

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



N° Réf :.....

Centre Universitaire
Abdelhafid Boussouf Mila

Institut des Sciences et Technologie

Département de Mathématiques et Informatique

Mémoire préparé en vue de l'obtention du diplôme de Master

En : Informatique

Spécialité : Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication
(STIC)

Développement d'une Application pour la Simulation de Propagation de Feux de Forêts à base d'Automate Cellulaire

Préparé par

Naziha LEBLOUB
Marwa SIARI

Devant le jury

Promoteur	Sadek BENHAMMADA	MAA	C.U. Mila
Président	Mourad GUETTICHE	MAA	C.U. Mila
Examineur	Adel BOURIDAH	MAA	C.U. Mila

Année Universitaire : 2016/2017

Remerciement

En premier lieu,

Nous tenons à remercier Dieu le tout puissant, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nous remercions Mr Benhammeda Sadek notre encadreur pour sa présence, son aide et surtout pour ses précieux conseils qui nous ont beaucoup aidés pour l'accomplissement de ce projet.

Nos remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous remercions également toutes les personnes qui nous ont aidés, de près ou de loin pour la réalisation de ce travail en particulier à nos parents, et nos frères, sœurs, amis qui nous ont encouragés, soutenu durant tout notre cursus.

Nous remercions tous les étudiants de la promotion 2016/2017 et tous ceux qui ont collaborés de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Marwa & Naziha

Dédicace

A



*La lumière de mes yeux ma chère mère, qui me guider,
m'inspirer et qui est me donné un magnifique modèle de
labeur et de persévérance.*

*Mon père qui a toujours été là pour moi, qui a su me
protéger, guider mes pas, m'éclairer avec ses conseils avisés...*

*Mes chères sœurs ma deuxième mère Amira et son marié
Mohammed et ma belle aïcha.*

Mes chères frères Samir et Islam.

*Mon amie, collègue, et binôme Marwa qui a partagé avec
moi les moments difficiles de ce travail et à sa famille.*

*A tous les membres de la famille Lebloub et Daas que je n'ai
pas cités.*

Je dédie cette mémoire.

Lebloub Naziha

Dédicace

A



MES CHÈRES PARENTS

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez. Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive

Mes chères soeurs Meriem, Assia, Fatima et khadidja.

Mon frère Salah.

Ma nièce Aridj et mes neveux Mehdi et Iyad.

Mon amie, collègue, et binôme Naziha qui a partagé avec moi les moments difficiles de ce travail et à sa famille.

A tous les membres de la famille Siari et Loucif que je n'ai pas cités.

Je dédie cette mémoire.

Siari Marwa

Résumé

Les feux de forêt constituent un phénomène chronique et récurrent, dont l'intensité demeure croissante. L'élaboration d'outils fiables de simulation de feux de forêts, permettra de mieux les comprendre et prévoir leurs propagations, et par conséquent, de mieux lutter contre ce fléau. Ainsi, la simulation de feu de forêt intéresse la communauté scientifique depuis des décennies, et une variété de modèles ont été proposée pour étudier ce phénomène.

L'objectif de ce mémoire est la réalisation d'un simulateur de feux de forêts basé sur un modèle d'automate cellulaire. D'abord, nous avons implémenté le modèle, et réaliser une série de test pour s'assurer de la qualité de ses résultats, puis, nous avons passé à la conception et la réalisation d'un simulateur de feux de forêts basé sur le modèle implémenté précédemment. L'application réalisée permet de stocker les informations nécessaires pour simuler des feux de forêts sur des surfaces forestières (cartes topographiques, de végétation, etc), il permet aussi d'exécuter des simulations de feux sur des surfaces forestières, et de visualiser l'évolution des simulations en temps réel. L'application est dotée de nombreuses autres fonctionnalités qui faciliteront le travail des experts du domaine.

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre 01 : Modélisation, simulation, feux de forêts	
1. Introduction	3
2. Modélisation et simulation	3
2.1. Modélisation.....	3
2.2. Simulation	4
3. Automates cellulaires	7
3.1. Définition	7
3.2. Les propriétés fondamentales des automates cellulaires	9
3.3. Les applications pratiques des automates cellulaires	10
4. Simulation de feux d forets à base d'automates cellulaires	10
4.1. Feux de foret.....	10
4.2. Comportement du feu.....	10
4.3. Les différents types de feux.....	11
4.4. Les modes de propagation du feu de forêt.....	12
4.5. Géométrie d'un feu de surface	14
4.6. L'influence des facteurs naturels	14
4.7. L'influence des facteurs anthropiques.....	15
4.8. Le risque du feu de forêt	15
4.9. Les modèles de simulation de feu de forêt	16
5.Conclusion	18

