsables de la gestion des risques volcaniques.

## **Chapitre 3 : Méthodologie de conception**

# 1. Introduction

Le principal intérêt de modéliser les données réside dans la tentative de conceptualiser les processus métiers d'un logiciel. Le fonctionnement de ces processus est ainsi représenté schématiquement, ce qui aide les lecteurs à mieux appréhender, même sans connaissances approfondies, les interactions entre les acteurs et les fonctionnalités du système. Nous procédons ensuite à un découpage en sous-systèmes, permettant de décomposer un problème complexe en plusieurs éléments plus simples à aborder.

## 2. La modélisation

La modélisation est le processus de création de représentations abstraites d'un système, d'un processus ou d'un concept dans le but de mieux le comprendre, de le visualiser et de le communiquer.

L'objectif principal de la modélisation est de fournir un cadre conceptuel permettant de résoudre des problèmes complexes, de prendre des décisions informées et de concevoir des solutions optimales. Elle contribue également à la documentation, à la collaboration et à la gestion des projets en fournissant des outils visuels pour représenter et manipuler les informations pertinentes de manière systématique et structurée. En résumé, la modélisation vise à améliorer la compréhension, la gestion et l'optimisation des systèmes dans divers domaines d'application.

## 3. Choix de la méthodologie et langage de la conception

### 3.1 Définition d'UML



UML (Unified Modeling Language) est un langage unifié pour la modélisation objet.

Il a une approche entièrement (i.e. couvrant tout le cycle de développement : analyse, conception et réalisation) objet (Et non fonctionnelle) : le système est décomposé en objets collaborant qui devient plus simple à comprendre et à réaliser.

Il est conçu pour modéliser divers types de systèmes, de taille quelconque et pour tous les domaines d'application (gestion, scientifique, temps réel, système embarqué).

UML permet de diviser le système d'information (d'une organisation) en système métier et système informatique.

Le système métier modélise les aspects statiques et dynamiques de l'activité selon une vision externe et une vision interne (en ignorant l'implémentation technique) tandis que le système informatique recouvre la partie automatisée du système métier concrétisant les choix effectués parmi les différentes technologies d'actualité.

Les concepts manipulés sont les mêmes, à chacun de ces deux niveaux d'abstraction.

## 3.2 Présentation des diagrammes UML

Les diagrammes UML (Unified Modeling Language) constituent un langage de modélisation visuelle standardisé largement utilisé dans le domaine de l'ingénierie logicielle pour concevoir, documenter et communiquer sur les systèmes logiciels.

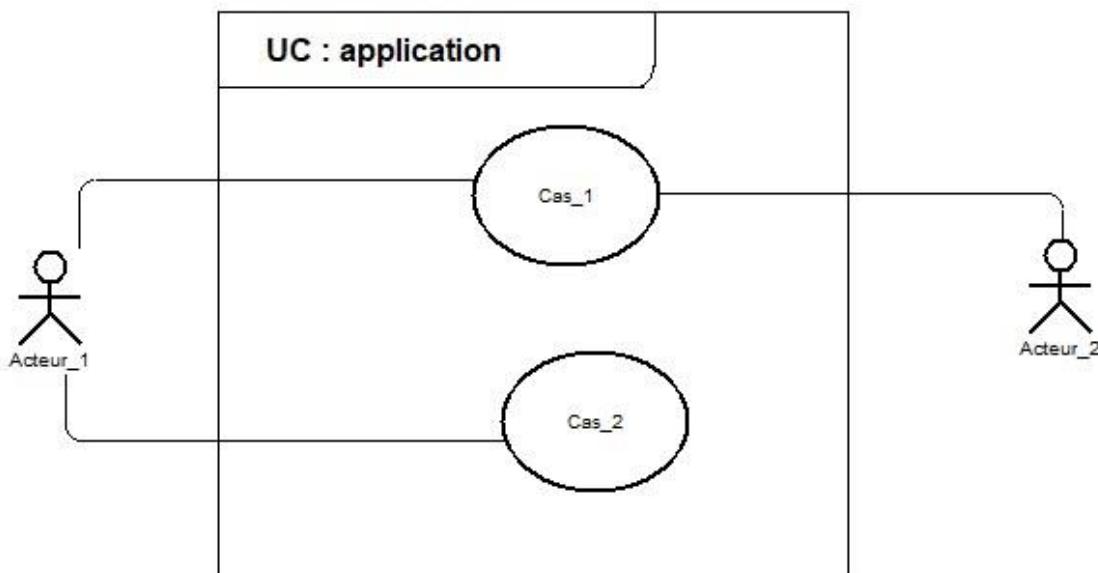
Ils offrent un moyen graphique de représenter les différentes perspectives d'un système, facilitant ainsi la compréhension et la communication entre les membres de l'équipe de développement et les parties prenantes.

Il existe plusieurs types de diagrammes UML, chacun servant à représenter des aspects spécifiques du système :

### 3.2.1 Diagramme de cas d'utilisation :

Le diagramme de cas d'utilisation est un outil de modélisation graphique utilisé pour représenter les interactions entre les acteurs (utilisateurs) et un système logiciel. Son objectif principal est de décrire les fonctionnalités offertes par le système du point de vue des utilisateurs.

Ce diagramme met en évidence les différents scénarios d'utilisation d'un système en identifiant les acteurs impliqués et les actions qu'ils peuvent effectuer. Il permet de capturer les exigences fonctionnelles du système et de définir clairement les interactions entre les utilisateurs et le système lui-même.



Les éléments clés d'un diagramme de cas d'utilisation comprennent :

**a. Acteur :**

Les acteurs dans un diagramme de cas d'utilisation représentent les différentes personnes, systèmes externes ou entités qui interagissent avec le système logiciel en question. Chaque acteur incarne un rôle spécifique joué par un utilisateur du système. Ces utilisateurs peuvent être des individus, des groupes d'utilisateurs ou même d'autres systèmes informatiques. Les acteurs sont essentiels pour déterminer les besoins et les exigences du système, car ils influencent directement les fonctionnalités et les interactions du système.

**b. Cas d'utilisation :**

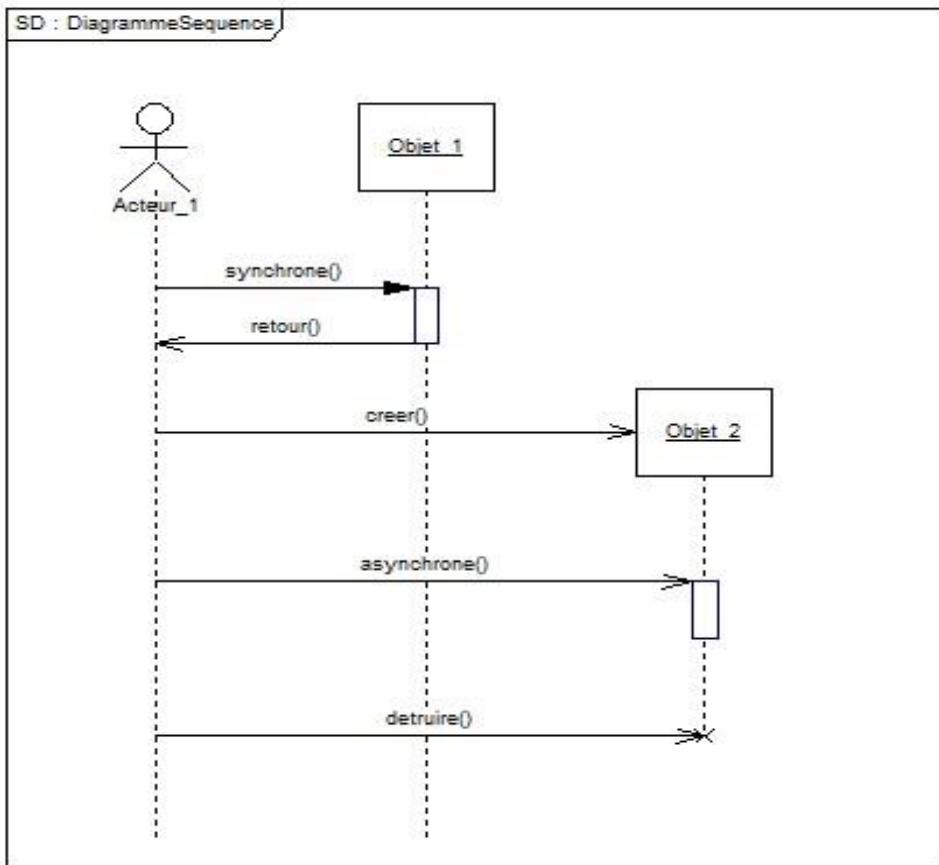
Les cas d'utilisation sont les fonctionnalités ou actions spécifiques que le système offre à ses utilisateurs pour leur permettre d'atteindre leurs objectifs. Chaque cas d'utilisation décrit un scénario dans lequel un utilisateur interagit avec le système pour accomplir une tâche particulière. Les cas d'utilisation définissent les interactions entre les acteurs et le système, et servent de base pour déterminer les exigences fonctionnelles du système. Ils sont souvent représentés sous forme de bulles dans le diagramme de cas d'utilisation.

**c. Interaction :**

Les relations entre les acteurs et les cas d'utilisation définissent comment les acteurs utilisent les fonctionnalités offertes par le système. Il existe plusieurs types de relations entre les cas d'utilisation, telles que l'association et l'extension. L'association indique qu'un acteur est directement impliqué dans un cas d'utilisation spécifique, tandis que l'extension indique qu'un cas d'utilisation peut être étendu ou modifié par un autre cas d'utilisation. Ces relations aident à clarifier les interactions entre les acteurs et les différentes fonctionnalités du système, ce qui facilite la compréhension des exigences du système.

### **3.2.2 Diagramme de séquence**

Le diagramme de séquence est un outil de modélisation utilisé pour représenter la séquence chronologique des interactions entre les objets ou les composants d'un système au fil du temps. Il met en évidence comment les objets communiquent entre eux en échangeant des messages pendant l'exécution d'un scénario spécifique.



### a. Message :

Les messages dans un diagramme de séquence représentent les communications entre les objets pendant l'exécution du scénario. Ils sont représentés par des flèches qui indiquent la direction du message et le moment de son envoi.

Les messages peuvent être de différents types, tels que :

- **Message de création d'objet** : indique qu'un objet est créé dans le système.
- **Message de destruction d'objet** : marque la fin de la durée de vie d'un objet, indiquant sa destruction ou sa suppression du système.
- **Message synchrone** : Ce type de message est envoyé lorsque l'émetteur attend une réponse immédiate de la part du récepteur avant de poursuivre son exécution. Cela signifie que l'émetteur bloque son processus jusqu'à ce qu'il reçoive une réponse du récepteur.
- **Message de retour** : Ce message renvoie une réponse ou un résultat à partir d'une méthode appelée précédemment.
- **Message asynchrone** : Contrairement au message synchrone, ce type de message est envoyé sans attendre de réponse immédiate de la part du récepteur. L'émetteur continue son exécution sans bloquer son processus, ce qui signifie que l'envoi et la réception du message peuvent se produire de manière indépendante et asynchrone.

### b. Objet :

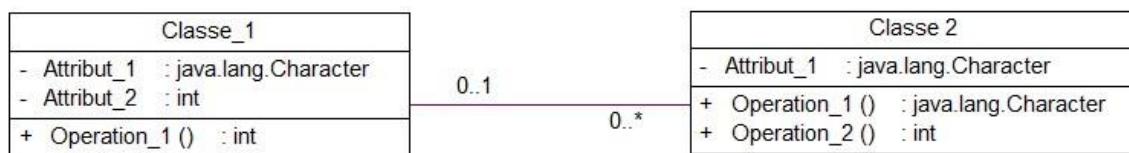
Les objets dans un diagramme de séquence représentent les différentes entités ou composants du système avec lesquels les acteurs interagissent. Chaque objet possède une ligne de vie qui indique sa durée de vie pendant l'exécution du scénario. Les objets envoient et reçoivent des messages pour accomplir des actions spécifiques dans le système.

### c. Ligne de vie :

La ligne de vie dans un diagramme de séquence est une représentation graphique qui indique la durée de vie d'un objet ou d'un acteur pendant l'exécution d'un scénario spécifique. Cette ligne verticale est associée à chaque objet ou acteur présent dans le diagramme et permet de suivre l'évolution de leur état au fil du temps.

## 3.3 Diagramme de classe

Le diagramme de classe est une représentation visuelle des différentes classes qui composent un système logiciel, ainsi que de leurs relations et de leurs attributs. C'est l'un des diagrammes les plus utilisés pour modéliser la structure statique d'un système.



### a. Classe :

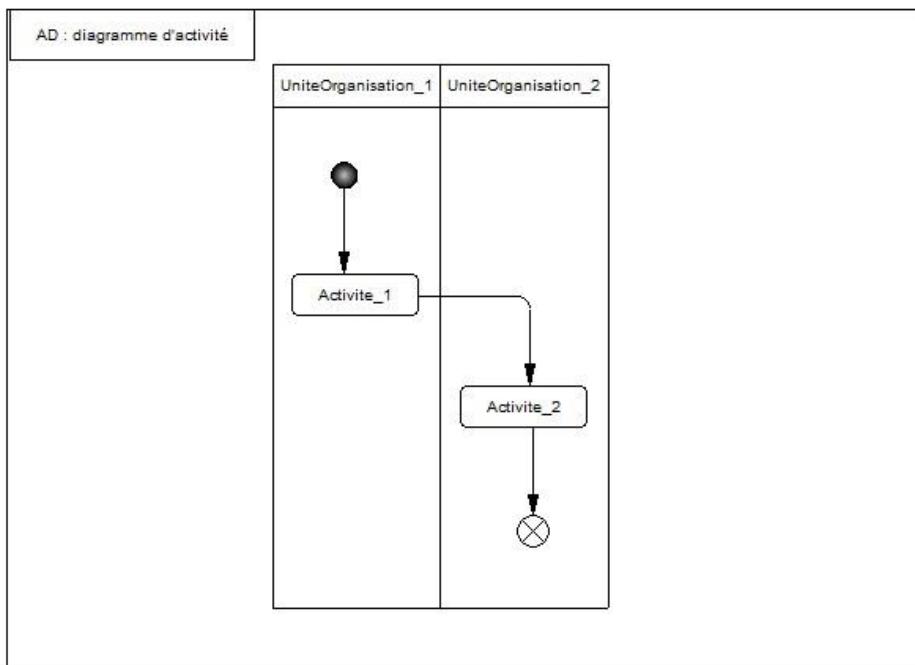
Les classes sont représentées sous forme de boîtes rectangulaires. Chaque boîte contient le nom de la classe en haut, suivi de ses attributs et de ses méthodes. Les attributs sont généralement listés sous le nom de la classe, tandis que les méthodes sont listées en dessous avec leurs signatures.

### b. Les relations :

Les relations entre les classes sont représentées par des lignes reliant les boîtes des classes. Il existe plusieurs types de relations, telles que l'héritage, l'association, la composition et l'agrégation. Ces relations permettent de modéliser les liens et les dépendances entre les différentes classes du système.

## 3.4 Diagramme d'activité

Le diagramme d'activité est un outil visuel utilisé pour représenter le flux de contrôle d'un processus ou d'un algorithme. Il est composé d'activités, de décisions et de transitions qui montrent comment un processus progresse.



#### a. Activité :

Représentée par un rectangle, une activité est une action qui se déroule dans le processus. Ils peuvent inclure des actions simples, telles que l'exécution d'une opération, ainsi que des actions complexes, telles que la décision ou la boucle.

#### b. Transition :

Représentée par une flèche, une transition indique le flux de contrôle d'une activité à une autre. Elle montre la direction du flux dans le processus.

#### c. Point de départ / d'arrivée :

Le processus commence par un point de départ représenté par un cercle, et se termine par un point d'arrivée. Ces points délimitent le début et la fin du processus.

### 3.3 Intérêt du choix d'UML

Le recours à la modélisation UML procure de nombreux avantages qui agissent sur:

- La modularité.
- L'abstraction.
- La structuration cohérente des fonctionnalités et des données.

Elle permet aussi de bien définir les besoins clients, et ainsi d'éviter des surcoûts. Elle permet de vulgariser les aspects liés à la conception et à l'architecture, propres au logiciel, au client. Aussi, elle apporte une compréhension rapide du programme à d'autres développeurs externes en cas de reprise du logiciel et facilite sa maintenance.

## 4. Choix de la méthodologie

2TUP (2 track unified process) est un processus de développement logiciel qui implémente le Processus Unifié.

Le 2TUP propose un cycle de développement en Y, qui dissocie les aspects techniques des aspects fonctionnels.

Il commence par une étude préliminaire qui consiste essentiellement à identifier les acteurs qui vont interagir avec le système à construire, les messages qu'échangent les acteurs et le système, à produire le cahier des charges et à modéliser le contexte (le système est une boîte noire, les acteurs l'entourent et sont reliés à lui, sur l'axe qui lie un acteur au système on met les messages que les deux s'échangent avec le sens).

Le processus s'articule ensuite autour de 3 phases essentielles:

- **la branche technique** se concentre sur la conception et l'architecture du système, en se basant sur les exigences techniques. Elle comprend la définition des composants, des interfaces et des interactions système, ainsi que la spécification des contraintes techniques.

Cette phase vise à garantir la stabilité et la fiabilité du système dès les premières étapes du projet. Elle nécessite une compréhension approfondie de l'environnement technologique, ainsi que la prise en compte des contraintes de sécurité, de performance et d'interopérabilité. Le recours à des modèles techniques et à des outils de simulation permet d'anticiper les risques liés à l'implémentation.

- **La branche fonctionnelle**, quant à elle, se focalise sur les besoins et les fonctionnalités du système du point de vue des utilisateurs. Elle comprend l'analyse des besoins, la spécification des fonctionnalités, la modélisation des processus métier et la conception de l'interface utilisateur.

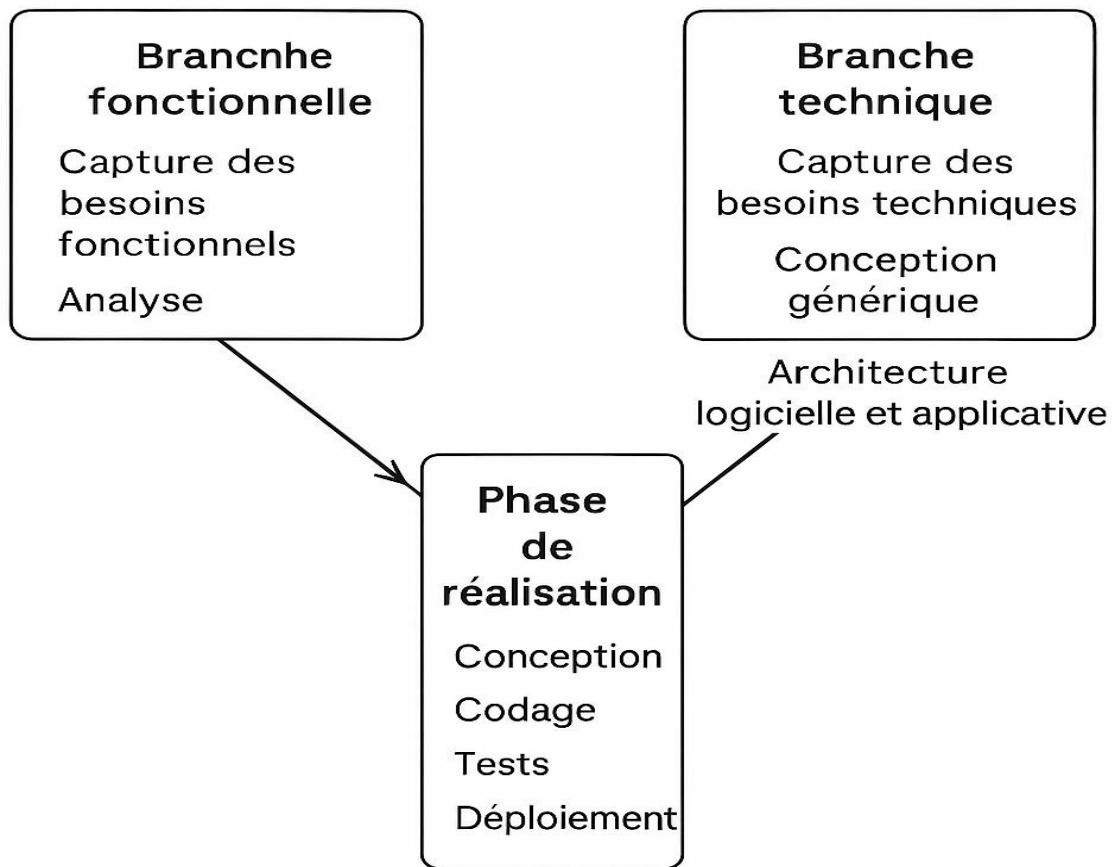
L'objectif principal de cette phase est de garantir l'adéquation entre les solutions proposées et les attentes des utilisateurs finaux. Elle repose sur des techniques d'écoute active, d'analyse fonctionnelle et de modélisation (UML, BPMN, etc.) pour formaliser clairement les besoins métiers.

Cette démarche permet aussi d'impliquer les utilisateurs dès les premières étapes, renforçant ainsi la pertinence du produit développé.

- **La phase de réalisation** consiste à concrétiser les spécifications et les conceptions élaborées lors des branches technique et fonctionnelle. Elle comprend le développement du code, les tests unitaires et d'intégration, ainsi que la validation avec les utilisateurs finaux.

Durant cette phase, une attention particulière est portée à la qualité du développement et au respect des délais.

Des pratiques telles que l'intégration continue, la gestion de version et les revues de code sont souvent mises en place pour assurer un haut niveau de fiabilité. La participation des utilisateurs aux tests d'acceptation permet également de vérifier que le produit est conforme aux exigences définies, tout en offrant un retour d'expérience précieux pour les dernières améliorations.



## 5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons détaillé la méthodologie de conception que nous allons suivre pour notre projet. Nous avons opté pour l'utilisation d'UML comme langage de modélisation, ce choix nous permettra de créer les diagrammes nécessaires qui seront analysés et modélisés dans le chapitre suivant.

## **Chapitre 4 : Spécification fonctionnelles et non fonctionnelles**

# 1. Introduction

Ce chapitre vise à identifier les différentes fonctionnalités de notre application, en détaillant les besoins du système afin qu'il réponde aux attentes des utilisateurs. Nous allons également présenter les diagrammes de cas d'utilisation et de séquence pour illustrer de manière claire les besoins fonctionnels et non fonctionnels du système.

## 2. La démarche de conception

### 2.1 Identification des acteurs

La première étape consiste à recenser les acteurs impliqués dans le diagramme des cas d'utilisation. Un acteur représente une entité externe interagissant avec le système et peut être classé comme principal ou secondaire.

#### 2.1 .1 Acteurs principaux :

**Utilisateur** : Accède à l'application pour consulter les informations sur les éruptions volcaniques, les alertes et les consignes de sécurité.

**Scientifique** : Analyse les données volcaniques, interprète les observations recueillies sur le terrain et publie des rapports détaillés sur l'évolution de l'activité volcanique.

**Responsable d'équipe d'urgence** : Coordonne les interventions de secours, applique les plans d'évacuation et assure la sécurité des populations lors d'une éruption.

**Responsable d'autorité locale** : Met en place les règles de déplacement de la population, gère l'organisation des évacuations et supervise les infrastructures d'hébergement.

**Administrateur du système** : Gère l'application, assure la maintenance des serveurs, la gestion des utilisateurs et la sécurisation des données.

**Média** : Diffuse les alertes et les informations sur l'évolution des éruptions volcaniques au grand public via différents canaux de communication.

**Sentinelle** : Veille sur les signaux d'alerte, surveille en temps réel les capteurs et détecte les anomalies pouvant annoncer une éruption imminente.

**Intervenant** : Participe aux opérations de prévention, de secours et d'assistance aux populations affectées par l'éruption (peut inclure pompiers, médecins d'urgence, policiers, etc.).

#### 2.1.2 Acteur secondaire :

**Base de données** : Stocke les informations relatives aux éruptions volcaniques, aux capteurs, aux

rapports scientifiques et aux utilisateurs.

## 2.2 Diagrammes de cas d'utilisation et séquences en boîte noire

Les diagrammes de cas d'utilisation offrent une vision holistique des interactions entre les acteurs et un système logiciel, définissant ainsi ses fonctionnalités et exigences.