Chapitre 02 : Implémentation et teste du modèle de simulation

1. Introduction.....	19
2. Description du modèle	19
2.1. Définition de la grille.....	19
2.2. Etat des cellules	19
2.3. Les Règles d'évolution	19
2.4. Les variables affectant la propagation du feu.....	20
2.4.1. Effet du type et de la densité de la végétation.....	21
2.4.2. Effet de la vitesse et de la direction du vent.....	21
2.4.3. Effet de l'élévation du sol (altitude)	21
3. Implémentation du modèle	22
4. Test du modèle.....	25
4.1. Test de l'effet de la densité de végétation.....	26
4.2. Test de l'effet du type végétation.....	26
4.3. Test de l'effet de la direction et de la vitesse du vent	27
4.3.1. Test de l'effet de la direction du vent.....	27
4.3.2. Test de l'effet de la vitesse du vent	28
4.4. Test de l'effet de l'élévation du sol	29
5. Conclusion.....	30

Chapitre 03 : conception et Analyse de l'application

1. Introduction.....	31
2. Langage et processus pour l'analyse et la conception	31
2.1. Le langage UML	31

2.2. Processus	31
3. Phase d'identification des besoins	33
3.1. Cahier de charge.....	33
3.1.1. Présentation de projet.....	33
3.1.2. Les choix techniques	33
3.1.3. Les besoins fonctionnels.....	34
3.2. Identification des acteurs.....	35
3.3. Diagramme de cas d'utilisation.....	35
3.4. Classement des cas d'utilisation.....	36
3.5. Descriptions textuelles des cas d'utilisation.....	36
3.5.1. Ajouter une surface forestière	36
3.5.2. Simuler un feu de forêt.....	37
3.5.3. Enregistrer le rapport de simulation	38
3.5.4. Ouvrir un rapport de simulation.....	38
3.5.5. Imprimer le rapport de simulation	39
3.5.6. Rechercher des surfaces forestières.....	39
3.5.7. Supprimer un rapport de simulation.....	40
3.5.8. Supprimer une surface forestière	40
3.6. Diagramme de séquence système	41
3.6.1. Ajouter une surface forestière	41
3.6.2. Simuler un feu de forêt.....	42
3.6.3. Enregistrer le rapport de simulation	43
3.6.4. Ouvrir un rapport de simulation.....	43
3.6.5. Imprimer le rapport de simulation	44

3.6.6. Rechercher des surfaces forestières.....	44
3.6.7. Supprimer un rapport de simulation.....	45
3.6.8. Supprimer une surface forestière.....	45
4. Phase d'analyse.....	46
4.1. Modèle du domaine.....	46
4.1.1. Dictionnaire des données.....	46
4.1.2. Modèle du domaine.....	47
4.1.3. Diagramme de classes participantes.....	48
4.1.3.1. Ajouter une surface forestière.....	48
4.1.3.2. Simuler un feu de forêt.....	49
4.1.3.3. Enregistrer le rapport de simulation.....	49
4.1.3.4. Ouvrir un rapport de simulation.....	50
4.1.3.5. Imprimer un rapport de simulation.....	50
4.1.3.6. Rechercher des surfaces forestières.....	51
4.1.3.7. Supprimer un rapport de simulation.....	51
4.1.3.8. Supprimer une surface forestière.....	52
4.1.4. Diagrammes d'activités de navigation.....	53
4.1.4.1. Ajouter une surface forestière.....	53
4.1.4.2. Simuler un feu de forêt.....	54
4.1.4.3. Enregistrer le rapport de simulation.....	55
4.1.4.4. Ouvrir un rapport de simulation.....	55
4.1.4.5. Imprimer un rapport de simulation.....	56
4.1.4.6. Rechercher des surfaces forestières.....	57
4.1.4.7. Supprimer un rapport de simulation.....	58

4.1.4.8. Supprimer une surface forestière.....	59
5. Phase de conception.....	59
5.1. Diagramme d'interactions.....	60
5.1.1. Ajouter une surface forestière	60
5.1.2. Simuler un feu de forêt.....	61
5.1.3. Enregistrer le rapport de simulation	62
5.1.4. Ouvrir un rapport de simulation.....	63
5.1.5. Imprimer le rapport de simulation	64
5.1.6. Rechercher des surfaces forestières.....	65
5.1.7. Supprimer un rapport de simulation.....	66
5.1.8. Supprimer une surface forestière	67
5.2. Diagramme de classe de conception.....	68
5.1.1 Ajouter une surface forestière	68
5.1.2. Simuler un feu de forêt.....	68
5.1.3. Enregistrer le rapport de simulation	69
5.1.4. Ouvrir un rapport de simulation.....	69
5.1.5. Imprimer le rapport de simulation	70
5.1.5. Recherche des surfaces forestières	70
5.1.6. Supprimer un rapport de simulation.....	71
5.1.7. Supprimer une surface forestière	71
6. Conclusion.....	72
Chapitre 04: Implémentation	
1. Introduction.....	73
2. Outils de développement	73