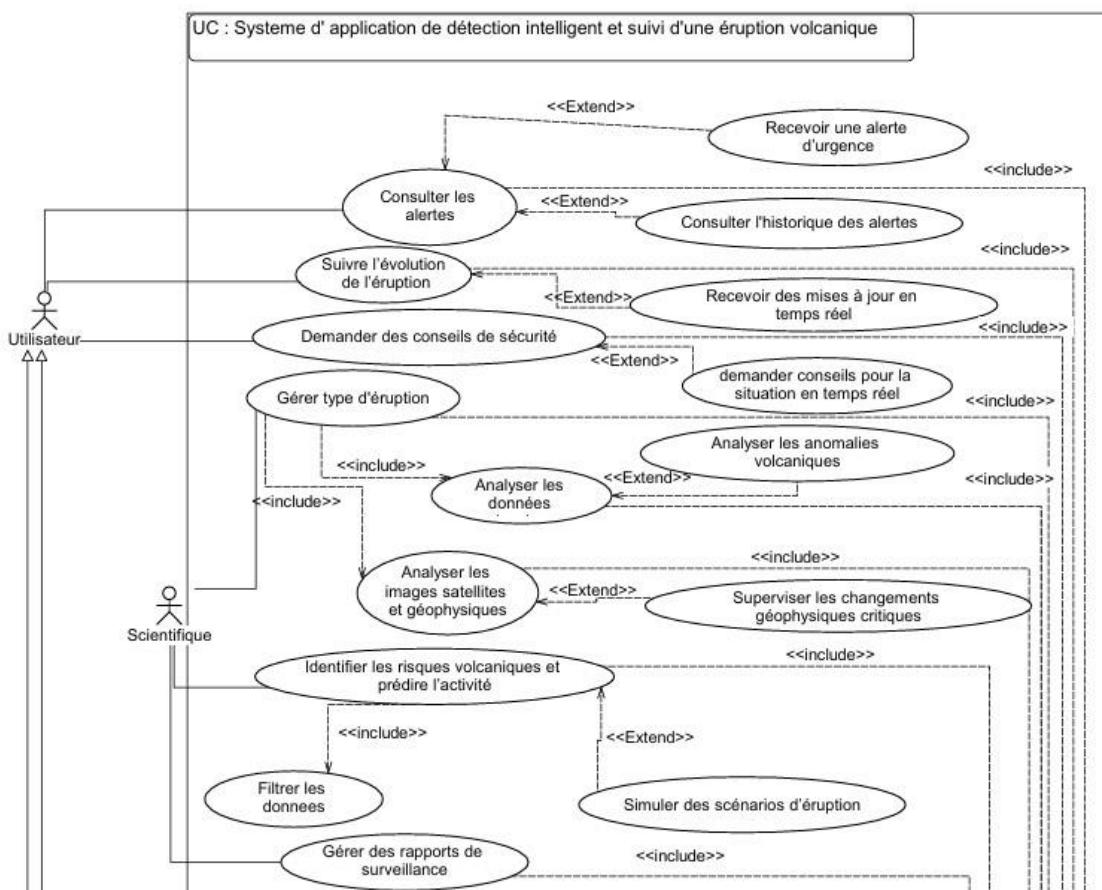
En revanche, les diagrammes de séquence en boîte noire se concentrent sur les interactions entre les composants du système, en mettant en évidence les entrées et sorties sans révéler les détails internes du processus de traitement.

Ensemble, ces deux types de diagrammes complémentaires offrent une représentation complète des fonctionnalités et des exigences d'un système, fournissant à la fois une vue d'ensemble des interactions et une compréhension détaillée de leur mise en oeuvre concrète.

### 2.2.1 Diagramme de cas d'utilisation général

Ce diagramme de cas d'utilisation offre une représentation synthétique des différentes fonctionnalités accessibles à chaque acteur du système, allant de la surveillance en temps réel des volcans à la gestion des alertes et des interventions d'urgence.

En mettant en évidence les interactions entre les utilisateurs et l'application, ce diagramme permet d'avoir une vue d'ensemble des principales activités impliquées dans la détection, le suivi et la gestion des éruptions volcaniques, facilitant ainsi la compréhension des rôles et des responsabilités de chaque acteur.



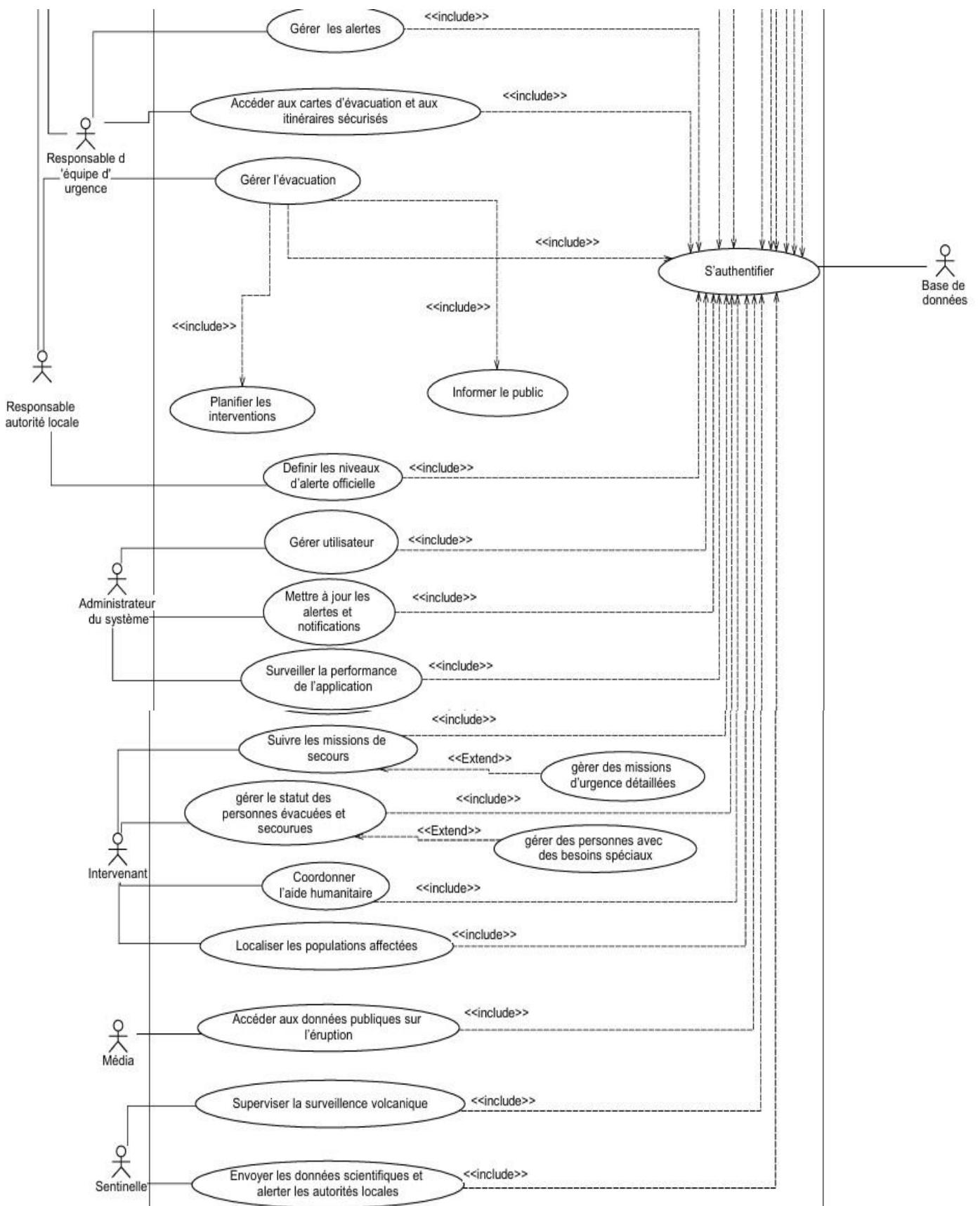


Figure 2 : Diagramme de cas d'utilisation général de l'application

- Etude de cas d'utilisation « s'authentifier »

Cas d'utilisation	Description textuelle
« s'authentifier »	<p><b>Titre :</b> s'authentifier  <b>Acteurs principaux :</b> utilisateur  <b>Acteur secondaire :</b> BDD  <b>Résumé :</b> le système vérifie le login et le mot de passe saisis par l'utilisateur et récupère ses données  <b>Description des scénarios :</b>  <u>Pré conditions :</u>  L'utilisateur doit avoir un compte  L'utilisateur accède à l'application  Le système le redirige vers la page d'authentification  <u>Post conditions :</u>  L'utilisateur accède à son compte  Le système affiche la première interface</p>

Figure 3 : Description textuelle de cas d'utilisation « s'authentifier »

- Scénario nominal

Acteur	Système
1- l'utilisateur accède à l'application	
	2-le système affiche la page d'authentification
3-l'utilisateur saisit son login et mot de passe	
	4-le système vérifie les données
	5-le système affiche la première interface

Figure 4 : Scénario nominal de cas d'utilisation « s'authentifier »

- Scénario alternatif

4.a 4.a.1 4.a.2	Le login ou le mot de passe incorrecte Le système affiche un message d'erreur Le scénario reprend depuis 3
-----------------------	--

Figure 5 : Enchainement alternatif des erreurs de cas d'utilisation « s'authentifier »

- Diagramme de séquence en boîte noire

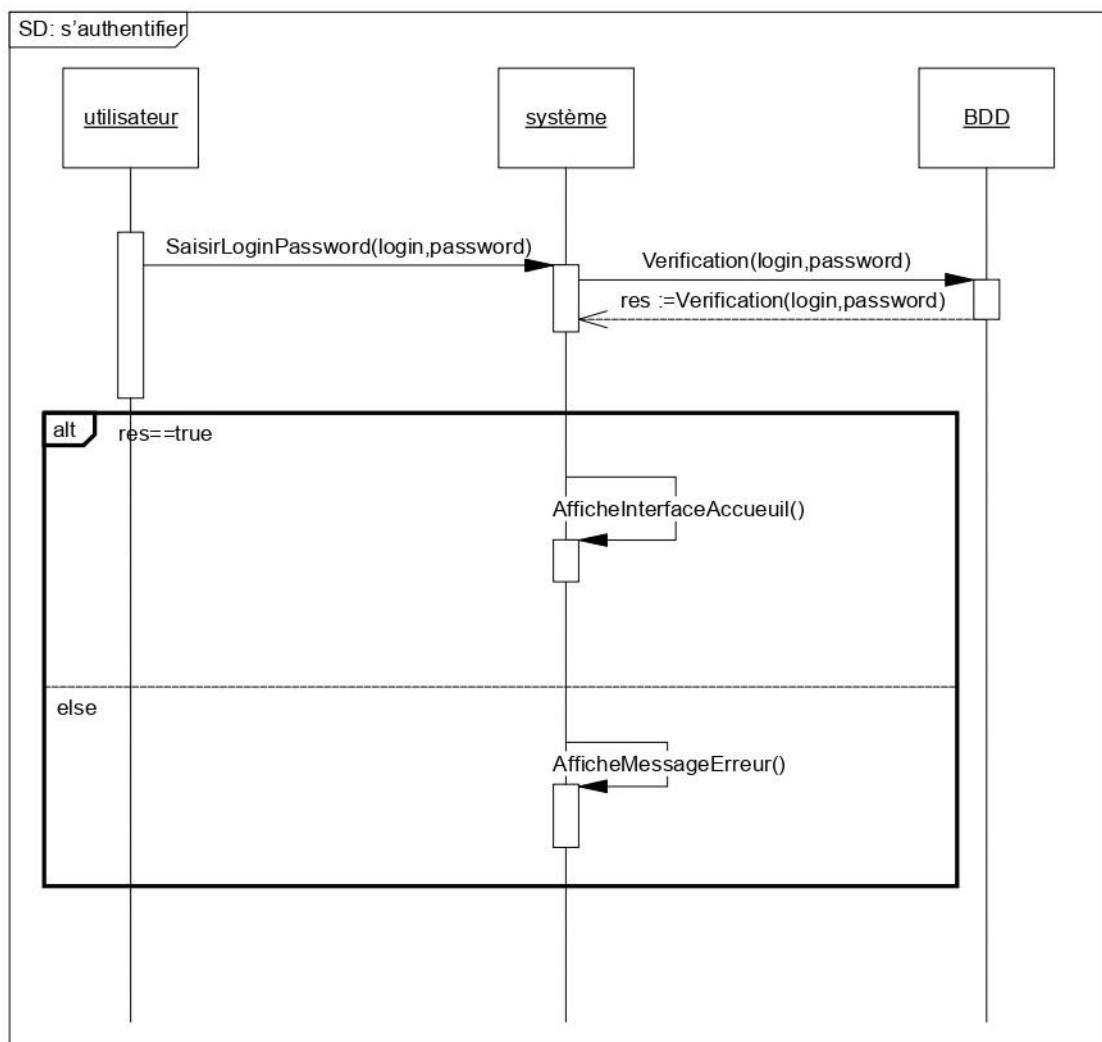


Figure 6 : Diagramme de séquence en boîte noire « s'authentifier »

- Etude de cas d'utilisation «Consulter les alertes »

Cas d'utilisation	Description textuelle
«Consulter les alertes »	<p><b>Titre :</b> Consulter les alertes</p> <p><b>Acteurs principaux :</b> Utilisateur</p> <p><b>Acteur secondaire :</b> Base de données Système</p> <p><b>Résumé :</b> L'utilisateur consulte les alertes disponibles. Il peut afficher la liste des alertes et choisir une alerte spécifique pour en voir les détails.</p> <p><b>Préconditions :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'utilisateur doit être connecté au système.</li> <li>• L'utilisateur doit avoir accès à l'interface de consultation des alertes.</li> </ul> <p><b>Postconditions :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le système affiche la liste des alertes ou un message d'erreur si aucune alerte n'est trouvée</li> </ul>

Figure 7 : Description textuelle de cas d'utilisation «Consulter les alertes»

- Scénario nominal

Acteur	Système
1- L'utilisateur demande à consulter les alertes.	
	2- Le système récupère les données des alertes.
	3- Si des alertes sont disponibles, le système affiche la liste des alertes.
4-L'utilisateur peut choisir une alerte pour voir les détails.	

Figure 8 : Scénario nominal de cas d'utilisation «Consulter les alertes »

- Scénario alternatif

3.a	Aucune alerte disponible
3.a.1	Le système affiche "Aucune alerte disponible"

Figure 9 : Enchainement alternatif des erreurs de cas d'utilisation «Consulter les alertes»

- Diagramme de séquence en boîte noire

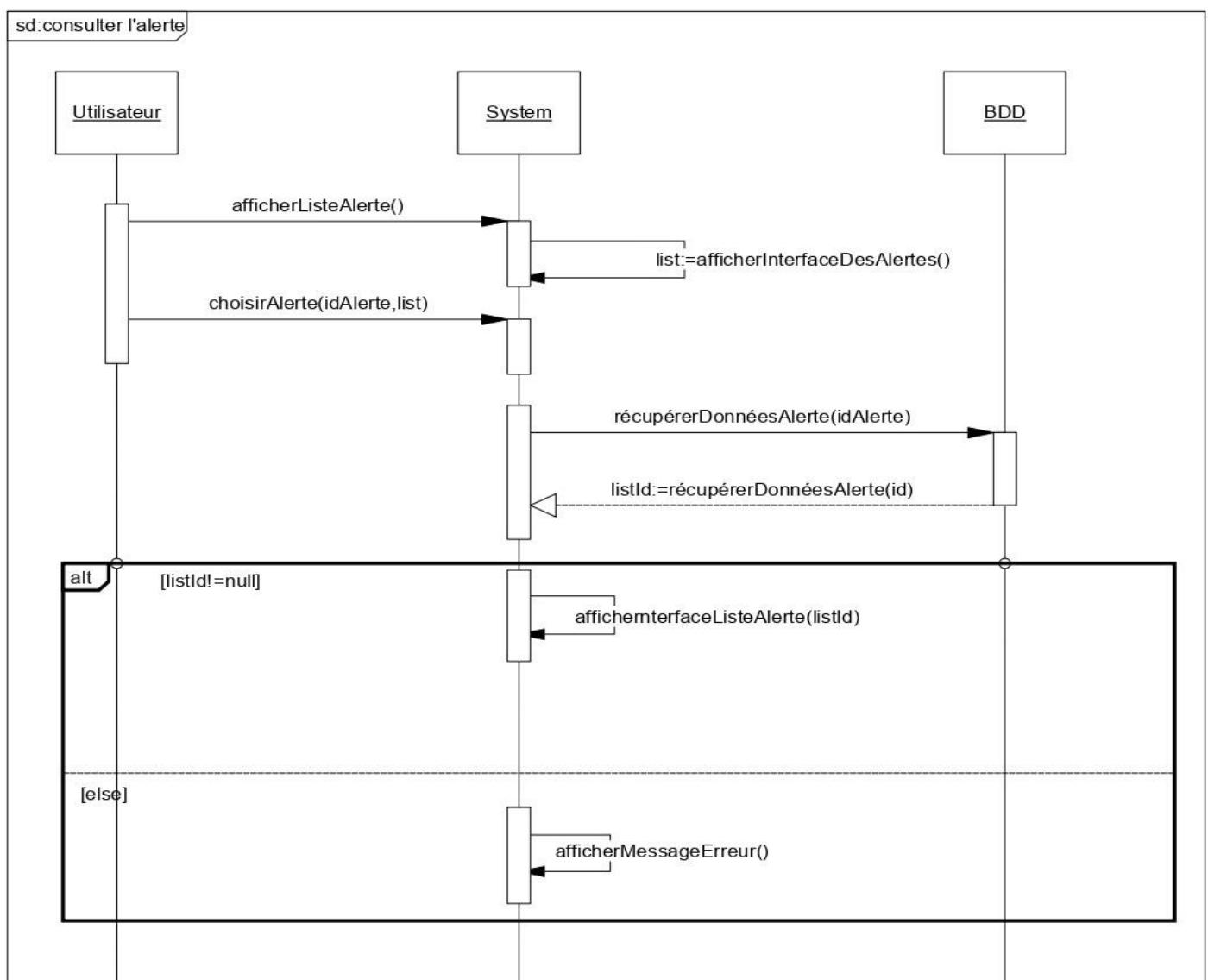


Figure 10 : Diagramme de séquence en boîte noire « Consulter les alertes »

- Etude de cas d'utilisation « Suivre l'évolution de l'éruption »

Cas d'utilisation	Description textuelle
«Suivre l'évolution de l'éruption»	<p><b>Cas d'utilisation</b></p> <p><b>Titre :</b> Suivre l'évolution de l'éruption  <b>Acteurs principaux :</b> Utilisateur  <b>Acteur secondaire :</b> Base de données (BDD), Système</p> <p><b>Résumé :</b>  L'utilisateur suit l'évolution d'une éruption volcanique en consultant les données et les graphiques associés.</p> <p><b>Préconditions :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'utilisateur doit être connecté au système.</li> <li>• Il doit avoir accès à l'interface de suivi de l'éruption.</li> </ul> <p><b>Postconditions :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les données d'évolution sont affichées ou un message d'erreur est affiché.</li> </ul>

Figure 11 : Description textuelle de cas d'utilisation «Suivre l'évolution de l'éruption»

- Scénario nominal

Acteur	Système
1. L'utilisateur demande à suivre l'évolution de l'éruption.	
	2. Le système récupère les données d'évolution
	3. Les graphiques et informations sont affichés.

Figure 12 : Scénario nominal de cas d'utilisation « Suivre l'évolution de l'éruption »

- Scénario alternatif

2.a	Données indisponibles ou système non à jour Le système affiche : « Données indisponibles pour le moment » Le scénario reprend depuis l'étape 1 lorsque les données sont disponibles
2.a.1	
2.a.2	

Figure 13 : Enchainement alternatif des erreurs de cas d'utilisation «Suivre l'évolution de l'éruption»

- Diagramme de séquence en boîte noire

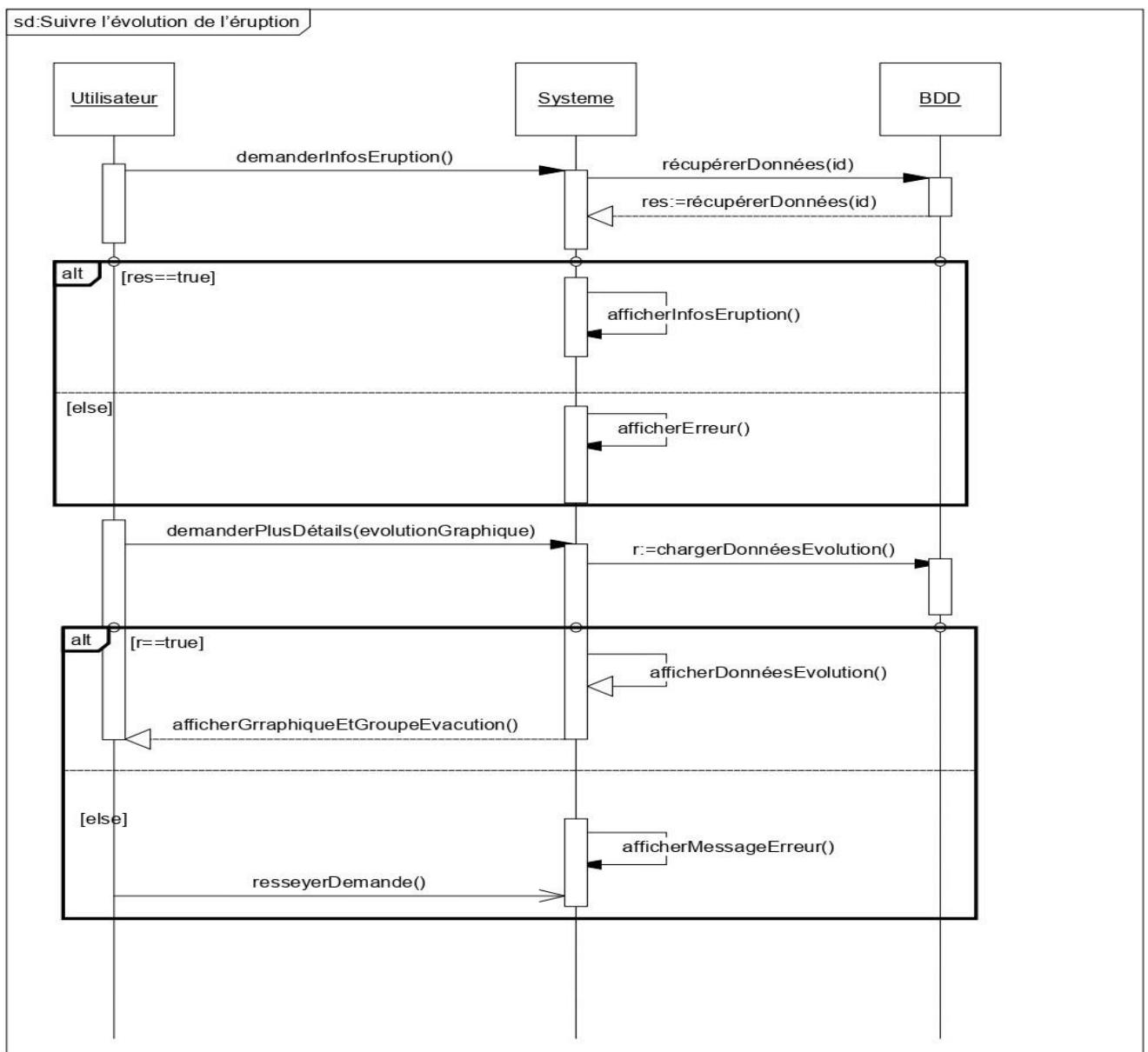


Figure 14 : Diagramme de séquence en boîte noire «Suivre l'évolution de l'éruption»

- Etude de cas d'utilisation « Gérer les alertes »

Cas d'utilisation	Description textuelle
«Gérer les alertes»	<p>Cas d'utilisation  <b>Titre :</b> Gérer les alertes  <b>Acteurs principaux :</b> Responsable d'équipe d'urgence  <b>Acteur secondaire :</b> Base de données (BDD), Système</p> <p><b>Résumé :</b>  Le responsable gère les alertes en les mettant à jour ou en les affichant.</p> <p><b>Préconditions :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le responsable doit être connecté au système.</li> <li>• Il doit avoir accès à l'interface de gestion des alertes.</li> </ul> <p><b>Postconditions :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les alertes sont mises à jour ou un message d'erreur est affiché.</li> </ul>

Figure 15 : Description textuelle de cas d'utilisation «Gérer les alertes»

- Scénario nominal

Acteur	Système
1. Le responsable choisit une alerte à gérer.	
	2. Le système affiche les options de mise à jour.
3. Le responsable effectue les modifications nécessaires	
	4. Le système enregistre les modifications dans la BDD

Figure 16 : Scénario nominal de cas d'utilisation « Gérer les alertes »

- Scénario alternatif

4.a	Si une erreur se produit lors de la mise à jour, un message d'erreur est affiché.
-----	---

Figure 17 Enchainement alternatif des erreurs de cas d'utilisation «Gérer les alertes»

Diagramme de séquence en boîte noir

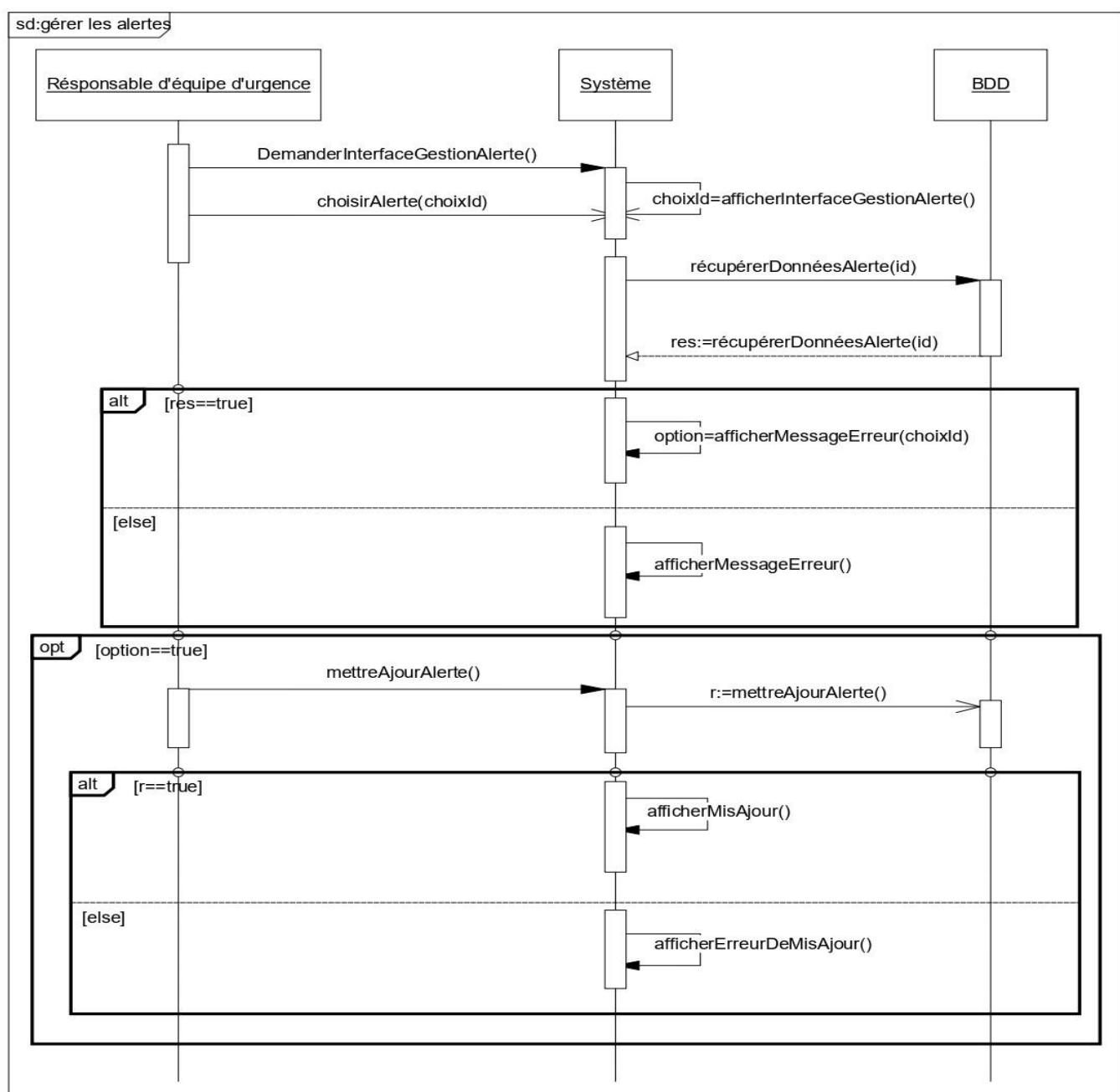


Figure 18 : Diagramme de séquence en boîte noire «Gérer les alertes»

- Etude de cas d'utilisation « Gérer l'évacuation »

Cas d'utilisation	Description textuelle
«Gérer l'évacuation»	<p><b>Titre :</b> Gérer l'évacuation</p> <p><b>Acteurs principaux :</b> Responsable d'équipe d'urgence</p> <p><b>Acteurs secondaires :</b> BDD, Système</p> <p><b>Résumé :</b> Le responsable gère le processus d'évacuation en enregistrant le début de l'évacuation et en affichant les zones à évacuer.</p> <p><b>Description des scénarios :</b></p> <p><b>Préconditions :</b> Le responsable doit être connecté au système. Il doit avoir accès à l'interface de gestion de l'évacuation.</p> <p><b>Postconditions :</b> Les données d'évacuation sont enregistrées ou un message d'erreur est affiché.</p>

Figure 19 : Description textuelle de cas d'utilisation « Gérer l'évacuation »

- Scénario nominal

Acteur	Système
1- Le responsable commence l'opération d'évacuation.	
	2- Le système enregistre le début de l'évacuation.
3- Les zones à évacuer sont affichées.	
	4. Le responsable peut visualiser les données d'évacuation.

Figure 20 : Scénario nominal de cas d'utilisation « Gérer l'évacuation»

- Scénario alternatif

4.a	Si une erreur survient, un message d'erreur est affiché.
-----	--

Figure 21 : Enchainement alternatif des erreurs de cas d'utilisation «Gérer l'évacuation»

### Diagramme de séquence en boîte noire

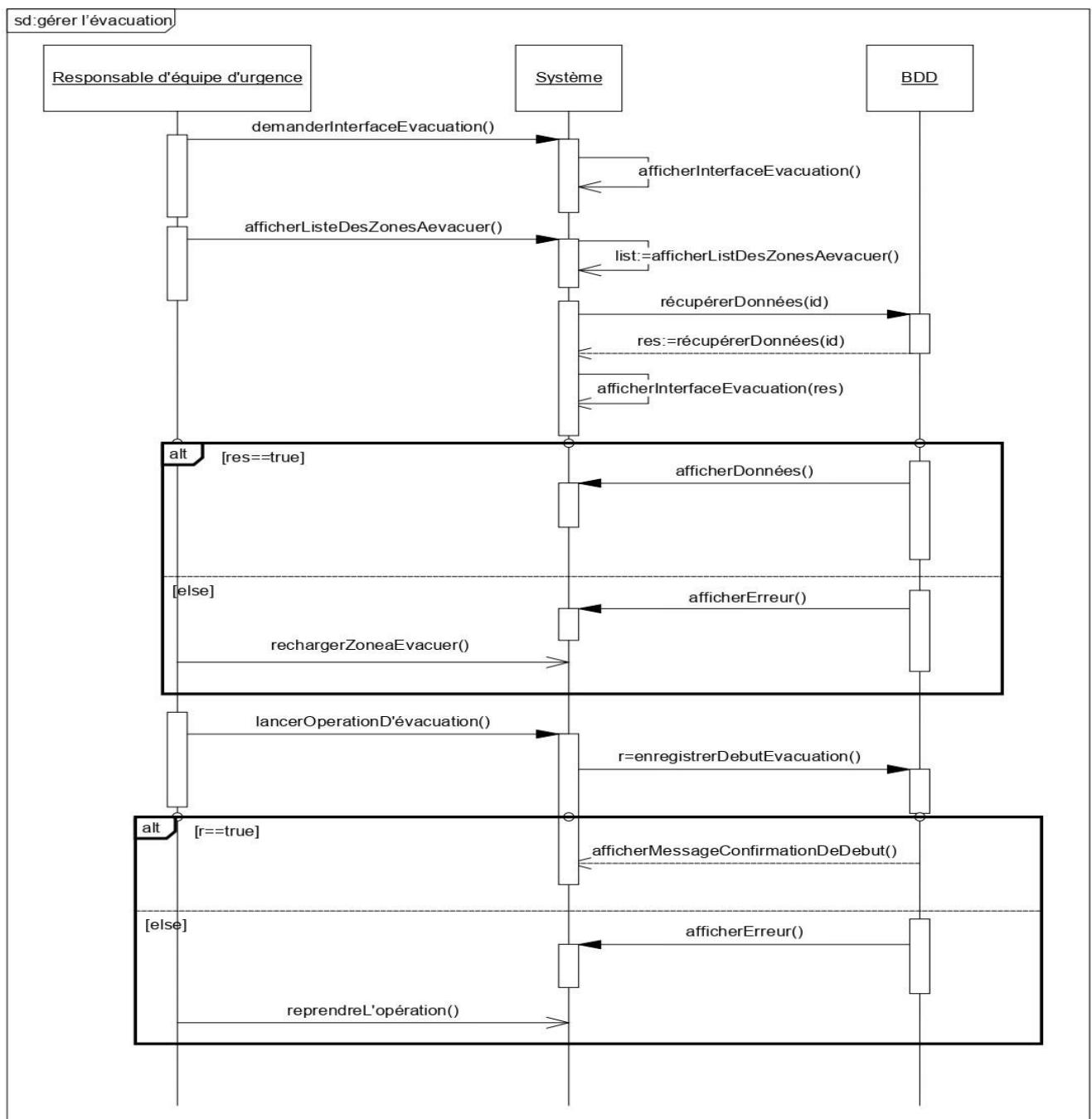


Figure 22 : Diagramme de séquence en boîte noire «Gérer l'évacuation»

- Etude de cas d'utilisation «Envoyer des données scientifiques»

Cas d'utilisation	Description textuelle
«Envoyer des données scientifiques»	<p><b>Titre : Envoyer des données scientifiques</b></p> <p><b>Acteurs principaux :</b> Sentinel</p> <p><b>Acteurs secondaires :</b> Système, BDD</p> <p><b>Résumé :</b> La sentinelle envoie des données scientifiques au système après vérification des données..</p> <p><b>Description des scénarios :</b></p> <p><b>Préconditions :</b></p> <p>La sentinelle doit être connectée au système.</p> <p>Les données scientifiques doivent être prêtes à être envoyées.</p> <p><b>Postconditions :</b></p> <p>Les données sont enregistrées dans la base de données ou un message d'erreur est affiché.</p>

Figure 23 : Description textuelle de cas d'utilisation «Envoyer des données scientifiques»

- Scénario nominal

Acteur	Système
1- La sentinelle entre les données scientifiques.	
	2- Le système vérifie la validité des données.
	3- Si les données sont valides, elles sont stockées dans la BDD.
	4. Un message de succès est affiché.

Figure 24 : Scénario nominal de cas d'utilisation «Envoyer des données scientifiques»

- Scénario alternatif

2.a	Si les données ne sont pas valides, le système affiche un message d'erreur et demande à la sentinelle de réessayer.
-----	---

Figure 25 : Enchainement alternatif des erreurs de cas d'utilisation «Envoyer des données scientifiques»

Diagramme de séquence en boîte noir

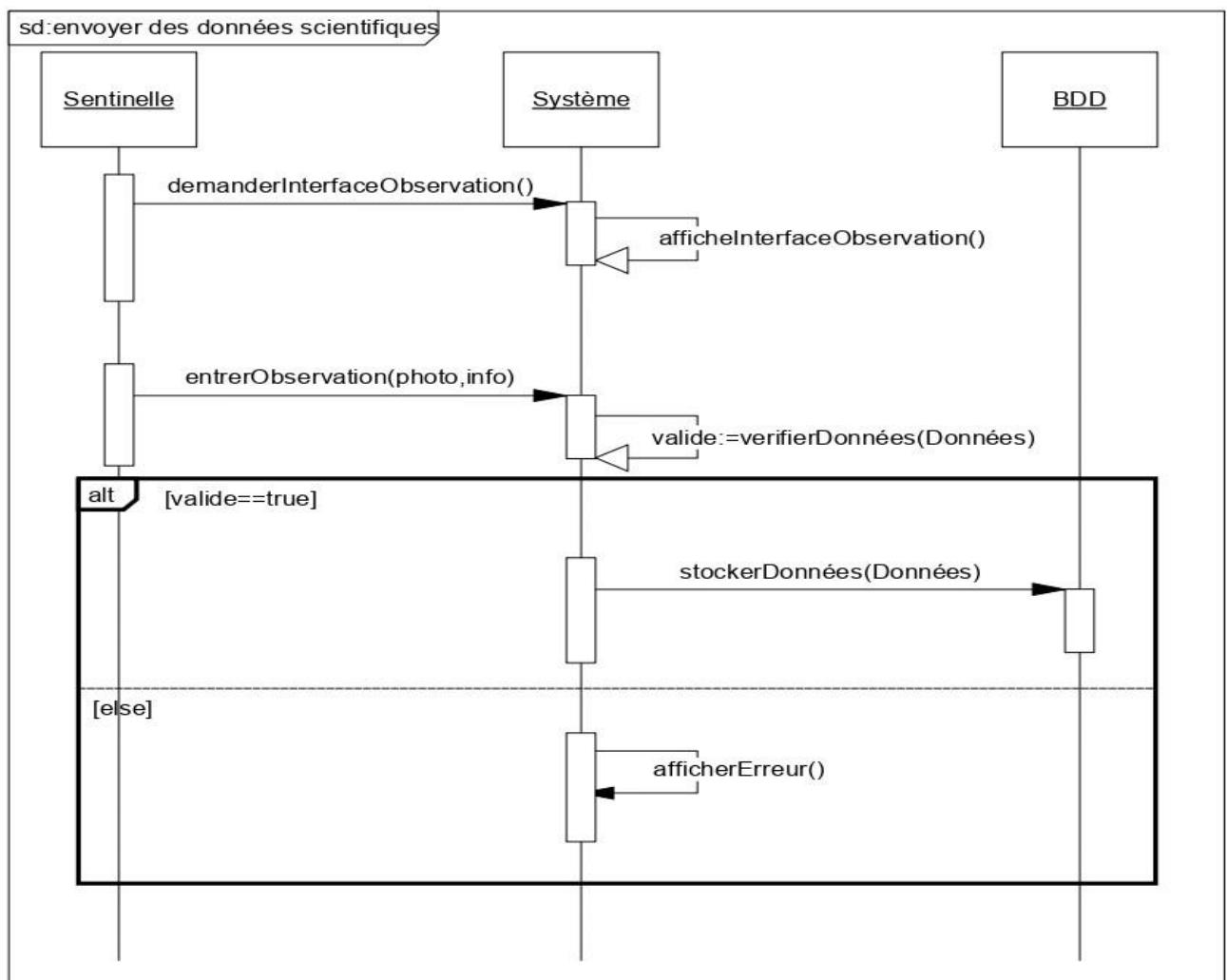


Figure 26 : Diagramme de séquence en boîte noire «Analyser les données volcaniques»

# 3. Environnement de travail

## 3.1 Introduction

Après avoir effectué l'étude et la conception de notre application, nous passerons à la phase d'implémentation. Ce chapitre va être réservé aux technologies et logiciels utilisées dans le développement de cette application.

## 3.2 Environnement matériel

- Ordinateur hp

Processeur : Intel(R) Core (TM) i5-6300U CPU @ 2.40GHz 2.50 GHz

Mémoire RAM : 8,00 Go

Type du système : Système d'exploitation 64 bits, processeur x64

- Ordinateur hp

Processeur : Intel(R) Core (TM) i5-6300U CPU @ 2.40GHz 2.50 GHz

Mémoire RAM : 16.00 GB

Type du système : Système d'exploitation 64 bits, processeur x64

## 3.3 Environnement logiciel

- 1) PowerAMC



On utilisera comme outil de modélisation **PowerAMC**, puisqu'il offre une interface graphique conviviale pour créer des schémas de bases de données, des diagrammes (classes, cas d'utilisation, séquences ...) etc.). Il prend en charge diverses normes et notations de modélisation, telles qu'UML, Merise...

- 2) Visual Studio



Visual Studio, développé par Microsoft, est un environnement de développement intégré (IDE) conçu

pour faciliter le processus de développement logiciel.

Avec ses fonctionnalités avancées d'édition de code, de débogage, d'intégration avec Azure et de personnalisation, Visual Studio offre un cadre complet pour le développement efficace d'applications. Dans notre projet de gestion de crèche, nous utiliserons Visual Studio comme principal outil de développement pour créer et déployer notre application web.

### 3.4 Technologies utilisée

#### 1) HTML



html est un langage de programmation standard utilisé pour créer et structurer le contenu des pages web. Il utilise une syntaxe basée sur des balises pour décrire la structure et le contenu d'une page web.

Les balises HTML définissent différents éléments tels que des titres, des paragraphes, des listes, des images et des liens hypertexte.

Il est généralement utilisée pour :

- **La structure de la page:** pour définir la structure de base de la page, comme le header, la barre de navigation, le contenu principal, le footer.
- **La multimédia:** il nous permettra d'intégrer des contenus multimédias tels que des images, des vidéos
- **Les liens hypertextes :** pour créer des liens hypertextes vers d'autres pages web, des fichiers, des adresses email, etc.
- **Le formulaire :** l'HTML nous permettra de créer des formulaires interactifs pour collecter des données auprès des utilisateurs

#### 2) CSS

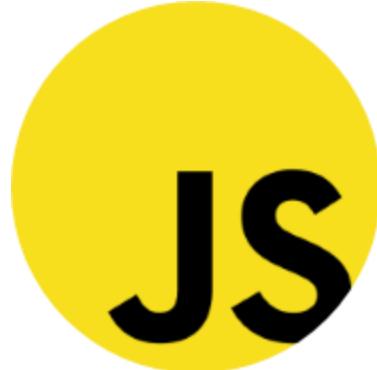


CSS est un langage de style utilisé pour définir la présentation et l'apparence des documents HTML. Il permet aux développeurs web de contrôler la mise en page, les couleurs, les polices de caractères, les espacements et d'autres aspects visuels des éléments HTML d'une page. En utilisant des règles de style

CSS, les développeurs peuvent créer des designs cohérents et attrayants pour leurs sites web.

- **La mise en page et la mise en forme** : on utilisera CSS pour contrôler la mise en page des éléments HTML sur une page web. Cela inclut la gestion des marges, des rembourrages, des bordures, des alignements, des dimensions et de la disposition des éléments.
- **La stylisation du texte** : CSS permet de styliser le texte en définissant la police, la taille, la couleur, le gras, l'italique, le soulignement, l'espacement des caractères et d'autres propriétés de texte.
- **La gestion des images** : CSS permet de contrôler la taille, l'alignement, la mise en page et les propriétés des images intégrées dans une page web.
- **Le contrôle des formulaires** : CSS peut être utilisé pour styliser les éléments de formulaire HTML tels que les champs de texte, les boutons, les menus déroulants, les cases à cocher, etc.
- **Les médias adaptatifs** : CSS offre des fonctionnalités telles que les Media Queries qui permettent de créer des designs réactifs et adaptatifs qui s'ajustent automatiquement aux différentes tailles d'écran et aux appareils.

### 3) JavaScript



JavaScript est un langage de programmation polyvalent utilisé pour ajouter de l'interactivité et des fonctionnalités dynamiques aux sites web. Il permet de manipuler le contenu HTML, de répondre aux interactions utilisateur, de valider les formulaires, d'effectuer des animations, de charger des données dynamiquement, et bien plus encore. JavaScript est largement utilisé dans le développement web et est pris en charge par tous les principaux navigateurs web.

- **Interactivité utilisateur** : JavaScript permet d'ajouter des interactions dynamiques à une page web. Par exemple, on peut rendre des éléments de la page cliquables, réagir aux événements de l'utilisateur comme le survol de la souris, le défilement, les clics, etc.
- **Validation de formulaire** : JavaScript peut être utilisé pour valider les données saisies par l'utilisateur dans les formulaires HTML avant leur soumission au serveur. Cela permet de fournir un feedback instantané à l'utilisateur et d'éviter les erreurs de saisie.
- **Animations et effets visuels avancés** : JavaScript permet de créer des animations et des effets visuels avancés qui ne sont pas possibles avec CSS seul. On peut créer des animations de transition, des effets de défilement, etc., pour rendre notre site web plus attractif et interactif.

#### 4) Node.js



Node.js est un environnement d'exécution JavaScript côté serveur qui permet d'exécuter du code JavaScript côté serveur, ouvrant ainsi de nouvelles possibilités pour le développement d'applications web et de serveurs. Grâce à son architecture événementielle et non bloquante, Node.js est particulièrement adapté aux applications web hautement extensibles et performantes.

- **Performance élevée :** Grâce à son moteur JavaScript V8, Node.js exécute rapidement les codes, permettant ainsi des temps de réponse rapides pour les applications.
- **Modèle événementiel non bloquant :** Node.js utilise un modèle événementiel qui permet à plusieurs requêtes d'être traitées simultanément sans bloquer le serveur, assurant ainsi une meilleure réactivité.
- **Écosystème dynamique :** Node.js dispose d'un vaste écosystème de modules et de bibliothèques qui peuvent être facilement intégrés dans les applications.
- **Développement rapide :** Avec la réutilisation du code JavaScript côté serveur et côté client, Node.js permet un développement plus rapide et une meilleure synchronisation entre les deux.
- **Scalabilité :** Node.js est bien adapté aux applications nécessitant une grande extensibilité, car il peut gérer efficacement des charges de travail élevées grâce à son modèle non bloquant.
- **Large adoption :** De nombreuses entreprises de renom utilisent Node.js pour leurs applications, ce qui témoigne de sa fiabilité et de sa capacité à répondre aux besoins complexes.

### 3. 5 Base de données « NoSQL »

#### 3.5.1 Définition

Les bases de données NoSQL est un type de système de gestion de base de données conçu pour le stockage et l'interrogation de données en dehors des structures traditionnelles des bases de données relationnelles.

Elles offrent une évolutivité rapide pour gérer des ensembles de données volumineux et non structurés, sans nécessiter de schéma prédefini.

Ces bases de données sont distribuées, garantissant ainsi la disponibilité et la fiabilité des données, ce qui

en fait un choix populaire pour les applications modernes nécessitant des performances élevées et une évolutivité rapide.

### 3.5. 2 Types de bases de données NoSQL

Contrairement aux bases de données SQL, qui fonctionnent toutes sur le même principe, il existe plusieurs types de bases de données NoSQL :

- Orientés documents :

Les bases de données orientées documents stockent les données dans des documents au format JSON ou BSON, offrant une structure flexible et hiérarchique pour stocker des informations complexes.

- Clé valeur :

Les bases de données orientées clé-valeur stockent les données sous forme de paires clé-valeur simples, offrant une récupération rapide des données et une grande évolutivité pour les applications nécessitant un stockage de données simple et efficace.

- Orientés colonnes :

Les bases de données orientées colonnes stockent les données dans des colonnes plutôt que dans des lignes, ce qui permet une récupération plus efficace des données spécifiques et une compression optimisée des données.

- Orienté graphe :

Les bases de données orientées graphe stockent les données sous forme de noeuds, de relations et de propriétés, permettant une modélisation puissante des données interconnectées et des requêtes sophistiquées pour les réseaux complexes.

### 3.5. 3 MongoDB

#### a) Définition :

MongoDB est un système de gestion de base de données orienté documents, open source et distribué, conçu pour stocker, interroger et gérer des données de manière flexible et scalable. Il utilise une structure de données de type JSON (JavaScript Object Notation) pour stocker les informations, ce qui permet une modélisation des données flexible et hiérarchique.

#### b) Les avantages :

- **Structure flexible des données** : il permet de stocker des données non structurées, semi-structurées ou polymorphes sans imposer de schéma fixe, offrant ainsi une grande flexibilité dans la modélisation des données.
- **Évolutivité horizontale** : il est conçu pour fonctionner sur des clusters de serveurs, ce qui permet d'ajouter facilement de nouveaux noeuds pour augmenter la capacité de stockage et la tolérance aux pannes.
- **Haute disponibilité** : il offre des fonctionnalités intégrées de réPLICATION et de tolérance aux pannes, garantissant une disponibilité élevée et une récupération automatique en cas de défaillance du serveur.

- **Performances élevées** : il utilise un modèle de stockage optimisé et des index pour assurer des performances élevées lors de la lecture et de l'écriture de données, même à grande échelle.
- **Facilité de développement** : Avec son interface de requête basée sur JSON et son support pour de nombreux langages de programmation, MongoDB est facile à utiliser et à intégrer dans les applications modernes.

## 3.6 Choix de MongoDB:

Nous avons choisi MongoDB pour sa capacité à gérer la nature variée et dynamique des données liées à la détection et au suivi des éruptions volcaniques. Cette base de données NoSQL offre une grande flexibilité dans la modélisation des informations essentielles telles que les prévisions , les alertes en temps réel, les données des capteurs et les plans d'évacuation.

MongoDB permet également de stocker des relations complexes entre les différents acteurs du système (scientifiques, autorités, équipes de secours, sentinelles), et sa scalabilité facilite l'adaptation aux besoins évolutifs de l'application. Grâce à ses fonctionnalités de requête avancées et à sa gestion efficace des gros volumes de données, MongoDB est un choix idéal pour un système de surveillance et de réponse aux éruptions volcaniques.

## 3.7 Récupération des données :

Dans le cadre du système de surveillance et de détection des éruptions volcaniques, les données sont automatiquement collectées à partir de plusieurs plateformes ouvertes et reconnues pour leur fiabilité scientifique :

- **USGS (United States Geological Survey)** : fournit des informations détaillées sur l'activité volcanique, telles que la magnitude des événements, leur localisation, et leur nature.
- **Open-Meteo** : offre des données météorologiques en temps réel, indispensables pour évaluer l'influence des conditions climatiques sur l'activité volcanique.
- **GVP (Global Volcanism Program)** : constitue une source de référence pour les historiques d'éruptions et les caractéristiques géophysiques des volcans.
- **NOVAC (Network for Observation of Volcanic and Atmospheric Change)** : permet d'accéder à des mesures précises de gaz volcaniques, notamment les concentrations de SO<sub>2</sub>.

Ces données sont collectées via des interfaces de programmation (API) et centralisées dans notre base de données pour être analysées en continu.

## 3.8 Tri et traitement des données :

Une fois les données récupérées, un traitement préliminaire est effectué afin d'assurer leur qualité et leur cohérence. Ce processus inclut :

- L'élimination des valeurs aberrantes ou manquantes,
- Le regroupement des données par type (gaz, données sismiques, données météo, déformation sol)
- La structuration des données selon des critères temporels et géographiques.

Cette phase permet de préparer les données à des analyses plus poussées, tout en garantissant une meilleure fiabilité des résultats.

### **3 .9 Étiquetage et traitement intelligent des données :**

Les données environnementales collectées telles que les concentrations de gaz volcaniques ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ) ou les mesures de déformation du sol sont initialement de nature brute, c'est-à-dire dépourvues d'interprétation directe. Pour les rendre exploitables dans un système de détection et de suivi en temps réel des éruptions volcaniques, un processus automatisé d'étiquetage a été mis en place.

Ce processus débute par un filtrage intelligent, visant à éliminer les données bruitées ou incohérentes à l'aide de règles statistiques et de contrôles croisés entre différents paramètres. Par exemple, un pic isolé de  $\text{SO}_2$  sans variation correspondante de  $\text{CO}_2$  ou de déformation du sol est ignoré afin de limiter les fausses alertes.

Une fois les données filtrées, elles sont interprétées selon des règles d'étiquetage reposant sur plusieurs critères croisés : les flux quotidiens de  $\text{SO}_2$  et de  $\text{CO}_2$ , le ratio entre les deux, ainsi que l'intensité de la déformation du sol. Ces règles permettent de classer l'activité volcanique selon six niveaux d'alerte hiérarchisés :

- **Très faible** : ce niveau correspond à une activité minimale, avec des valeurs inférieures à tous les seuils établis.
- **Faible** : atteint lorsque le ratio  $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  est supérieur ou égal à 1, ou que la déformation du sol dépasse 1 mm.
- **Modéré** : déclenché dès que le ratio dépasse 2 ou que la déformation atteint ou dépasse 2 mm, indiquant des premiers signes d'instabilité.
- **Élevé** : caractérisé par des flux de  $\text{SO}_2$  supérieurs à 1 000 tonnes/jour, de  $\text{CO}_2$  supérieurs à 1 370 tonnes/jour, un ratio  $\geq 5$  ou une déformation  $\geq 5$  mm, signalant un accroissement notable de l'activité.
- **Très élevé** : atteint lorsque le  $\text{SO}_2$  dépasse 5 000 tonnes/jour, le  $\text{CO}_2$  dépasse 5 000 tonnes/jour, ou lorsque le ratio est supérieur ou égal à 10, ou encore une déformation d'au moins 10 mm.
- **Critique** : ce niveau d'alerte maximal est activé lorsque les concentrations de  $\text{SO}_2$  ou de  $\text{CO}_2$  dépassent 10 000 tonnes/jour, le ratio atteint ou dépasse 20, ou que la déformation du sol excède 20 mm. Il indique une activité éruptive imminente ou en cours.

Sur le plan technique, les données sont automatiquement récupérées toutes les 15 minutes via des appels API externes effectués avec la bibliothèque Axios, assurant un rafraîchissement régulier et fiable.

L'analyse est automatisée à l'aide de node-cron, tandis que le traitement serveur repose sur Node.js. Les données sont stockées dans MongoDB Atlas, une base NoSQL en cloud, avec des interactions facilitées par Mongoose. Les fichiers sources (CSV) sont traités avec csv-parser, et les résultats peuvent être exportés en fichiers Excel à l'aide de XLSX. La gestion sécurisée des variables d'environnement est assurée via dotenv.

Ce dispositif intelligent et entièrement automatisé assure une surveillance continue, précise et évolutive de l'activité volcanique, et constitue une base solide pour la prise de décision rapide en cas de crise. Voici l'interface qui montre cela:

### VolcanoAlert

Tous les niveaux
Actualiser
Exporter Excel

NOM DU VOLCAN	NIVEAU CLASSIFICATION	CO <sub>2</sub> (PPM)	SO <sub>2</sub> (PPM)	DÉFORMATION (MM)	NIVEAU AVANT	NIVEAU APRÈS	COORDONNÉES	DERNIÈRE ÉRUPTION	DESCRIPTION
Etna	<span>ÉLEVÉ</span>	931	210	3.29	<span>MODÉRÉ</span>	<span>ÉLEVÉ</span>	51.9573°, -105.8608°	2021	Le volcan Etna présente actuellement activité volcanique en augmentation, vigilance recommandée. Niveau Élevé. CO <sub>2</sub> : 931 ppm, SO <sub>2</sub> : 210 ppm, déformation: 3.29 mm. Suivez les recommandations des autorités locales.
Stromboli	<span>CRITIQUE</span>	268	18	19.6	<span>CRITIQUE</span>	<span>CRITIQUE</span>	-22.7691°, 86.5987°	2008	Le volcan Stromboli présente actuellement activité volcanique significative détectée, préparez-vous à une éventuelle évacuation. Niveau Critique. CO <sub>2</sub> : 268 ppm, SO <sub>2</sub> : 18 ppm, déformation: 19.60 mm. Suivez les recommandations des autorités locales.
Vesuvius	<span>ÉLEVÉ</span>	53	723	9.88	<span>MODÉRÉ</span>	<span>ÉLEVÉ</span>	-70.3844°, 25.6555°	2007	Le volcan Vesuvius présente actuellement activité volcanique en augmentation, vigilance recommandée. Niveau Élevé. CO <sub>2</sub> : 53 ppm, SO <sub>2</sub> : 723 ppm, déformation: 9.88 mm. Suivez les recommandations des autorités locales.
Krakatoa	<span>TRÈS ÉLEVÉ</span>	740	89	15.14	<span>TRÈS ÉLEVÉ</span>	<span>TRÈS ÉLEVÉ</span>	-76.2852°, 85.6425°	2007	Le volcan Krakatoa présente actuellement activité volcanique significative détectée, préparez-vous à une éventuelle évacuation. Niveau Très Élevé. CO <sub>2</sub> : 740 ppm, SO <sub>2</sub> : 87 ppm, déformation: 15.14 mm. Suivez les recommandations des autorités locales.
Mount St. Helens	<span>CRITIQUE</span>	458	67	2.10	<span>TRÈS ÉLEVÉ</span>	<span>CRITIQUE</span>	-57.9535°, 58.6793°	2017	Le volcan Mount St. Helens présente actuellement activité volcanique significative détectée, préparez-vous à une éventuelle évacuation. Niveau Critique. CO <sub>2</sub> : 458 ppm, SO <sub>2</sub> : 67 ppm, déformation: 2.10 mm. Suivez les recommandations des autorités locales.
Eyjafjallajökull	<span>TRÈS ÉLEVÉ</span>	76	297	10.38	<span>ÉLEVÉ</span>	<span>TRÈS ÉLEVÉ</span>	40.4709°, -157.1717°	2022	Le volcan Eyjafjallajökull présente actuellement activité volcanique significative détectée, préparez-vous à une éventuelle évacuation. Niveau Très Élevé. CO <sub>2</sub> : 76 ppm, SO <sub>2</sub> : 297 ppm, déformation: 10.38 mm. Suivez les recommandations des autorités locales.
Popocatépetl	<span>CRITIQUE</span>	650	121	17.27	<span>TRÈS ÉLEVÉ</span>	<span>CRITIQUE</span>	-79.6715°, 173.7770°	2017	Le volcan Popocatépetl présente actuellement activité volcanique significative détectée, préparez-vous à une éventuelle évacuation. Niveau Critique. CO <sub>2</sub> : 650 ppm, SO <sub>2</sub> : 121 ppm, déformation: 17.27 mm. Suivez les recommandations des autorités locales.

Affichage de 1 à 10 sur 28 volcans
Première
Précédent
Page 1 sur 3
Suivant
Dernière

## 3.10 Prédiction de l'activité volcanique :

Le système de prédiction d'activité volcanique repose sur une analyse multi-paramétrique automatisée, intégrant principalement les mesures suivantes : le taux de dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ), le taux de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) et le niveau de déformation du sol. Ces indicateurs sont traités conjointement afin de déterminer un niveau d'activité volcanique précis, basé sur des seuils scientifiques établis à partir de données empiriques et validées.

L'algorithme central du système calcule un niveau scientifique d'alerte en comparant les valeurs mesurées à des seuils prédéfinis issus de la littérature spécialisée, notamment :

- $\text{SO}_2$  : seuils modéré (1 000 t/j), élevé (5 000 t/j) et critique (10 000 t/j) [USGS].
- $\text{CO}_2$  : seuils modéré (1 370 t/j), élevé (5 000 t/j) et critique (10 000 t/j) [Aiuppa et al., 2017].
- Ratio  $\text{CO}_2/\text{SO}_2$  : seuils modéré (5), élevé (10) et critique (20) [Aiuppa et al., 2018].
- Déformation du sol : seuils modéré (5 mm), élevé (10 mm) et critique (20 mm) [NOVAC, 2014].

L'algorithme évalue ces paramètres en appliquant une logique conditionnelle qui classe l'activité volcanique selon les niveaux suivants : *Très faible*, *Faible*, *Modéré*, *Élevé*, *Très élevé* et *Critique*. Ce calcul est effectué pour chaque volcan en base de données, en tenant compte des dernières mesures disponibles. En cas d'atteinte ou de dépassement d'un seuil critique sur l'un des paramètres, le niveau d'alerte maximal est attribué.

Cette analyse est automatisée dans le script serveur développé en Node.js, qui interagit avec la base de données MongoDB via Mongoose. Un processus périodique programmé avec node-cron lance cette analyse toutes les 15 minutes, garantissant ainsi une surveillance continue et en temps réel. Pour chaque volcan, un rapport d'alerte est généré ou mis à jour, incluant le détail des mesures et le niveau d'alerte correspondant.

L'utilisation conjointe de ces indicateurs permet d'améliorer significativement la fiabilité de la prédiction, en réduisant le risque de fausses alertes et en facilitant la détection précoce des signes d'éruption. Ce modèle repose sur des données scientifiques validées, tirées de travaux de référence et de sources reconnues, telles que les publications de l'USGS, les mesures collectées par le réseau NOVAC, les observations sur le terrain effectuées à l'aide d'instruments Multi-GAS, ainsi que les analyses de l'AVO (Alaska Volcano Observatory).

Ces contributions, accessibles via des plateformes spécialisées, constituent une base solide sur laquelle s'appuie notre système pour évaluer de manière rigoureuse les niveaux d'activité volcanique.

## 3.11 Approche intelligente pour la détection et le suivi des éruptions volcaniques

Dans le cadre du développement de notre application de détection et suivi intelligente des éruptions volcaniques, nous exploitons des techniques d'intelligence artificielle afin d'optimiser l'analyse des données multi-sources complexes, notamment les flux de gaz volcaniques ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ), les ratios entre ces gaz, et les mesures de déformation du sol, recueillies en temps réel via des capteurs et des API externes.

Le système repose essentiellement sur un algorithme d'étiquetage basé sur des seuils scientifiques validés, permettant de catégoriser l'état d'activité volcanique en plusieurs niveaux, allant de très faible à critique. Ces seuils s'appuient sur des données empiriques reconnues, telles que les concentrations critiques de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , le ratio  $\text{CO}_2/\text{SO}_2$ , ainsi que les valeurs de déformation du sol.

L'analyse et la prise de décision sont automatisées via des scripts exécutés régulièrement, garantissant une mise à jour continue des prédictions toutes les 15 minutes. Les données sont stockées dans une base MongoDB Atlas, permettant de centraliser les mesures brutes et les résultats des analyses.

L'intelligence artificielle dans ce contexte permet d'assurer une surveillance efficace en combinant les données environnementales pour détecter précocement les signaux indiquant une augmentation d'activité volcanique. Cette approche s'appuie sur des sources scientifiques solides, notamment les travaux du USGS, du projet NOVAC, et de l'AVO, assurant la fiabilité et la pertinence des seuils utilisés.

Ainsi, l'application offre une solution avancée et évolutive pour la détection intelligente des éruptions, facilitant la prise de décision rapide par les équipes de surveillance et la gestion des risques pour les populations exposées

## 4. Conclusion

Ce chapitre a détaillé les fondations techniques et méthodologiques de notre système de détection et de suivi des éruptions volcaniques. Il a mis en lumière les sources scientifiques fiables utilisées pour la collecte automatisée des données, ainsi que les différentes phases de tri, de traitement et d'étiquetage, assurant ainsi la qualité et la pertinence des informations analysées.

Par ailleurs, l'intégration d'une approche d'intelligence artificielle, reposant sur un algorithme d'étiquetage fondé sur des seuils validés, permet une classification automatique et précise des niveaux d'activité volcanique. Ce dispositif, exécuté de manière régulière et automatisée, garantit une surveillance continue en temps réel et facilite la prise de décisions rapides et adaptées face aux risques volcaniques.

## **Chapitre 5 : Analyse et conception**

# 1. Introduction

Cette section est consacrée aux étapes fondamentales du développement de notre système de détection et de suivi des éruptions volcaniques. Pour la conception et la réalisation de notre application, nous avons choisi d'utiliser le formalisme UML, qui permet une modélisation claire et structurée à l'aide de différents diagrammes. Ces outils facilitent la compréhension des interactions entre les acteurs, les processus de surveillance et d'alerte, ainsi que la gestion des données en temps réel.

# 2. Diagramme de classes

Le diagramme de classe est utilisé pour représenter les entités principales du système, telles que les capteurs de surveillance, les alertes, les acteurs impliqués (scientifiques, autorités, équipes de secours) et les bases de données contenant les informations sur les volcans et les plans d'évacuation.

En tant que diagramme statique UML, il décrit la structure du système sans prendre en compte les aspects dynamiques. À l'aide de symboles graphiques pour les classes, les attributs et les méthodes, ce diagramme permet de :

Clarifier l'architecture du système en identifiant les principales entités et leurs propriétés.

Organiser les relations entre les différentes classes, notamment les dépendances entre les capteurs, la base de données et les modules d'analyse.

Définir les interactions clés, telles que la collecte des données, l'analyse des prévisions et la diffusion des alertes.

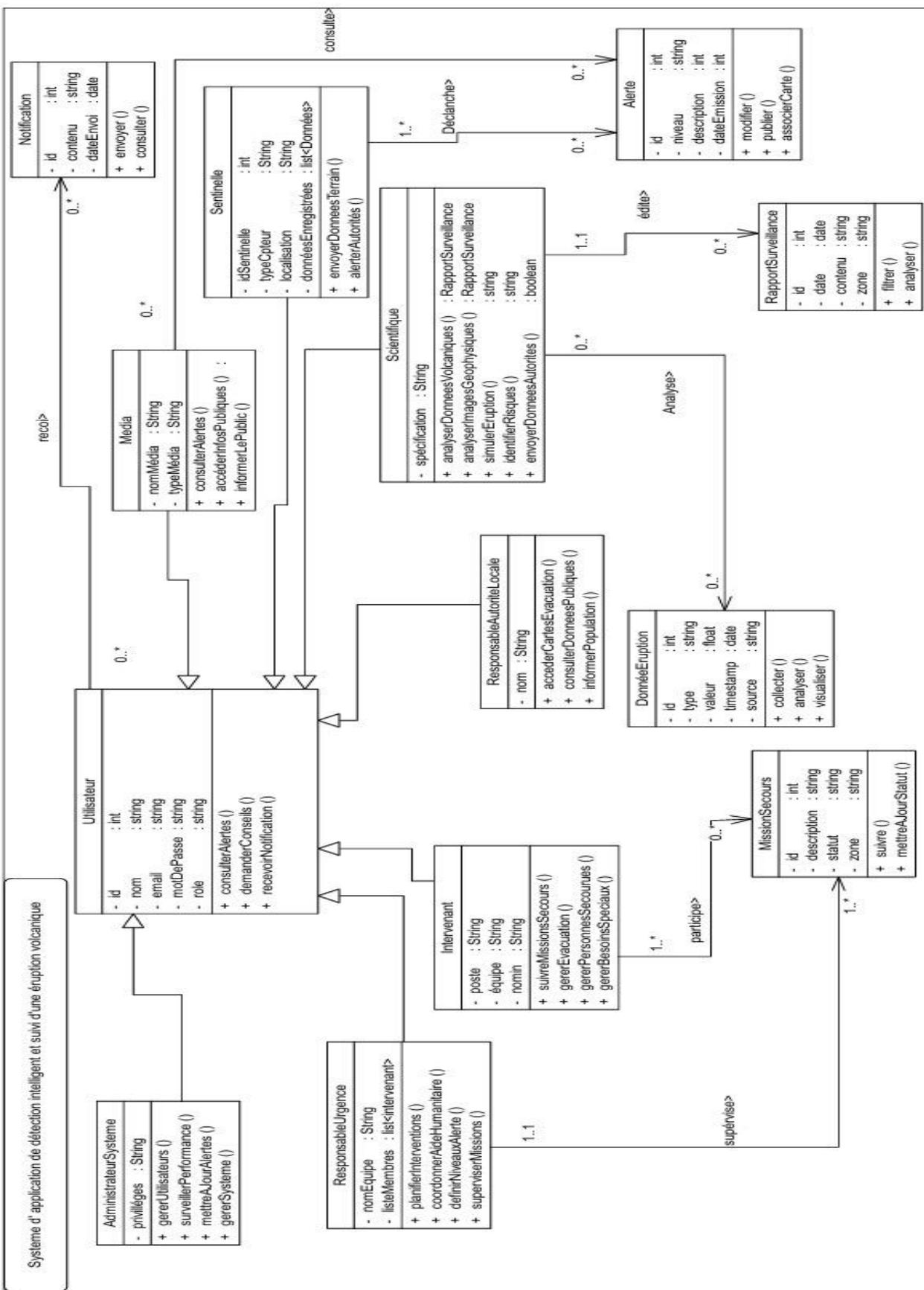


Figure 27 : Diagramme de classes

### 3. Diagramme de séquences en boîte blanche

Le diagramme de séquence en boîte blanche offre une représentation visuelle des interactions entre les différents composants d'un système. Il met en évidence les échanges de messages entre les entités du système, permettant une compréhension claire du flux d'exécution et des dépendances entre les différentes parties du système.

#### 3.1 Cas d'utilisation « s'authentifier »

Le diagramme de séquence en boîte blanche suivant montre comment les composants du système interagissent pour accomplir le processus d'authentification des utilisateurs.

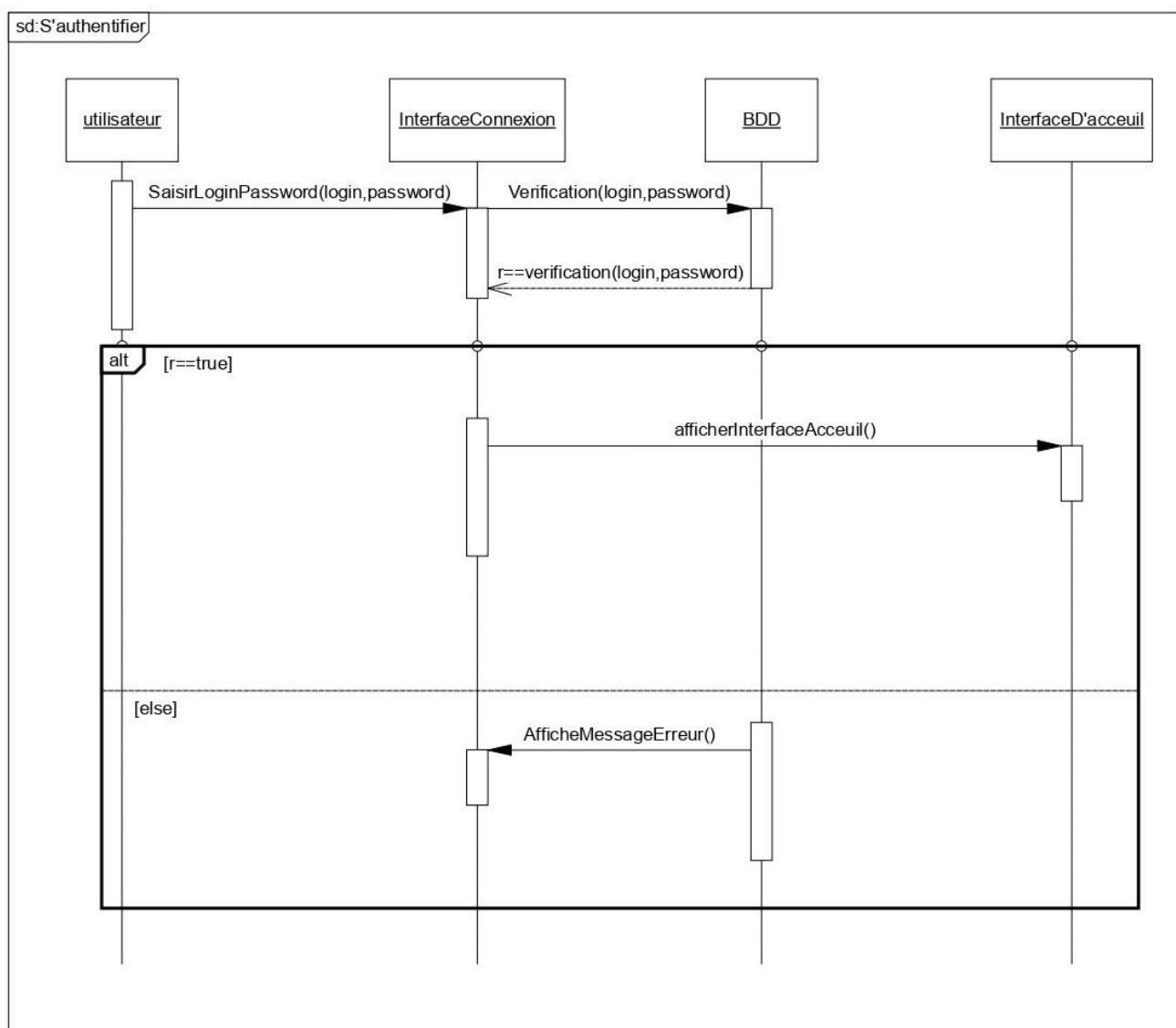


Figure 28 : Diagramme de séquence en boîte blanche « s'authentifier »

### 3.2 Cas d'utilisation «Consulter alerte»

Le diagramme de séquence en boîte blanche « Consulter alerte » illustre les interactions entre l'utilisateur, l'interface des alertes, la base de données et l'interface d'accueil nécessaires pour consulter les détails d'une alerte. L'utilisateur demande à afficher la liste des alertes via l'interface, qui interagit ensuite avec la base de données pour récupérer les données liées à chaque alerte. En cas de succès, l'interface affiche la liste disponible à l'utilisateur. Si aucune donnée n'est trouvée, un message d'erreur est affiché.

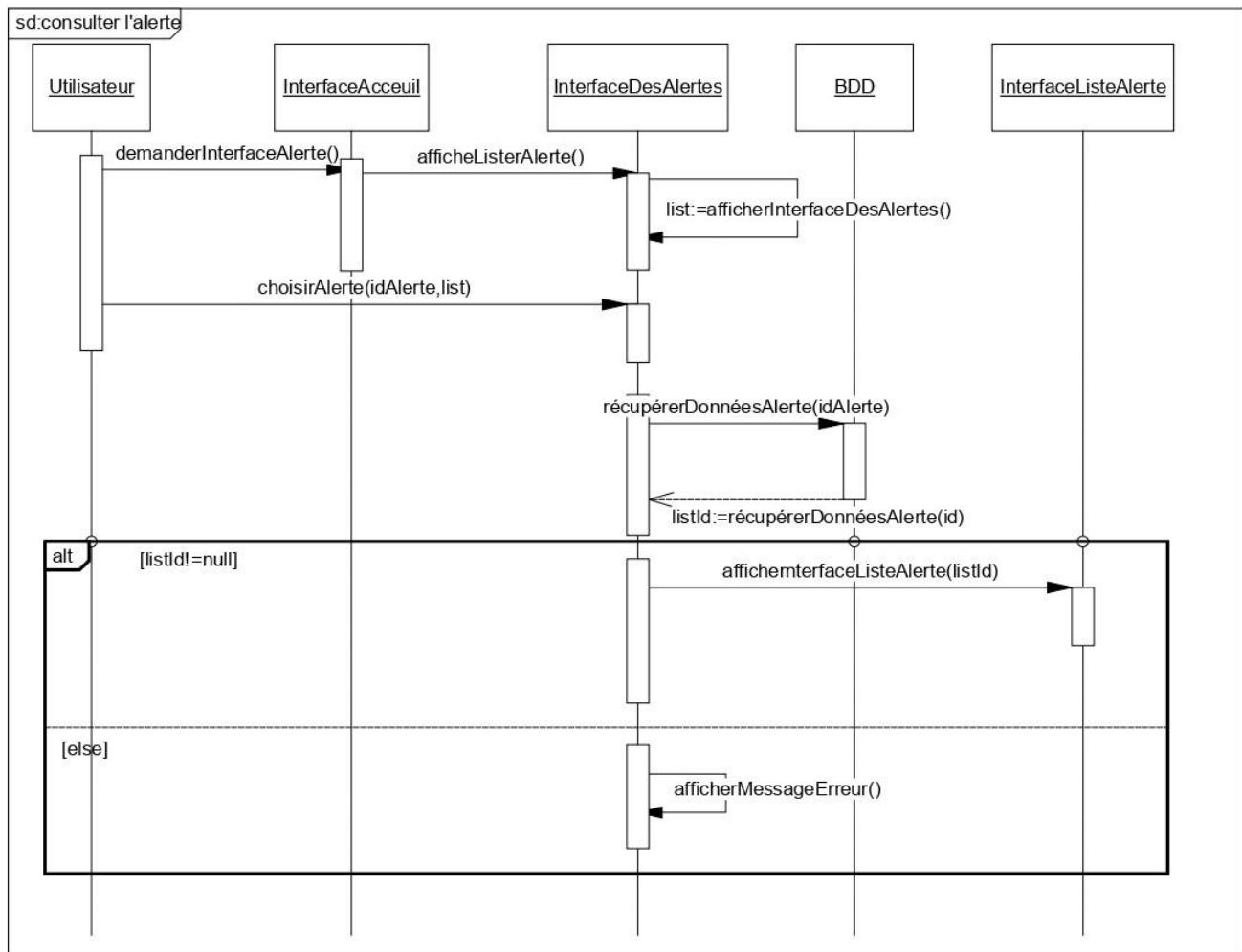


Figure 29 : Diagramme de séquence en boîte blanche «Consulter alerte»

### 3.3 Cas d'utilisation «Envoyer des données scientifiques»

Le diagramme de séquence en boîte blanche « Envoyer des données scientifiques » illustre les échanges entre la sentinelle, les interfaces d'observation et d'accueil, et la base de données lors de l'envoi d'informations scientifiques comme des photos ou observations terrain. Après avoir accédé à l'interface d'observation, la sentinelle saisit les données qui sont ensuite vérifiées. Si elles sont valides, elles sont stockées dans la base de données. En cas d'erreur de validation, un message d'erreur est affiché à l'utilisateur.

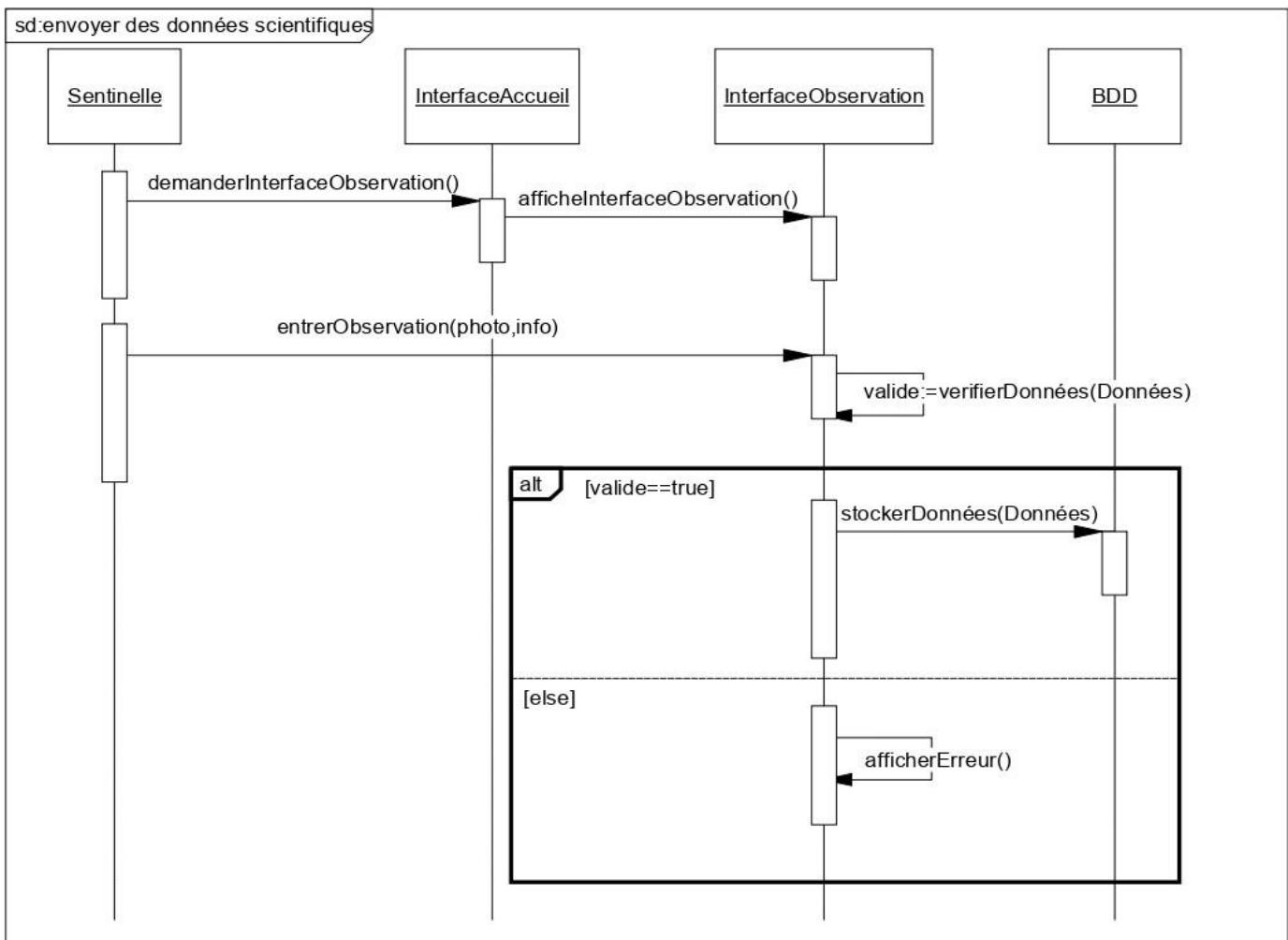


Figure 30 : Diagramme de séquence en boîte blanche «Envoyer des données scientifiques»

### 3.4 Cas d'utilisation « Gérer les alertes »

Le diagramme de séquence en boîte blanche « Gérer les alertes » détaille la coordination entre le responsable d'équipe d'urgence, l'interface de gestion des alertes, l'interface d'accueil et la base de données afin de modifier ou mettre à jour une alerte existante.

Après avoir choisi une alerte via l'interface, les données correspondantes sont récupérées.

Le système permet ensuite de tenter une mise à jour. Si celle-ci réussit, une confirmation est affichée ; sinon, un message d'erreur signale l'échec. Plusieurs chemins alternatifs sont prévus selon les résultats des opérations.

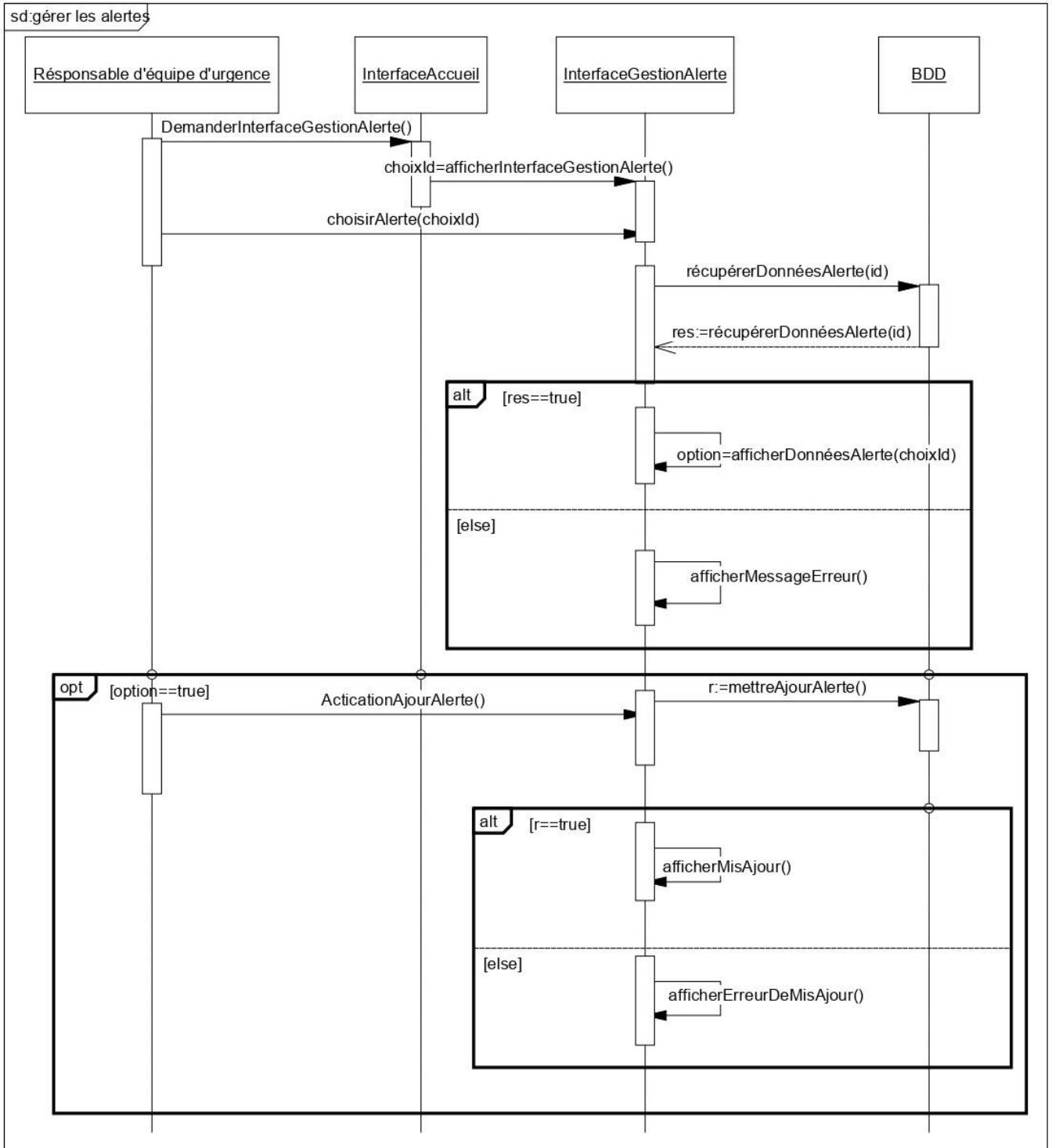


Figure 31 : Diagramme de séquence en boîte blanche «Gérer les alertes»

### 3.5 Cas d'utilisation «Suivre l'évolution de l'éruption»

Ce diagramme montre comment un utilisateur (scientifique) suit l'évolution d'une éruption volcanique, incluant la visualisation de graphiques et de groupes d'évacuation.

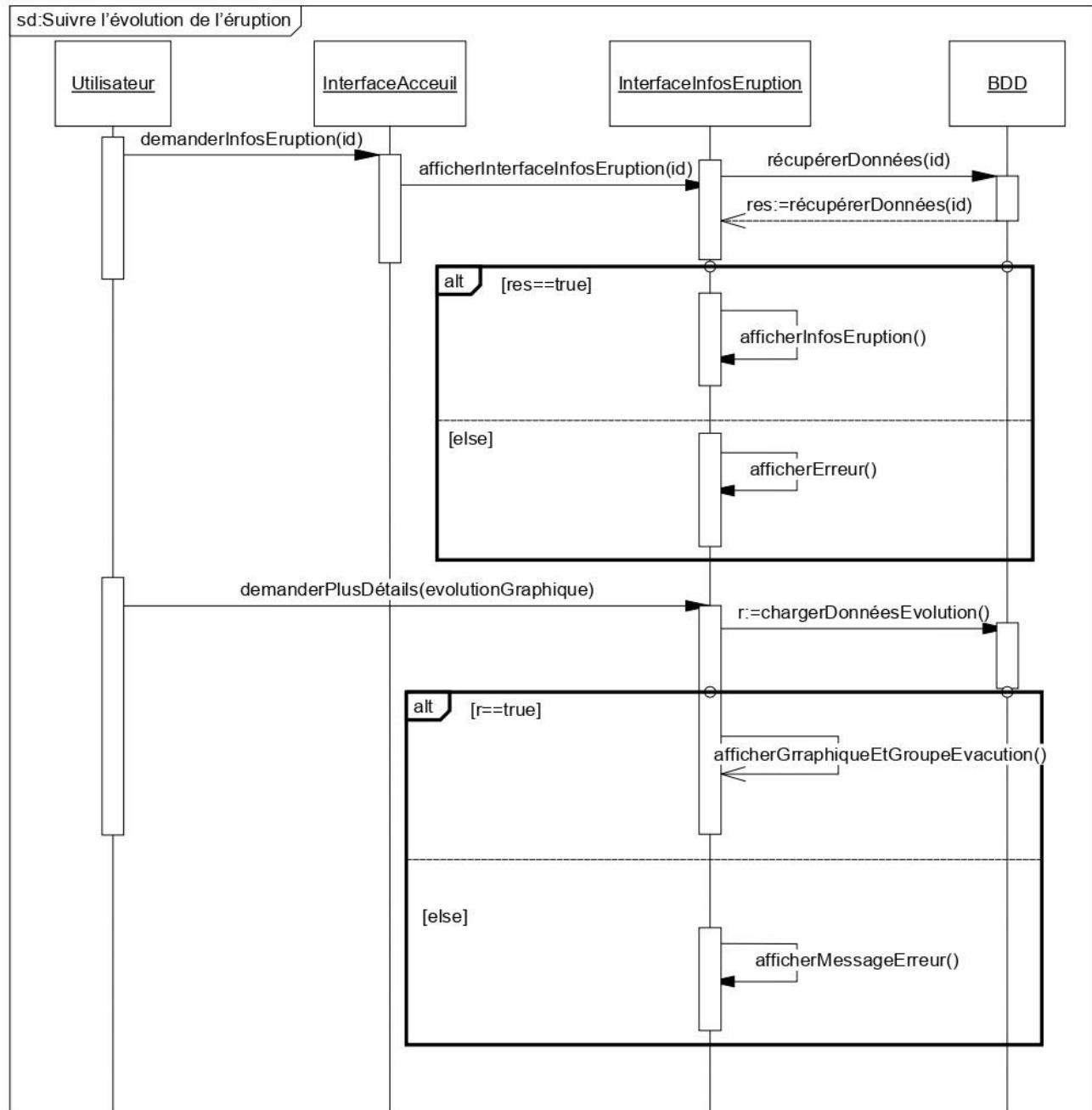


Figure 32: Diagramme de séquence en boîte blanche «Suivre l'évolution de l'éruption»

## 3.6 Cas d'utilisation «Gérer des rapports de surveillance»

Ce diagramme décrit comment un scientifique gérer des rapports de surveillance volcanique.

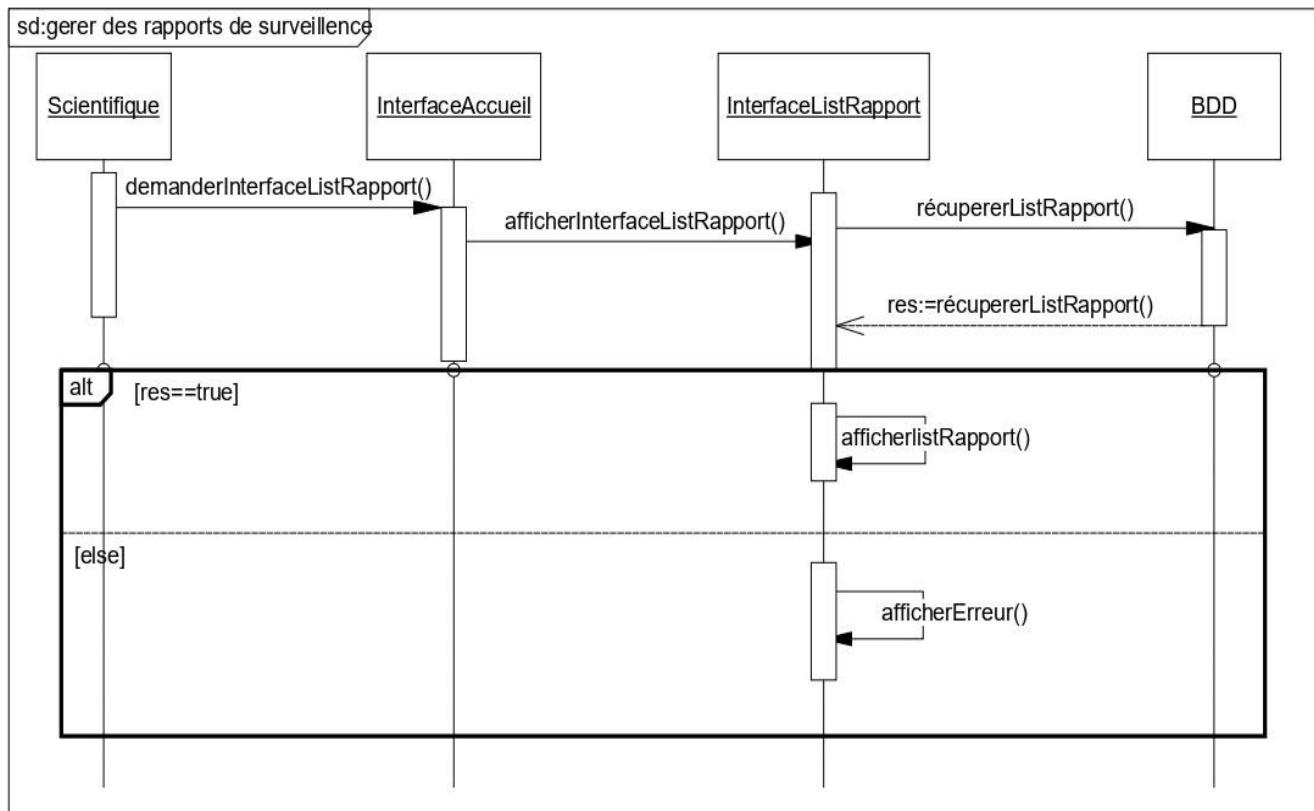


Figure 33 : Diagramme de séquence en boîte blanche «Gérer des rapports de surveillance»

## 3.7 Cas d'utilisation «Gérer utilisateur »

Ce diagramme illustre les interactions entre les composants du système pour gérer les utilisateurs (ajout, modification, affichage). L'administrateur initie le processus via l'interface.

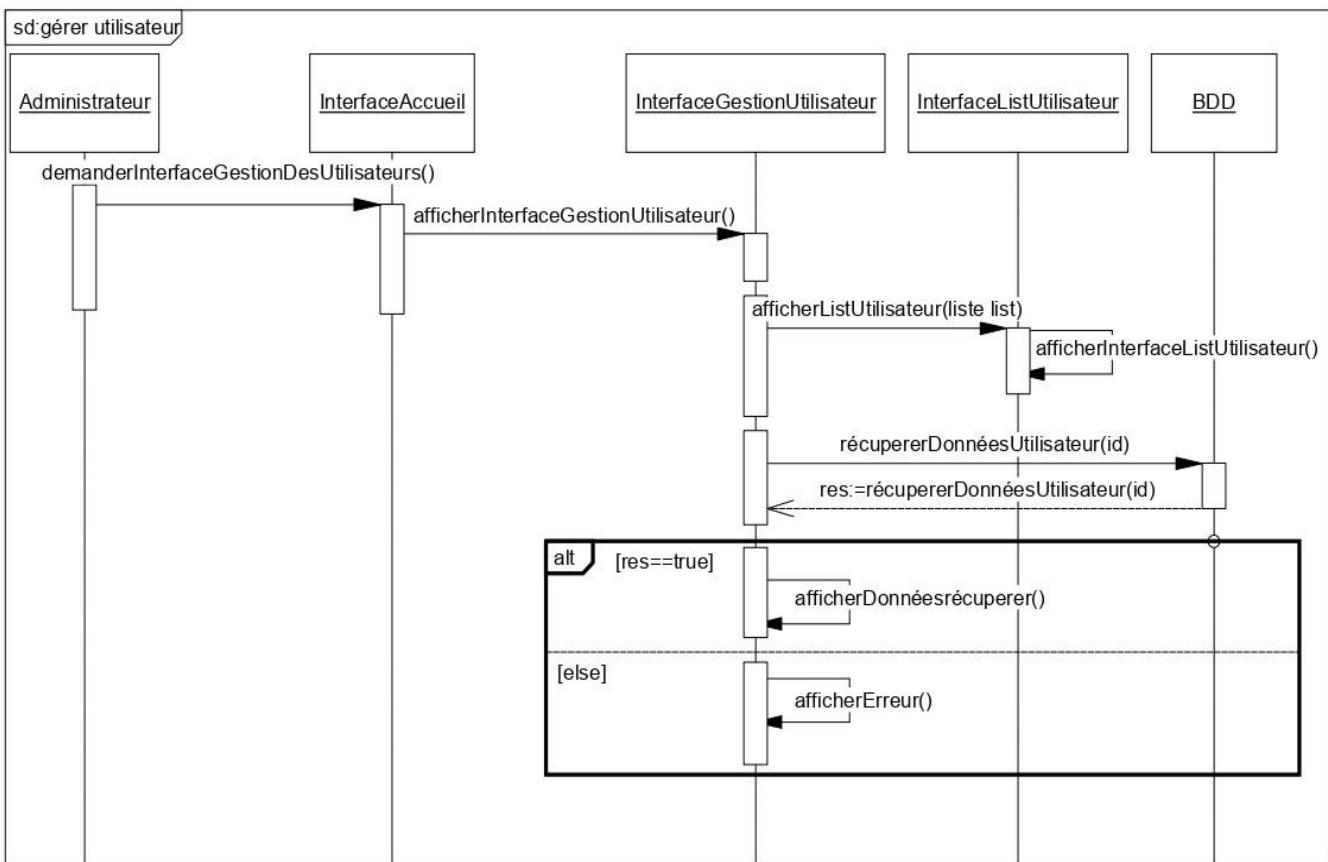


Figure 34 : Diagramme de séquence en boîte blanche «Gérer utilisateur»

## 4. Diagramme d'activités

### A. Introduction

Le diagramme d'activité est un outil visuel permettant de représenter un processus ou un système. Il est largement utilisé dans les domaines de l'informatique et de la gestion pour la planification, l'exécution et l'optimisation des processus. Ce diagramme met en évidence les différentes actions, sous-processus et décisions qui composent les activités clés de notre application.

### B. Diagrammes d'activités du cas d'utilisation «Authentification»

Ce diagramme d'activité décrit les étapes d'inscription des utilisateurs dans l'application. Les utilisateurs commencent par remplir un formulaire avec leurs informations personnelles. Ensuite, l'application vérifie la validité des informations fournies. Si les informations sont valides, l'utilisateur est redirigé vers son profil, où il peut accéder aux fonctionnalités de l'application.

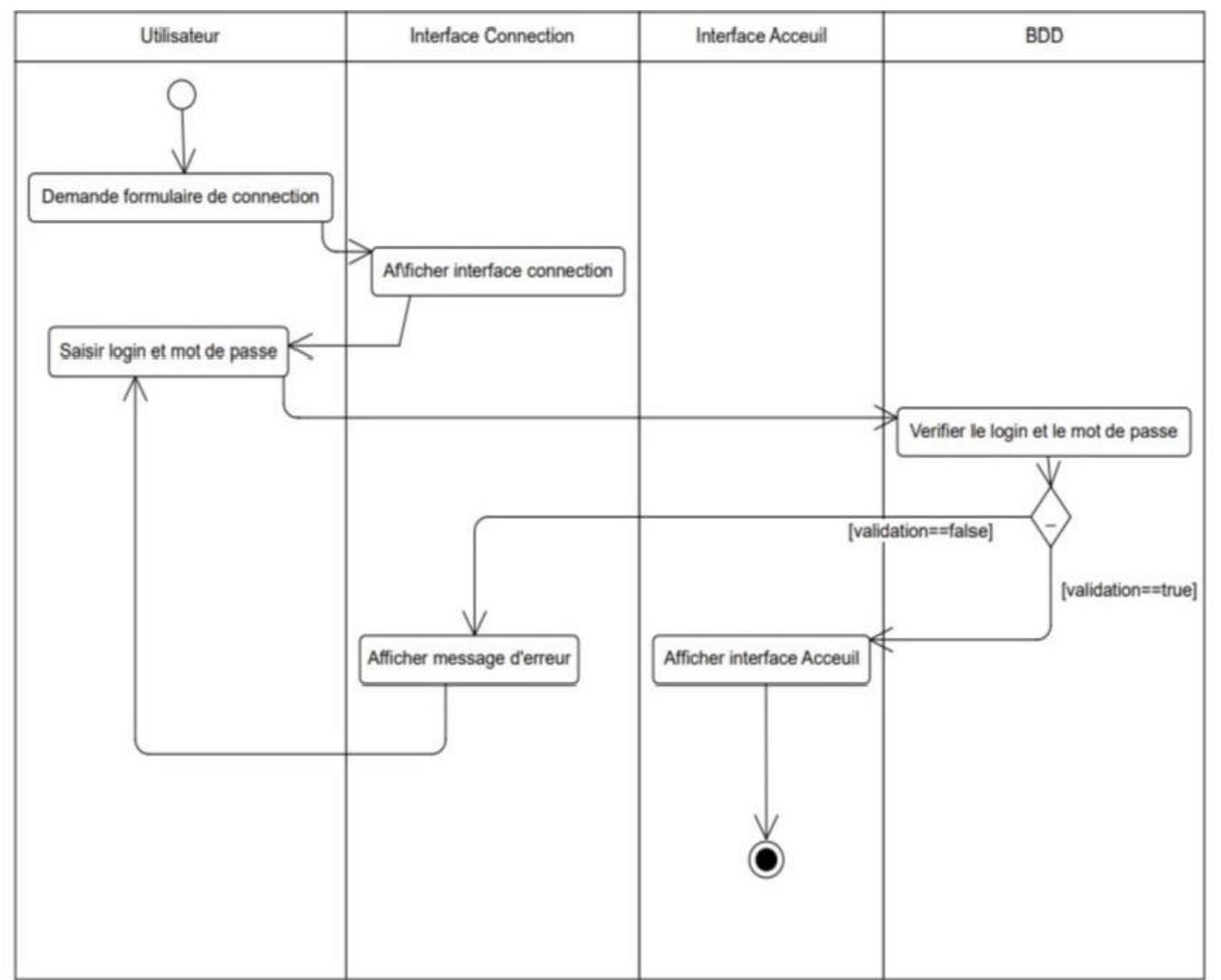


Figure 35 : Diagramme d'activité « S'authentifier »

### C. Diagramme d'activités du cas d'utilisation «Ajouter Observation»

La sentinelle initie le processus en demandant d'ajouter une observation. Le système répond en affichant un formulaire d'ajout où la sentinelle saisit les données nécessaires

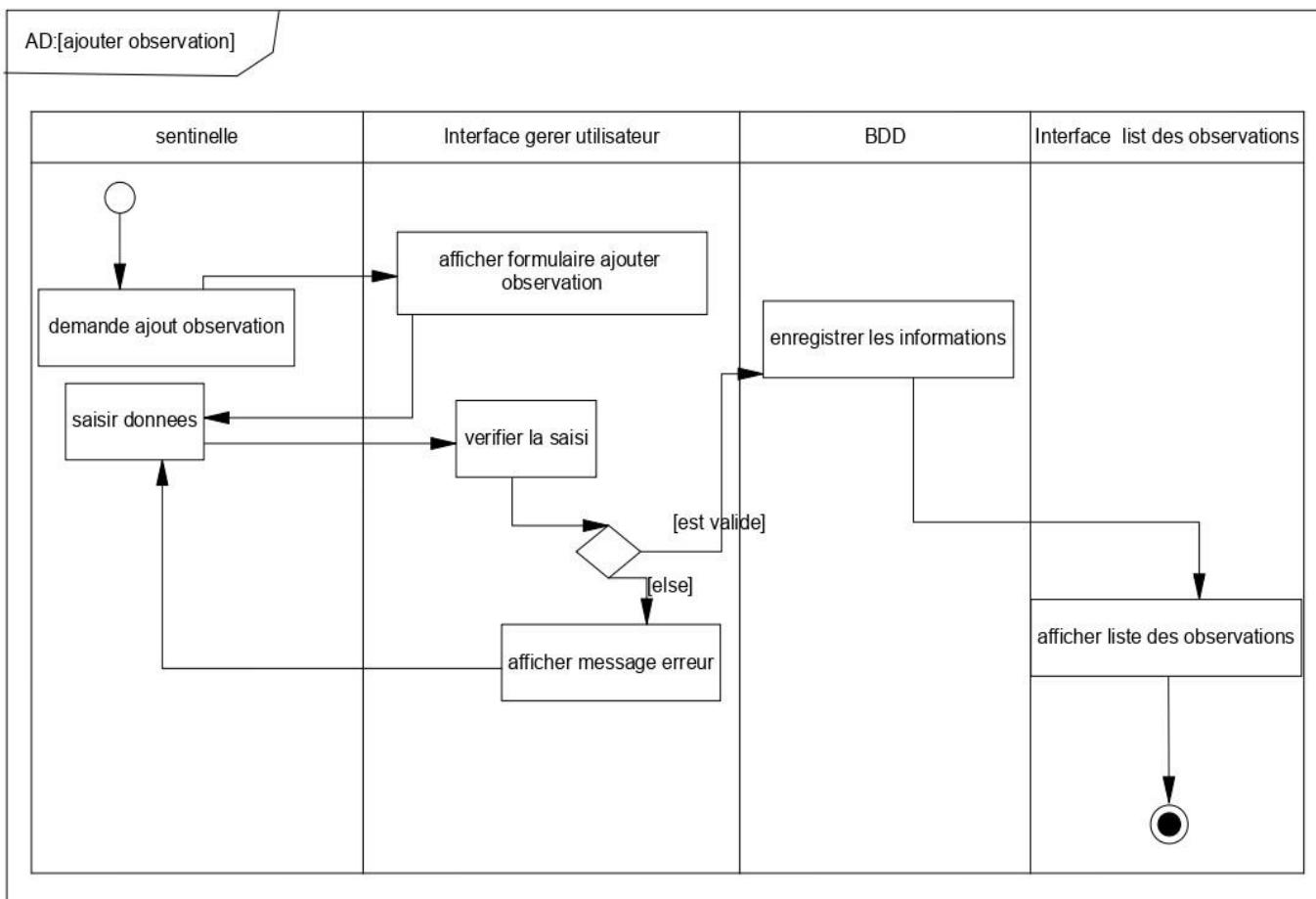


Figure 36 : Diagramme d’activité «Ajouter Observation»

#### D. Diagramme d’activités du cas d’utilisation «Ajouter Rapport»

Un scientifique commence par demander l’interface de rédaction de rapport. Une fois que le système affiche le formulaire approprié, le scientifique choisit entre ajouter un nouveau rapport ou effectuer des modifications.

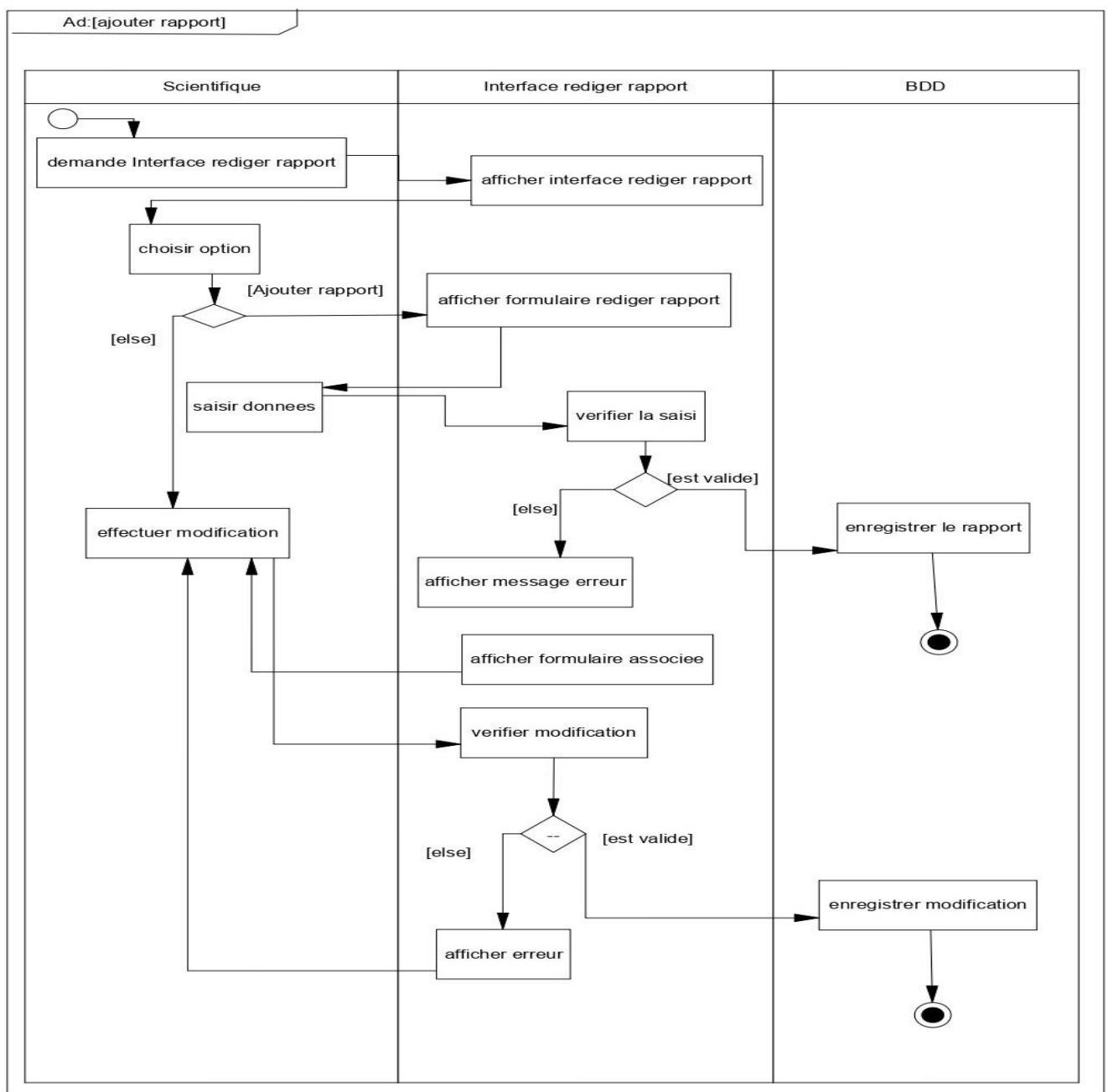


Figure 37 : Diagramme d'activité «Ajouter Rapport»

## E. Diagramme d'activités du cas d'utilisation «Ajouter Utilisateur »

L'administrateur demande l'interface d'ajout d'utilisateur, où il saisit les données du nouvel utilisateur dans le formulaire présenté. Le système procède à deux vérifications cruciales: il s'assure que l'utilisateur n'existe pas déjà et que toutes les données saisies sont valides.

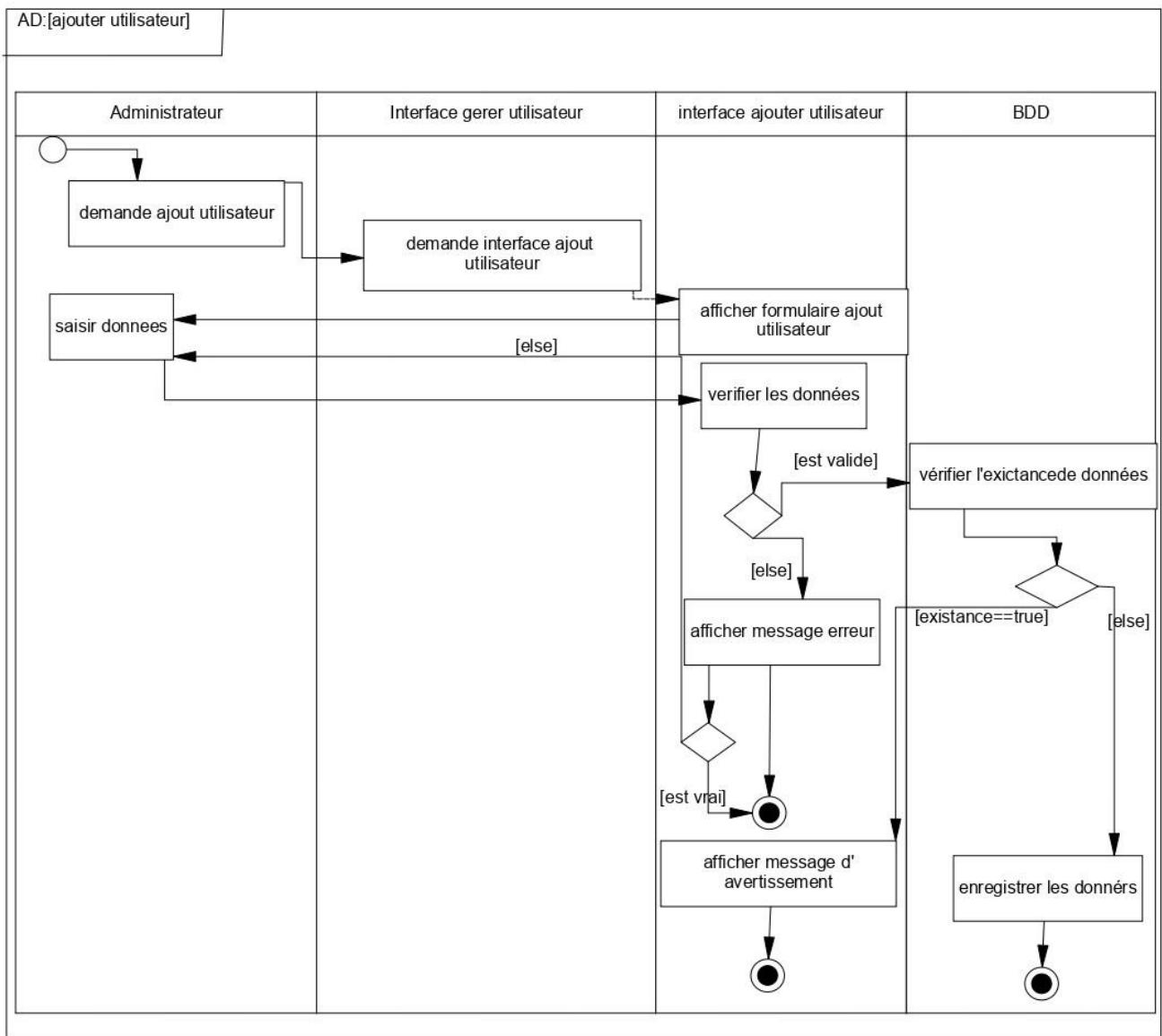


Figure 38 : Diagramme d'activité «Ajouter Utilisateur »

#### F. Diagramme d'activités du cas d'utilisation «Consulter Alertes»

L'utilisateur accède à l'interface des alertes où le système lui présente une liste complète. L'utilisateur sélectionne une alerte spécifique qu'il souhaite consulter.

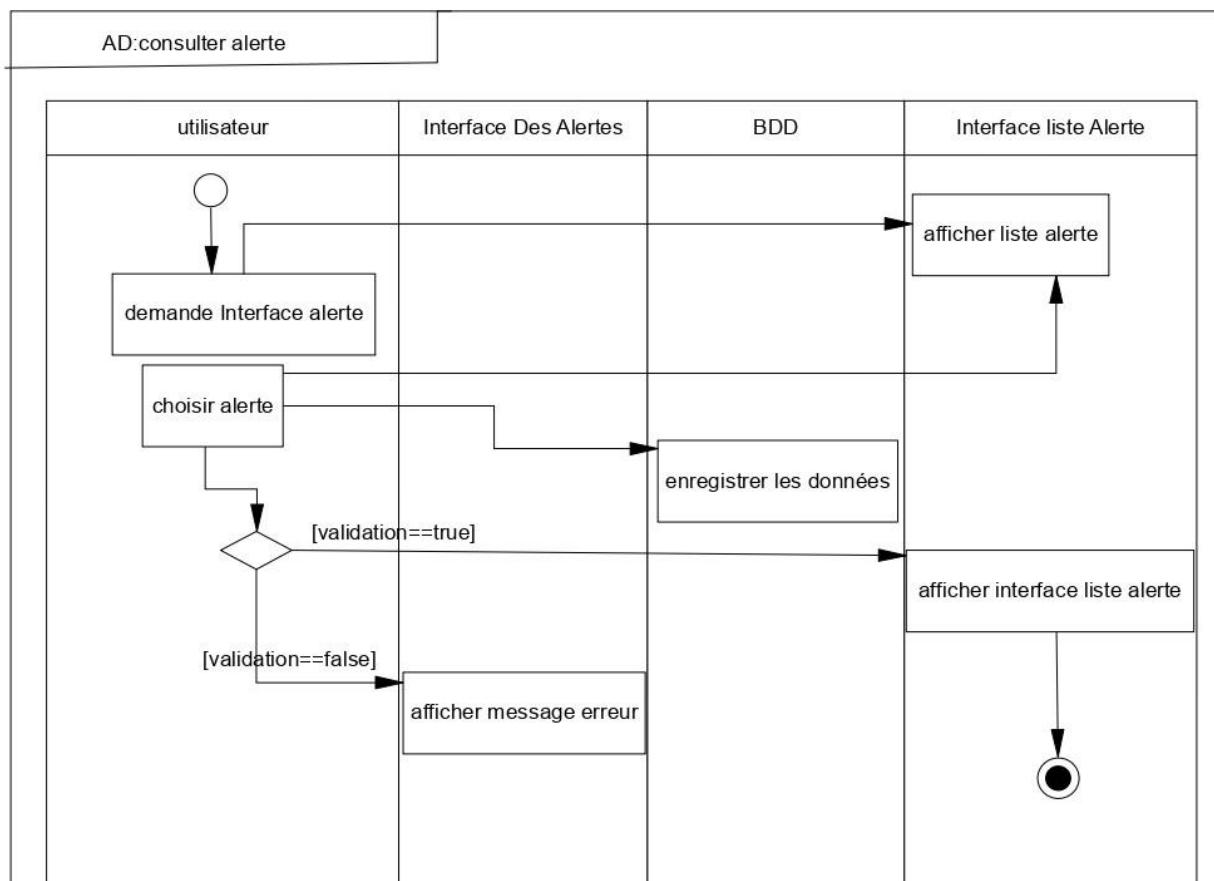


Figure 39 : Diagramme d'activité «Consulter Alerte»

#### G. Diagramme d'activités du cas d'utilisation «Gérer Information Utilisateur»

Ce diagramme illustre comment l'administrateur accède à l'interface d'accueil et choisit l'action à effectuer. Pour l'ajout d'un utilisateur, il saisit les informations nécessaires.

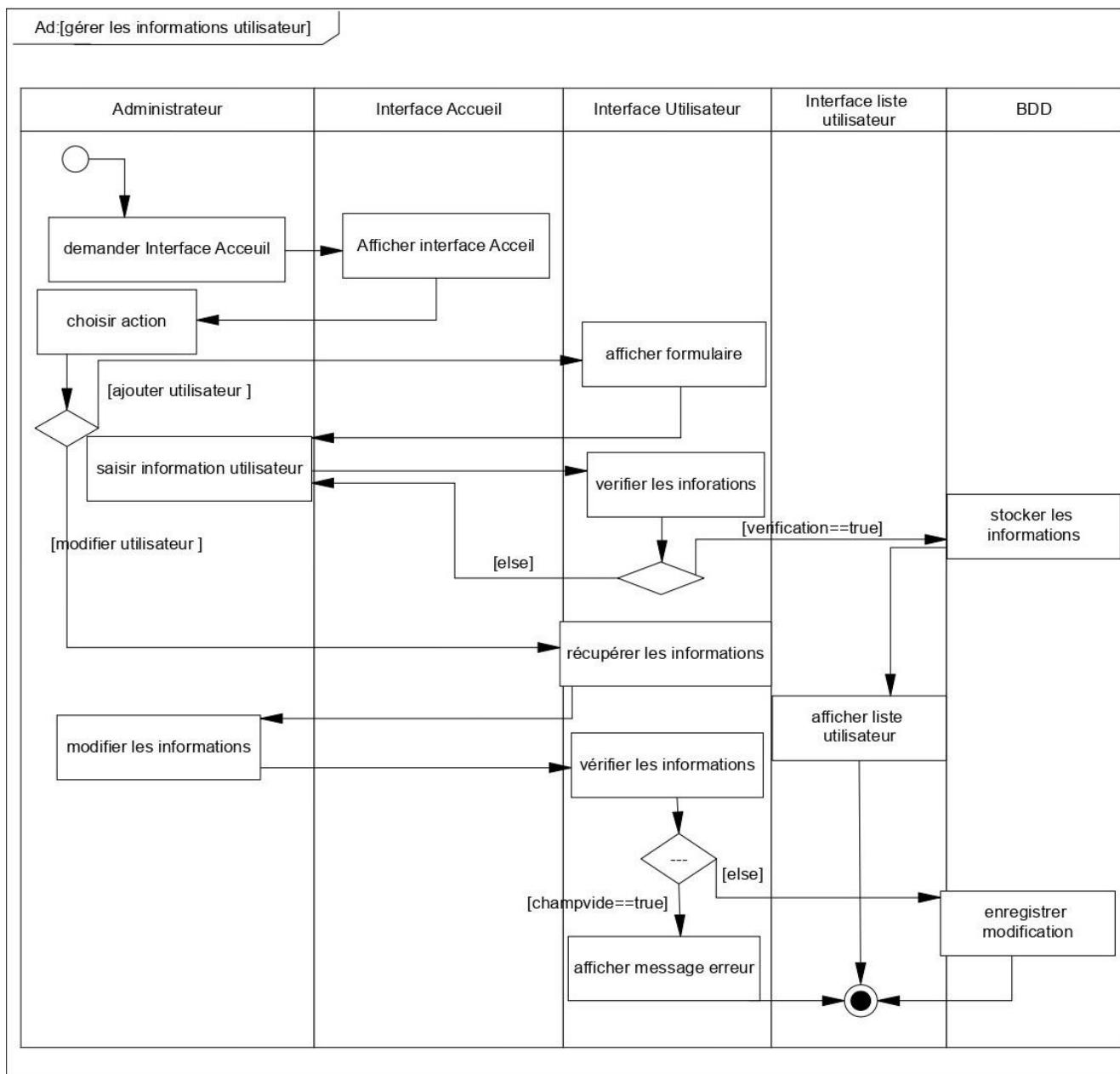


Figure 40: Diagramme d'activité «Gérer Information Utilisateur»

## H. Diagramme d'activités du cas d'utilisation «Modifier Infos Utilisateur»

L'administrateur demande à modifier les informations d'un utilisateur précis. Le système extrait automatiquement les informations existantes de cet utilisateur et affiche un formulaire prérempli

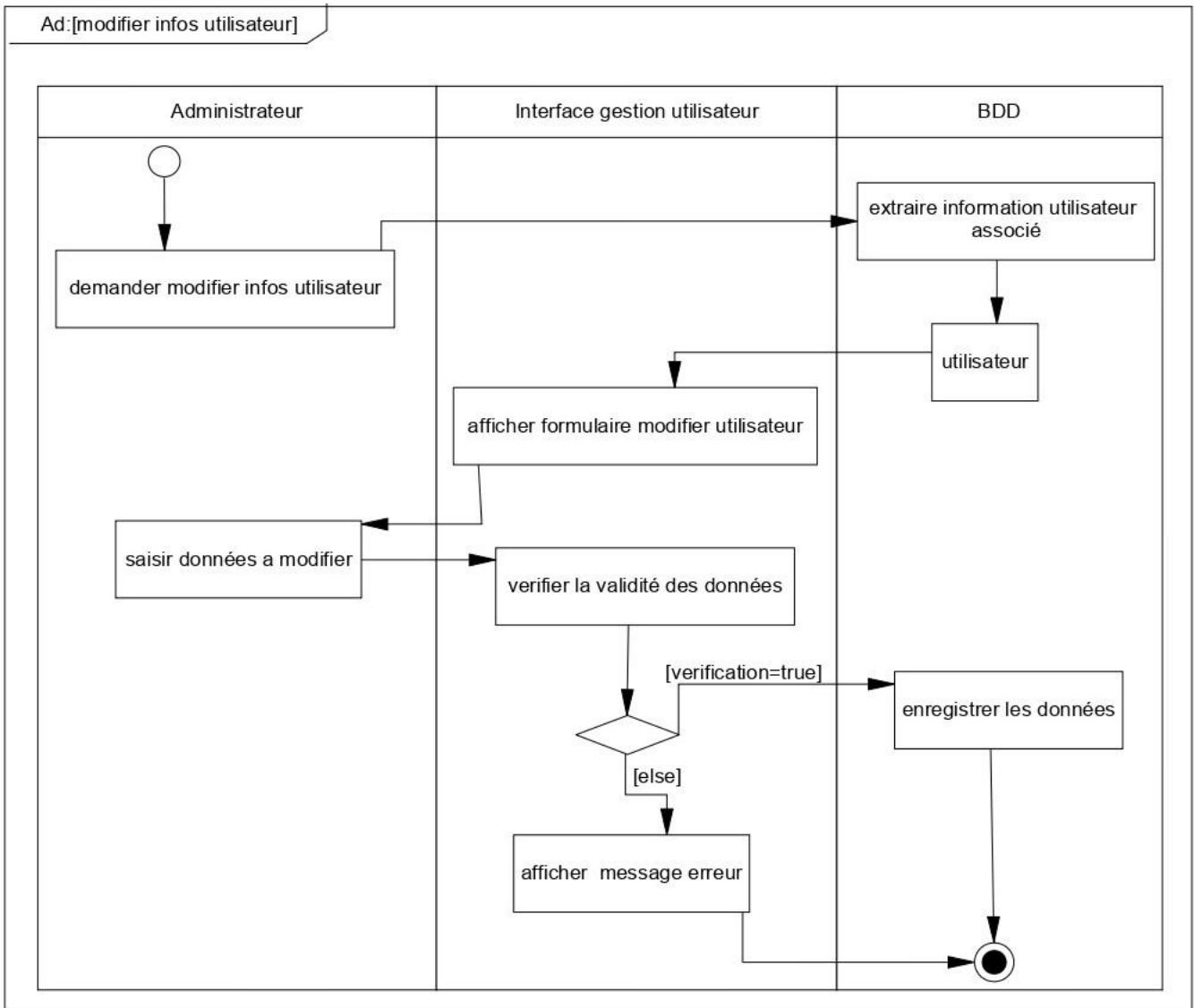


Figure 41 : Diagramme d’activité «Modifier Infos Utilisateur»

## 5. Conclusion

La partie « Analyse et conception » présente une vision structurée et détaillée des principales fonctionnalités de notre application dédiée à la détection et au suivi des éruptions volcaniques. Elle permet de mieux comprendre les interactions entre les différents acteurs du système et les processus métiers critiques. Le chapitre suivant sera consacré à la mise en œuvre technique, illustrant le bon fonctionnement de l’application à travers son développement et ses performances.

## **Chapitre 6: Réalisation**

# 1. Introduction

Dans le chapitre suivant nous allons présenter les interfaces utilisateurs que nous avons développées pour notre application.

## 2. Présentation de l'application «VolcanoAlert»

### 2.1 Interface d'accueil

C'est l'interface principale qui sert de point d'entrée. Elle permet à l'utilisateur (sentinelle, responsable, etc.) de naviguer vers les autres interfaces selon l'action désirée (consulter, envoyer ou gérer des alertes).



- **Interface « Galerie des Volcans »:**

Cette partie permet de consulter une galerie photographique de volcans célèbres (Vésuve, Mont Fuji, Etna, Krakatoa, etc.).



## Galerie des Volcans



Le Vésuve



Mont Fuji



Etna



Krakatoa



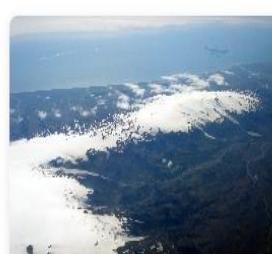
Stromboli



Popocatépetl



Kilauea



Eyjafjallajökull

**Informations générales**

Type	Super-volcan (Caldeira)	Hauteur	2805 m
Dernière éruption	70 000 ans avant notre ère	Statut actuel	Actif (dormant)

**Description**

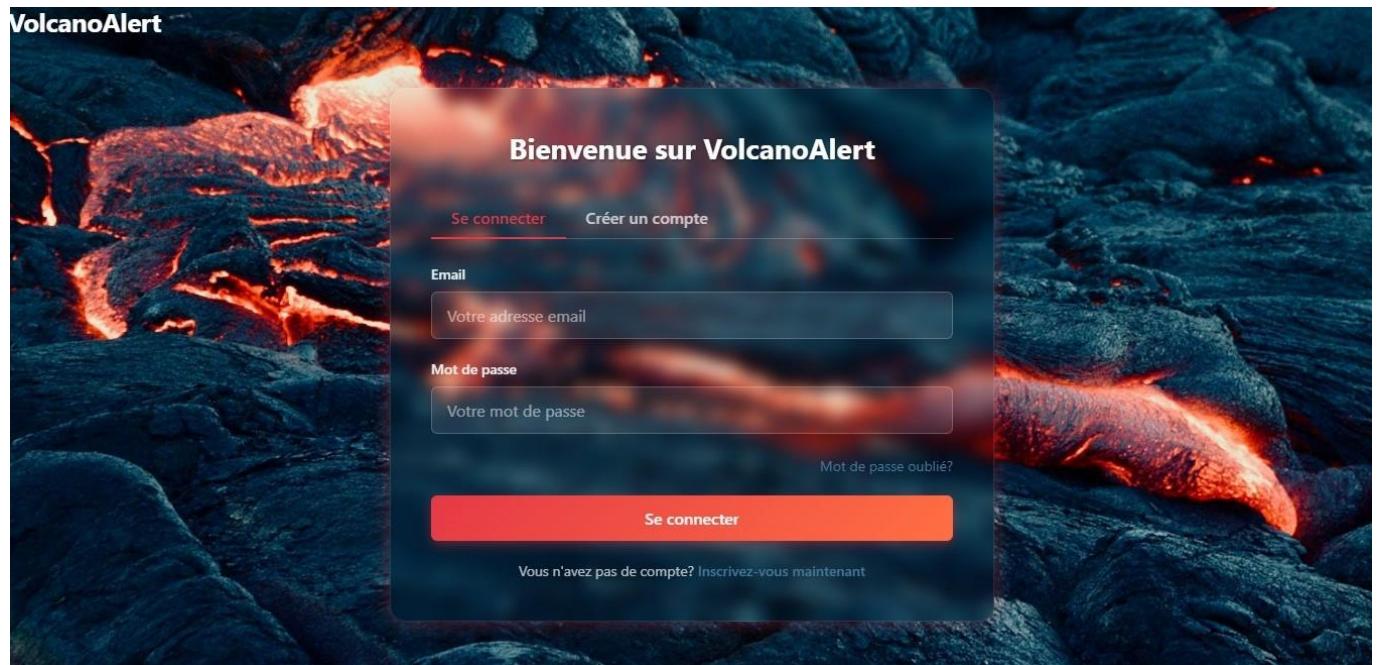
Le supervolcan de Yellowstone est situé sous le parc national de Yellowstone. Il est connu pour ses trois éruptions cataclysmiques passées et son activité géothermique intense qui alimente les geysers et sources chaudes du parc, dont le célèbre 'Old Faithful'.

**Histoire des éruptions**

Les trois éruptions majeures se sont produites il y a environ 2,1 millions, 1,3 million et 630 000 ans. Chacune d'elles a été parmi les plus grandes éruptions volcaniques connues, éjectant des centaines à des milliers de kilomètres cubes de matériaux. Bien que dormant, le système magmatique reste actif, comme en témoignent les nombreuses caractéristiques géothermiques et les fréquents essaims de tremblements de terre dans la région.

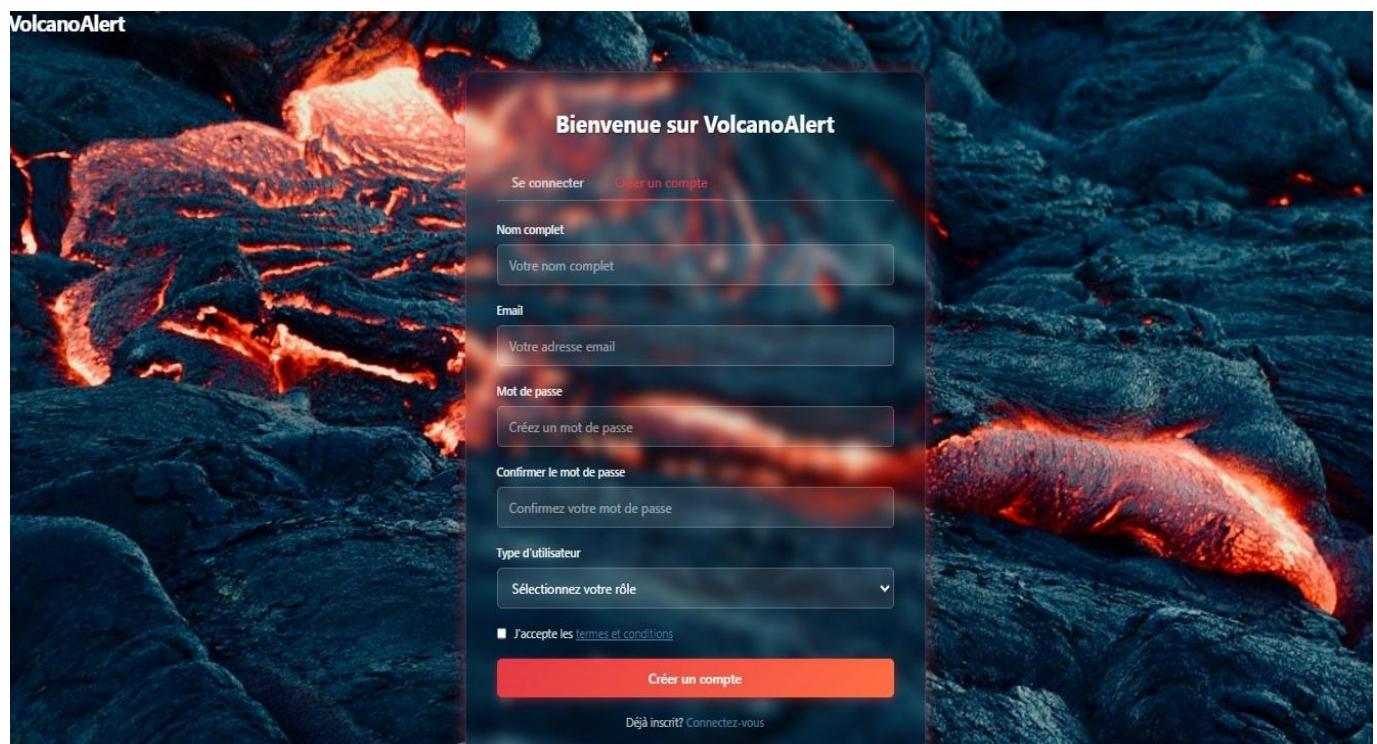
## 2.2 Interface de connexion :

Cette interface permet à l'utilisateur de s'authentifier dans le système.



## 2.3 Interface crée un compte:

Une interface qui permet de créer un compte utilisateur



## 2.4 Interface utilisateur

L'interface utilisateur est conçue pour permettre aux utilisateurs finaux d'interagir avec le système de manière intuitive et efficace. Elle fournit un accès aux fonctionnalités essentielles et permet de consulter des informations critiques.

- **Interface « Alertes récentes »:**

VolcanoAlert

Bonjour, Raihana Bensatra

Alertes Récentes Historique des Alertes Conseils de Sécurité

Mise à jour: Activité Volcanique 20/05/2025 - 12:15

Volcan: Etna

Le volcan Etna présente actuellement activité normale surveillée. Niveau de CO<sub>2</sub>: 134 ppm, niveau de SO<sub>2</sub>: 0.2 ppm, déformation mesurée: 3.06 mm. Suivez les recommandations des autorités locales.

Surveillance Continue 19/05/2025 - 18:45

Volcan: Vesuvius

Le volcan Vesuvius présente actuellement activité volcanique significative détectée, préparez-vous à une éventuelle évacuation. Niveau de CO<sub>2</sub>: 191 ppm, niveau de SO<sub>2</sub>: 0.8 ppm, déformation mesurée: 18.73 mm. Suivez les recommandations des autorités locales.

- **Interface « Historique des alertes »:**

VolcanoAlert

Bonjour, Raihana Bensatra

Alertes Récentes Historique des Alertes Conseils de Sécurité

Historique des Alertes

Tous les volcans jj/mm/aaaa jj/mm/aaaa Filtrer

Date	Volcan	Description	Actions
20/05/2025 - 12:15	Etna	Activité volcanique élevée, émissions de cendres	Détails
19/05/2025 - 18:45	Vesuvius	Émissions de gaz et activité sismique modérée	Détails
10/05/2025 - 09:15	Mont Pelée	Légère activité sismique détectée	Détails
18/05/2025 - 06:20	La Soufrière	Dégazage important et tremblements mineurs	Détails
28/04/2025 - 11:30	Mont Pelée	Rapport de surveillance de routine	Détails

- Interface « Conseils de sécurité »:

The screenshot shows the VolcanoAlert website interface. At the top left is the logo "VolcanoAlert". At the top right is a welcome message "Bonjour, Raihana Bensatra". Below the header is a navigation bar with three tabs: "Alertes Récentes", "Historique des Alertes", and "Conseils de Sécurité", with "Conseils de Sécurité" being the active tab. The main content area features a large background image of a volcano at sunset. The "Conseils de Sécurité en Cas d'Éruption Volcanique" section contains four subsections with bullet-pointed advice:

- Préparation à l'Évacuation**
  - Preparez un kit d'urgence incluant : eau, nourriture non périssable, médicaments essentiels, lampe torche, radio à piles, masques anti-poussière
  - Identifiez à l'avance les itinéraires d'évacuation sécurisés et les points de rassemblement
  - Gardez vos documents importants dans un contenant étanche et facilement accessible
  - Assurez-vous que tous les membres de la famille connaissent le plan d'évacuation
- Pendant une Alerta de Niveau Élevé**
  - Suivez immédiatement les ordres d'évacuation des autorités
  - Si vous êtes à l'extérieur, protégez vos voies respiratoires avec un masque ou un tissu humide
  - Évitez de conduire dans des zones de faible visibilité en raison des cendres
  - N'approchez pas des zones de coulées pyroclastiques ou de lahars (coulées de boue volcanique)
- Protection Contre les Cendres Volcaniques**
  - Restez à l'intérieur autant que possible
  - Fermez les portes, les fenêtres et les conduits d'aération
  - Utilisez des filtres à air si disponibles
  - Protégez les équipements électroniques sensibles
  - Si vous devez sortir, portez des lunettes de protection et un masque N95
- Après une Éruption**
  - Ne retournez pas dans les zones évacuées sans autorisation officielle
  - Vérifiez les dommages structurels de votre habitation avant d'y entrer
  - Nettoyez les cendres des toits pour éviter l'effondrement
  - Évitez de conduire car les cendres peuvent endommager les moteurs
  - Suivez les conseils des autorités sanitaires concernant l'eau potable

At the bottom of the content area is a red button labeled "Télécharger le Guide Complet de Sécurité".

## 2.5 Interface administrateur du système

Une interface qui permet à l'administrateur de gérer les utilisateurs, les données volcaniques et les alertes du système

The screenshot displays the VolcanoAlert system's administrator interface, featuring a header bar with navigation links: Gestion des utilisateurs, Alertes & Notifications, Performance système, and Déconnexion. The background of the interface is a scenic image of snow-capped mountains at sunset.

**Gestion des utilisateurs:** This section shows a list of users with columns for Utilisateur, Rôle, Email, Date d'inscription, Statut, and Actions. The users listed are:

Utilisateur	Rôle	Email	Date d'inscription	Statut	Actions
M Mehdi El Amrani	Scientifique	mehdi.elamrani@volcanoalert.ma	12/05/2025	Actif	<input checked="" type="checkbox"/> <span>Supprimer</span>
F Fatima Zahra Bouzid	Responsable équipe d'urgence	fatima.bouzid@volcanoalert.ma	03/05/2025	Actif	<input checked="" type="checkbox"/> <span>Supprimer</span>
Y Youssef Ait Taleb	Autorité locale	youssef.aittaleb@volcanoalert.ma	17/04/2025	Inactif	<input checked="" type="checkbox"/> <span>Supprimer</span>
S Samira El Khatib	Média	samira.khatib@volcanoalert.ma	17/04/2025	En attente	<input checked="" type="checkbox"/> <span>Supprimer</span>

**Dernières alertes:** This section shows a list of recent alerts with columns for ID, Type, Volcan, Niveau, Date, Statut, and Actions. The alerts listed are:

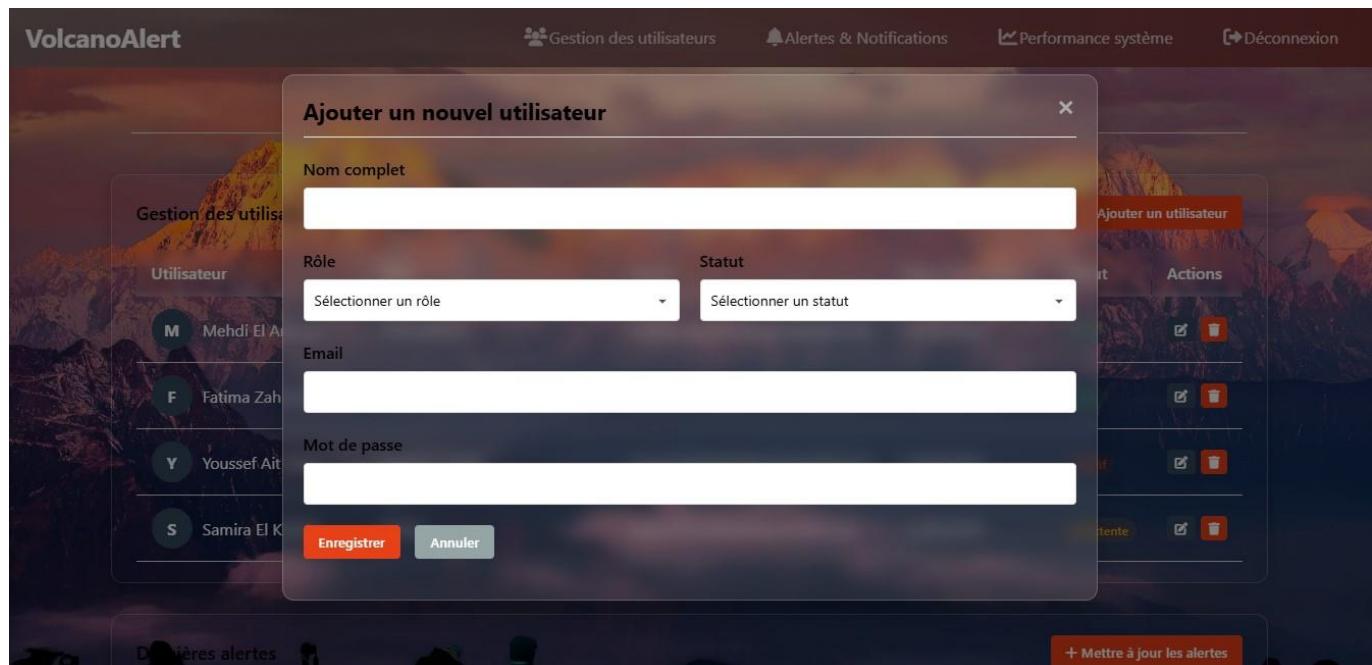
ID	Type	Volcan	Niveau	Date	Statut	Actions
#AL-5782	Activité sismique	Mont Vésuve	Danger élevé	28/05/2025 09:15	Active	<input checked="" type="checkbox"/> <span>Supprimer</span>
#AL-5781	Émission de gaz	Etna	Danger moyen	20/05/2025 22:30	Active	<input checked="" type="checkbox"/> <span>Supprimer</span>
#AL-5780	Déformation du sol	Piton de la Fournaise	Danger faible	27/05/2025 15:22	Résolue	<input checked="" type="checkbox"/> <span>Supprimer</span>
#AL-5779	Éruption	Krakatoa	Danger critique	26/04/2025 18:45	Active	<input checked="" type="checkbox"/> <span>Supprimer</span>

**Performance du système:** This section displays the status of system components with columns for Composant, Statut, and Dernière vérification. The components listed are:

Composant	Statut	Dernière vérification
Serveur d'application	En ligne	28/04/2025 10:00
Base de données	En ligne	28/04/2025 10:00
Système de notifications	En ligne	28/04/2025 10:00
API d'analyse de données	En ligne	28/04/2025 10:00

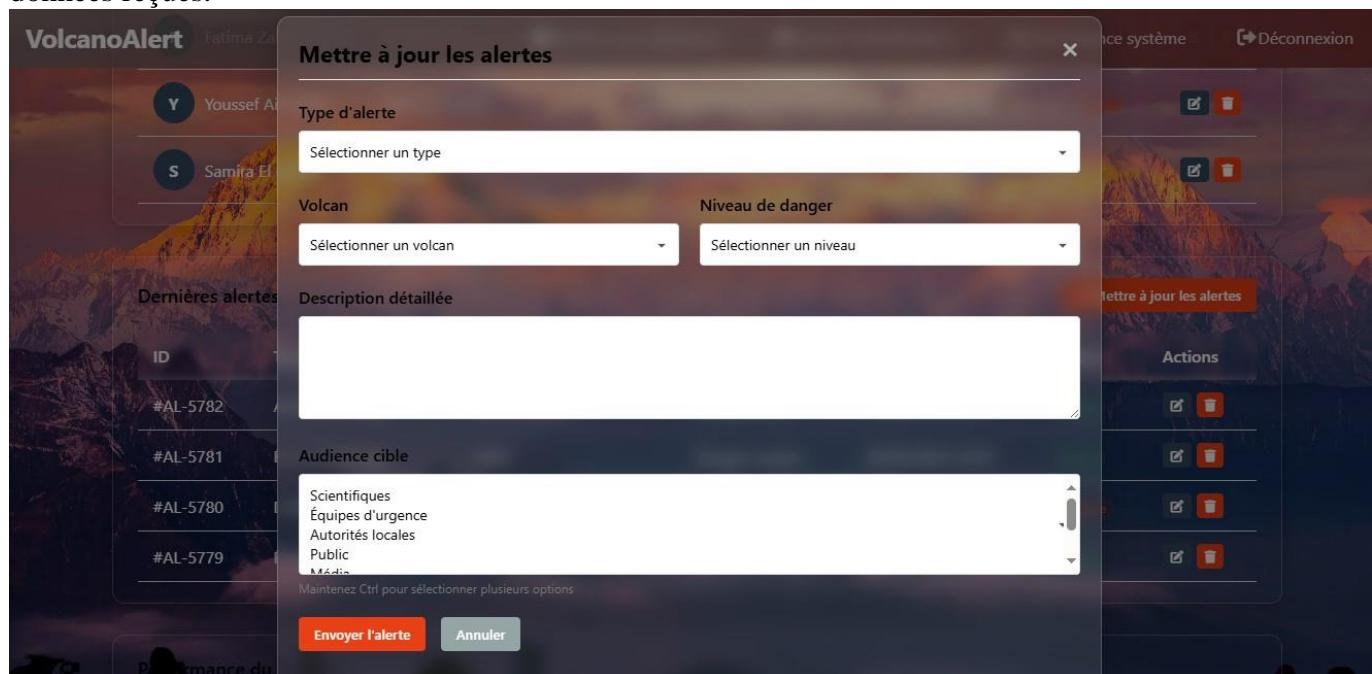
## 2.4 Interface ajoute utilisateur:

Cette interface permet à l'administrateur d'ajouter un nouvel utilisateur au système



## 2.5 Interface mettre à jour alerte:

Cette interface permet de modifier ou de mettre à jour les alertes volcaniques en fonction des nouvelles données reçues.



## 2.6 Interface intervenant:

Cette interface permet à l'intervenant de consulter les alertes en cours, d'accéder aux informations des volcans surveillés et de suivre l'évolution de la situation

- **Interface « Alertes » :**

Cette interface affiche les alertes actives et permet à l'intervenant de suivre l'évolution du risque volcanique en temps réel.

The screenshot shows a dashboard titled 'Alertes en temps réel' (Real-time Alerts). It displays three active alerts:

- Augmentation de l'activité sismique - Mont Pélée**
  - Zone Nord
  - Il y a 10 minutes
- Émissions de gaz toxiques - Soufrière**
  - Zone Est
  - Il y a 25 minutes
- Coulée de lave mineure - Volcan Piton**
  - Zone Sud
  - Il y a 45 minutes

Each alert card includes 'Détails' and 'Marquer comme lue' buttons.

- **Interface « Missions » :**

Cette interface qui permet à l'intervenant de consulter, suivre et gérer les missions liées aux alertes volcaniques.

The screenshot shows a dashboard titled 'Missions actives' (Active Missions). It displays three active missions:

- Évacuation Zone Nord**
  - En cours
  - Localisation: Village Sainte-Marie
  - Priorité: Haute
  - Début: 03/05/2025 08:30
  - Voir détails
- Distribution des masques**
  - En cours
  - Localisation: Centre d'évacuation #2
  - Priorité: Moyenne
  - Début: 02/05/2025 14:15
  - Voir détails
- Surveillance du Mont Etna**
  - En cours
  - Localisation: Observatoire Sud
  - Priorité: Élevée
  - Début: 01/05/2025 06:00
  - Voir détails

- **Interface «Aide humanitaire» :**

Cette interface permet de coordonner les actions d'aide humanitaire, en assurant le suivi des besoins, des ressources disponibles et des zones impactées par l'activité volcanique.

Ressource	Quantité	Emplacement	Date	Statut	Actions
Eau potable	1500 L	Centre Principal	15/05/2025	Disponible	Distribuer
Tentes	48 unités	Entrepôt Sud	14/05/2025	Disponible	Distribuer
Kits médicaux	75 unités	Centre Ouest	13/05/2025	Niveau bas	Distribuer
Masques respiratoires	250 unités	Centre Principal	12/05/2025	Presque épuisé	Distribuer
Couvertures	320 unités	Entrepôt Sud	10/05/2025	Disponible	Distribuer

- **Interface «Cartes d'évacuation» :**

## 2.7 Interface liste alerte:

Cette interface permet de consulter la liste des alertes en temps réel.

The screenshot shows the VolcanoAlert interface with a red header bar. The main content area displays a single alert card for "Augmentation de l'activité sismique - Mont Pélée". The card includes a thumbnail, the alert title, a location ("Zone Nord"), a timestamp ("Il y a 10 minutes"), and two buttons: "Détails" and "Marquer comme lue". Below the card, sections for "Description", "Coordonnées géographiques", "Zones touchées", and "Recommendations" are visible. A blue button at the bottom right of the card says "Voir rapport complet".

The screenshot shows the VolcanoAlert interface with a red header bar. A modal window titled "Toutes les alertes volcaniques" is open, listing two active alerts: "Augmentation de l'activité sismique - Mont Pélée" and "Émissions de gaz toxiques - Soufrière". Each alert card follows a similar structure: thumbnail, title, timestamp, description, location details (Zone, Coordonnées, Zones Touchées, Statut), and two buttons: "Voir rapport complet" and "Marquer comme lue". The background of the main interface is dimmed to indicate an overlay.

## 2.8 Interface Mission détaillés :

The screenshot displays the VolcanoAlert software interface, specifically the 'Missions' section. A modal window titled 'Évacuation Zone Nord' is open, providing detailed information about the mission.

**Informations générales**

**Description:**  
Évacuation des résidents de la zone nord du village suite à l'alerte de niveau 3.  
Déploiement d'urgence requis.

**Responsable:**  
Capitaine Martin

**Risques identifiés:**  
Chemins d'accès difficiles, communications intermittentes

**Ressources:**  
4 véhicules tout-terrain, 8 équipes de secours, matériel médical

**Équipe**

- Philippe Blanc
- Emma Petit
- Lucas Mercier

**+ Ajouter un membre**

**Statut**

**Statut de la mission:**  
En cours

**Actions**

- Distribuer
- Distribuer
- Distribuer
- Distribuer

At the bottom right of the modal, there are 'Annuler' and 'Enregistrer' buttons.

## 2.9 Interface Ajouter ressource:

Cette interface permet d'ajouter de nouvelles ressources matérielles ou humaines nécessaires aux interventions en cas d'éruption volcanique.

The screenshot shows a modal window titled "Ajouter une nouvelle ressource" (Add new resource). It has a search bar at the top left and a close button at the top right. The main area contains a table with columns: Ressource (Resource), Quantité (Quantity), Ressource (Resource), Emplacement (Location), Date (Date), Statut (Status), and Actions (Actions). The table lists five items: Eau potable (1500 L), Tentes (48 units), Kits médicaux (75 units), Masques respiratoires (250 units), and Couvertures (320 units). Each row includes a "Distribuer" (Distribute) button. A dropdown menu for "Emplacement" (Location) is open over the third item, showing "Centre Principal" and "Sélectionner un emplacement". A dropdown menu for "Statut" (Status) is open over the fourth item, showing "Disponible" and "Niveau bas". At the bottom right of the modal are "Annuler" (Cancel) and "Enregistrer" (Register) buttons.

## 2.10 Interface Scientifique:

L'interface scientifique est conçue pour permettre aux scientifiques de gérer, analyser et rapporter des données relatives aux alertes et aux éruptions volcaniques. Elle facilite l'examen des informations critiques et la production de rapports scientifiques.

The screenshot shows the "Activité sismique des 7 derniers jours" (Seismic activity over the last 7 days) section. It features a background image of a volcano at sunset. Below the image is a bar chart with seven bars representing seismic activity levels for each day of the week. The bars are colored from dark blue (low activity) to red (high activity). The days are labeled along the x-axis: Lun, Mar, Mer, Jeu, Ven, Sam, Dim. At the top right of the chart area are "Exporter" (Export) and "7 derniers jours" (Last 7 days) buttons. The top navigation bar includes links for "Données volcaniques", "Images satellites", "Identifier risques", "Gérer rapports", "Simuler scénarios", and "Paramètres".

- Interface «Gérer rapport »:

ID	Date	Type	Localisation	Status	Actions
RPT-2025-042	28/04/2025	Analyse thermique	Mont Mérapi	<span>Alerte</span>	<button>Voir</button>
RPT-2025-041	27/04/2025	Analyse de gaz	Mont Mérapi	<span>Avertissement</span>	<button>Voir</button>
RPT-2025-040	26/04/2025	Déformation	Mont Mérapi	<span>Normal</span>	<button>Voir</button>
RPT-2025-039	25/04/2025	Sismique	Mont Mérapi	<span>Normal</span>	<button>Voir</button>

## 2.11 Interface Gestion des rapports :

Permet au scientifique de créer, modifier ou supprimer des rapports de surveillance et de gérer les données associées

## 2.12 Interface sentinelle:

L'interface sentinelle est conçue pour permettre aux sentinelles de surveiller, d'enregistrer et de transmettre des données scientifiques liées aux alertes et aux éruptions volcaniques. Elle facilite la collecte et la gestion des informations essentielles pour la sécurité publique.

- Interface «liste des observations»:

Date	Type	Localisation	Description	Statut	Actions
20/05/2025 08:45	Visuel	Nord-Est, 2km du cratère	Détection de fumeroles	Validée	Voir   Modifier
19/05/2025 14:30	Thermique	Centre, cratère principal	Augmentation de température	En attente	Voir   Modifier
18/05/2025 10:15	Sismique	Flanc Ouest	Secousses mineures répétées	Validée	Voir   Modifier
17/05/2025 09:20	Gaz	Sud-Est, 1km du cratère	Émissions de SO <sub>2</sub> accrues	Validée	Voir   Modifier

- Interface «Envoyer des données»:

- Interface «Alertes volcaniques»:

Date	Niveau	Zone	Description	Statut
20/05/2025 07:30	Niveau 3	Nord-Est	Activité volcanique significative, risque d'éruption	Active
19/05/2025 14:00	Niveau 2	Centre	Augmentation de la température, activité sismique	Active
18/05/2025 09:15	Niveau 1	Sud-Ouest	Observations de fumerolles et émissions de gaz	Active

Date	Niveau	Zone	Description	Durée
15/05/2025 - 17/05/2025	Niveau 2	Est	Augmentation de la température, activité sismique	2 jours
10/05/2025 - 12/05/2025	Niveau 1	Centre	Légère augmentation de l'activité sismique	2 jours

- Interface «Profil Sentinelle »:

Nom complet  
Jean Dupont

Email  
jean.dupont@volcanoalert.org

Téléphone  
+33 6 12 34 56 78

Rôle  
Sentinelle - Observateur terrain

Zone assignée  
Secteur Nord-Est

Modifier le mot de passe  
Nouveau mot de passe

Confirmer le mot de passe  
Confirmer le mot de passe

**Sauvegarder les modifications**

## 2.13 Interface observation

Cette interface utilisée par la sentinelle pour saisir et envoyer des observations scientifiques comme des photos et des informations.

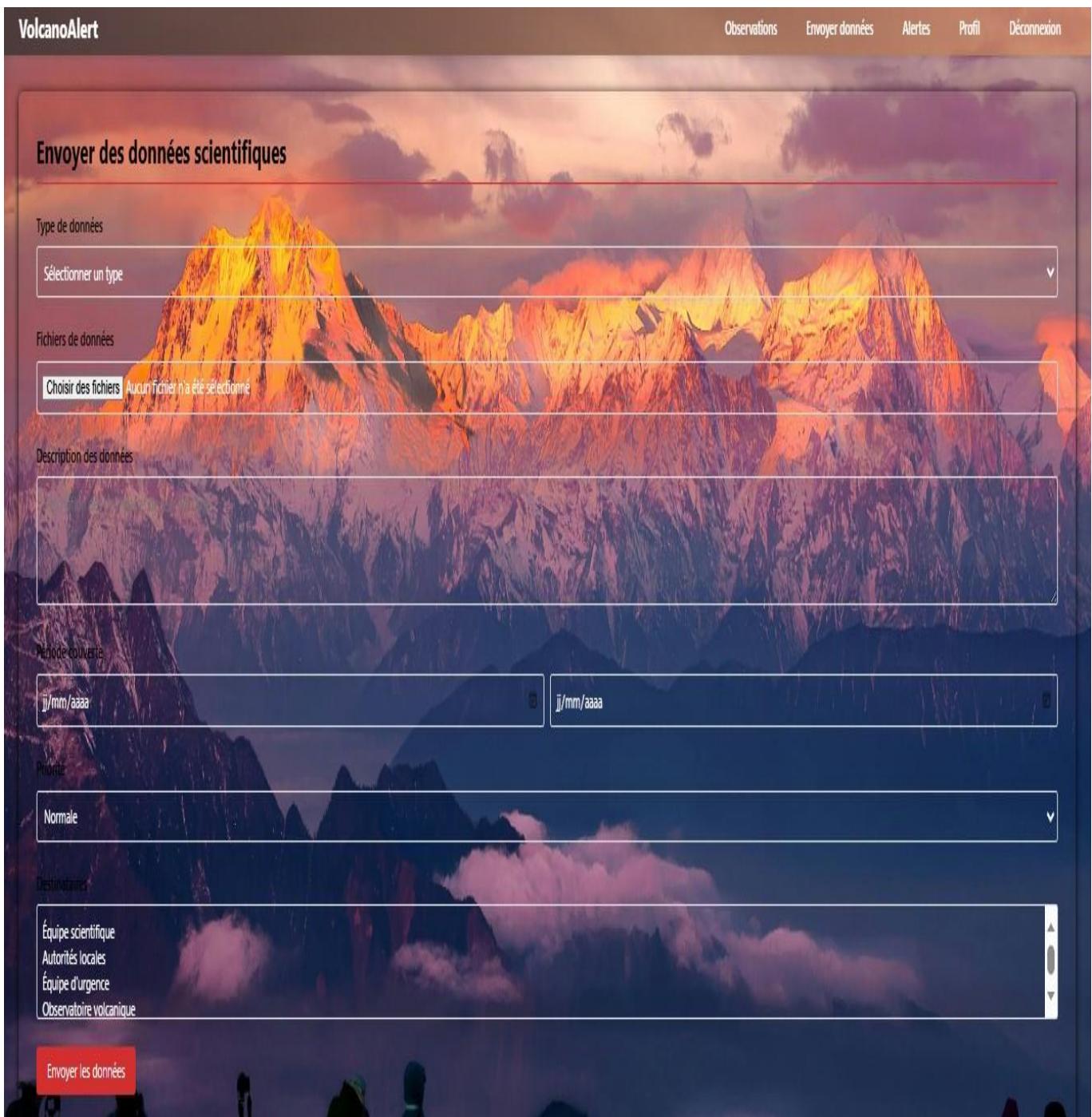
The screenshot shows the 'VolcanoAlert' application interface for adding a new observation. The top navigation bar includes links for 'Observations', 'Envoyer données', 'Alertes', 'Profil', and 'Déconnexion'. The main form is titled 'Ajouter une nouvelle observation' (Add a new observation) and contains the following fields:

- Type d'observation: A dropdown menu labeled 'Sélectionner un type' (Select a type).
- Localisation: A text input field with placeholder text 'Coordonnées GPS ou description du lieu' (GPS coordinates or location description).
- Description: A large text area for a detailed description of the observation.
- Photo: A file selection input field showing 'Aucun fichier n'a été sélectionné' (No file selected).
- Date et heure: A date and time input field in 'jj/mm/aaaa --:' format.
- Niveau d'urgence: A dropdown menu labeled 'Faible' (Low).
- Informations supplémentaires: A text area for additional details, with placeholder text 'Autres détails pertinents' (Other relevant details).

A red button at the bottom left of the form is labeled 'Enregistrer l'observation' (Save observation).

## 2.14 Interface envoyer données :

Cette interface permet à la sentinelle d'entrer et de soumettre des données scientifiques, avec validation des données avant l'envoi.



The screenshot shows the "Envoyer des données scientifiques" (Send scientific data) page of the VolcanoAlert interface. The background features a scenic image of a volcano at sunset with orange and red hues. At the top, there's a navigation bar with links for "Observations", "Envoyer données", "Alertes", "Profil", and "Déconnexion".

**Type de données:** A dropdown menu labeled "Sélectionner un type".

**Fichiers de données:** A section with a button "Choisir des fichiers" and a message "Aucun fichier n'a été sélectionné".

**Description des données:** A large text area for entering data descriptions.

**Période couverte:** Two date input fields for selecting a period, both showing "jj/mm/aaaa".

**Privilège:** A dropdown menu set to "Normale".

**Destinataires:** A dropdown menu listing recipients: "Équipe scientifique", "Autorités locales", "Équipe d'urgence", and "Observatoire volcanique".

**Envoyer les données:** A red button at the bottom left for sending the data.

## 2.15 Interface Média :

Cette interface permet de consulter les contenus multimédias.

The screenshot displays the VolcanoAlert website with a header navigation bar featuring "VolcanoAlert", "Accueil", "Alertes", "Actualités", and "À propos".

### Surveillance volcanique en Temps Réel

Restez informé des activités volcaniques à travers le monde avec nos alertes et des mises à jour en temps réel basées sur des données scientifiques fiables.

[Consulter les alertes actives](#)

#### Alertes Actives

- Etna, Italie**  
Augmentation significative de l'activité sismique et des émissions de gaz. Risque d'éruption imminente.  
Mis à jour il y a 2 heures [Détails](#)
- Kilauea, Hawaii**  
Activité de débordement de lave dans le cratère sommital. Surveillance accrue recommandée.  
Mis à jour hier [Détails](#)
- Fuego, Guatemala**  
Légère augmentation des émissions de cendres. Situation stable avec surveillance continue.  
Mis à jour il y a 3 jours [Détails](#)

#### Carte des Volcans Actifs

A world map showing active volcanoes. A callout bubble highlights Kilauea, Hawaii, with the status "Alerte Niveau 2".

#### Dernières Actualités

- Conférence Internationale sur la Volcanologie**  
Les experts se réunissent pour discuter des dernières avancées dans la surveillance volcanique et la prévention des risques.  
Il y a 5 jours [Lire plus](#)
- Nouveau Système d'Alerte Précoce**  
Une technologie innovante permettant de détecter les signes précoces d'activité volcanique est déployée dans 12 pays.  
Il y a 1 semaine [Lire plus](#)
- Étude sur l'Impact des Éruptions**  
Une nouvelle recherche révèle l'impact à long terme des cendres volcaniques sur les écosystèmes environnants.  
Il y a 2 semaines [Lire plus](#)

© 2025 VolcAlert. Tous droits réservés.

- Interface «Détails des alertes»:

**Etna, Italie**

Niveau 3 (élevé)

Augmentation significative du niveau sismique et des émissions de dioxyde de soufre, indicateurs d'un potentiel événement éruptif dans les prochains jours.

Mis à jour il y a 2 heures

**Description**

L'Etna est l'un des volcans les plus actifs au monde et le plus grand volcan actif d'Europe. L'activité récente montre une augmentation significative des séismes de faible profondeur et des émissions de dioxyde de soufre, indicateurs d'un potentiel événement éruptif dans les prochains jours. Les autorités locales ont élevé le niveau d'alerte et préparent des évacuations préventives des zones les plus proches du sommet.

**Événements récents**

18/05/2025: Intensification des émissions de gaz  
16/05/2025: Séisme de magnitude 3.2 détecté  
12/05/2025: Activité strombolienne au cratère sud-est

## 2.16 Interface Responsable d'équipe d'urgence:

Cette interface permet de planifier les interventions.

**Planification des Interventions**

**Missions Actives**

ID	Mission	Localisation	Équipe	Statut	Actions
M-125	Evacuation personnes vulnérables	Saint-Pierre	Équipe Alpha	EN COURS	Détails
M-126	Distribution de masques N95	Morne-Rouge	Équipe Delta	EN COURS	Détails
M-127	Installation centre d'évacuation	Fort-de-France	Équipe Gamma	TERMINÉE	Rapport

**Planifier une Nouvelle Intervention**

---

Type de mission:

Évacuation

Équipe assignée:

Équipe Alpha (disponible)

Priorité:

Critique (immédiat)

Description de la mission:

Décrivez les objectifs spécifiques de la mission...

Localisation:

Saint-Pierre (Zone rouge)

Ressources nécessaires:

Véhicule 4x4 (2) Radio d'urgence (5) GPS (2) Masques N95 (100) Eau potable (200L) + Ajouter

## 2.17 Interface Responsable des autorités locales :

Cette interface permet de gérer les alertes, planifier des interventions et informer le public.

**VolcanoAlert**

Alertes Interventions Communication

**Gestion des Alertes**

TRÈS FAIBLE Normal	FAIBLE Surveillance	MODÉRÉ Vigilance	ÉLEVÉ Attention	TRÈS ÉLEVÉ Danger	CRITIQUE Évacuation
-----------------------	------------------------	---------------------	--------------------	----------------------	------------------------

Motif de l'alerte

Sélectionner un motif

Message d'alerte public

Rédigez le message à diffuser au public...

⚠️ Déclencher l'Alerte

- Interface «Planification des interventions»:

**VolcanoAlert**

Alertes | Interventions | Communication

**Planification des Interventions**

Type d'intervention  
Evacuation d'Urgence

Zone d'intervention  
Ex: Quartier Centre Ville

Priorité  
Haute

Détails de l'intervention  
Décrivez l'intervention à planifier...

+ Ajouter Intervention

- Interface «Informer le public»:

**VolcanoAlert**

Alertes | Interventions | Communication

+ Ajouter Intervention

**Communication Publique**

Type de communication  
Communication Urgente

Message  
Rédigez votre message au public...

Canaux de diffusion  
SMS d'Urgence

Diffuser le Message

## Conclusion générale

Notre projet de fin d'étude, intitulé VolcanoAlert, a visé le développement d'une application web intelligente dédiée à la détection et au suivi en temps réel des éruptions volcaniques. Ce projet s'inscrit dans une démarche scientifique et technique permettant de surveiller plusieurs paramètres critiques, de collecter des données environnementales, et de fournir un système d'alerte précoce.

Nous avons utilisé différentes technologies telles que Node.js, Mongoose, Axios, csv-parser, XLSX, dotenv et node-cron pour la réalisation de l'application. L'interface a été pensée pour être simple d'utilisation et accessible, tout en permettant une gestion robuste des données collectées. VolcanoAlert intègre un processus automatisé de récupération de données non étiquetées, issues de sources fiables telles que USGS, Open-Meteo, GVP et NOVAC.

Ces données sont ensuite traitées, triées, puis interprétées grâce à des critères scientifiques basés sur l'analyse des taux de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> et la déformation du sol, afin d'identifier les niveaux d'activité volcanique et de générer des alertes appropriées allant de "très faible" à "critique".

Dans ce cadre, des techniques d'intelligence artificielle ont été intégrées afin de contribuer à l'étiquetage automatique des niveaux d'activité volcanique, renforçant ainsi la fiabilité du processus de détection. L'application inclut également le suivi continu des éruptions en temps réel ainsi qu'un traitement post-déclenchement, permettant aux autorités de suivre l'évolution de la situation.

Pour l'avenir, nous envisageons d'améliorer la précision du système de détection, d'enrichir l'interface utilisateur et d'intégrer des modules d'apprentissage automatique pour optimiser la prédiction des éruptions. Nous souhaitons également étendre la couverture de VolcanoAlert à un plus grand nombre de volcans dans différentes régions du monde.

Ce projet nous a permis de consolider nos compétences techniques en développement web, en manipulation de données environnementales, et en collaboration de groupe. Il nous a également sensibilisés à l'importance des outils numériques dans la gestion des risques naturels. Nous espérons que VolcanoAlert pourra devenir un outil de référence pour les scientifiques, les autorités locales et les populations exposées aux risques volcaniques.

# **Webographie**

1. <https://earthquake.usgs.gov>
2. <https://www.globalvolcanismprogram.org>
3. <https://open-meteo.com>
4. <https://novac-project.org>
5. <https://leafletjs.com>
6. <https://www.mongodb.com>
7. <https://developer.mozilla.org>
8. <https://www.freepik.com>
9. <https://github.com>

# **Bibliographie**

1. <https://pubs.usgs.gov/fs/2006/3139/fs2006-3139.pdf>