2.1. Langage java et IDE NetBeans	73
2.2. SGBDR MYSQL.....	74
2.3. Google Earth Pro	74
2.4. Le site Global Data Explorer (GDEx).....	75
2.5. eCognition	75
3. Passage du diagramme de classes au modèle relationnel.....	76
3.1. Les règle de passage.....	77
4. Table de la base de données	77
5. Présentation de l'application.....	77
5.1. Page «Accueil»	78
5.2. Page «Ajouter une Surface forestière».....	78
5.3. Page «Simuler un feu de forêt».....	79
5.4. Page «Rechercher de surfaces forestières»	81
5.5. Page «Suppression des rapports»	83
5.6. Page «Suppression de surface forestière»	83
6. Conclusion.....	84
Conclusion générale.....	85

Liste des figures

Figure 1.1. Les différentes étapes de simulations	6
Figure 1.2. Les différents type de voisinage dans un automate cellulaire bidimensionnel	8
Figure 1.3. Exemple sur l'application des règles de jeu de la vie.	8
Figure 1.4. Triangle de feu.	11
Figure 1.5. Les différents types des feux.	12
Figure 1.6. Les différents modes de propagation de feux.	13
Figure 1.7. Les deux types du front.....	14
Figure 1.8. Présentation de la surface forestière par une grille	16
Figure 2.1. Les directions possibles de propagation du feu sur une grille carrée	20
Figure 2.2. Interface du prototype de simulation	23
Figure 2.3. Diagramme de classes qui décrit l'implémentation du modèle	24
Figure 2.4. La propagation du feu avec des densités différentes de la végétation.....	26
Figure 2.5. La propagation du feu dans les différents cas de type de la végétation.....	27
Figure 2.6. La propagation du feu dans les différentes directions du vent	28
Figure 2.7. La propagation du feu avec deux vitesses différentes	29
Figure 2.8. Visualisation tridimensionnelle de la colline générée.	29
Figure 2.9. La propagation du feu dans les deux expérimentations de l'élévation du sol.	30
Figure 3.1. Chaîne complète de la démarche de modélisation du besoin jusqu'au code.	33
Figure 3.2. Diagramme du cas d'utilisation.	35
Figure 3.3. Diagramme de séquence système du cas d'utilisation «Ajouter une surface forestière ».	41
Figure 3.4. Diagramme de séquence système du cas d'utilisation «Simuler un feu de forêt ».	42
Figure 3.5. Diagramme de séquence système du cas d'utilisation «Enregistrer le rapport de simulation ».	43

Figure 3.6. Diagramme de séquence système du cas d'utilisation «Ouvrir un rapport de simulation».....	43
Figure 3.7. Diagramme de séquence système du cas d'utilisation «Imprimer le rapport de simulation ».....	44
Figure 3. 8. Diagramme de séquence système du cas d'utilisation «Recherche des surfaces forestières ».....	44
Figure 3.9. Diagramme de séquence système du cas d'utilisation «Supprimer un rapport de simulation ».....	45
Figure 3.10. Diagramme de séquence système du cas d'utilisation «Supprimer une surface forestière ».....	45
Figure 3.11. Modèle du domaine	47
Figure 3.12. Diagramme de classes participantes du cas d'utilisation «Ajouter une surface forestière».....	48
Figure 3.13. Diagramme de classes participantes du cas d'utilisation «Simuler un feu de forêt »...	49
Figure 3.14. Diagramme de classes participantes du cas d'utilisation «enregistré un rapport de simulation ».....	49
Figure 3. 15. Diagramme de classes participantes du cas d'utilisation «Ouvrir un rapport de simulation ».....	50
Figure 3.16. Diagramme de classes participantes du cas d'utilisation «Imprimer un rapport de simulation».....	50
Figure 3.17. Diagramme de classes participantes du cas d'utilisation «Rechercher des surfaces forestières ».....	51
Figure 3.18. Diagramme de classes participantes du cas d'utilisation «Supprimer un rapport de simulation ».....	51
Figure 3.19. Diagramme de classes participantes du cas d'utilisation «Supprimer une surface forestière ».....	52
Figure 3.20. Diagramme d'activités de navigation du cas d'utilisation «Ajouter une surface forestière».....	53
Figure 3.21. Diagramme d'activités de navigation du cas d'utilisation «Simuler un feu de forêt».	54
Figure 3.22. Diagramme d'activités de navigation du cas d'utilisation «Enregistrer le rapport de simulation».....	55

Figure 3.23. Diagramme d'activités de navigation du cas d'utilisation «Ouvrir un rapport de simulation».....	55
Figure 3.24. Diagramme d'activités de navigation du cas d'utilisation «Imprimer le rapport de simulation».....	56
Figure 3.25. Diagramme d'activité de navigation du cas d'utilisation «Rechercher des surfaces forestières».....	57
Figure 3.26. Diagramme d'activité de navigation du cas d'utilisation «Supprimer un rapport de simulation».....	58
Figure 3.27. Diagramme d'activité de navigation du cas d'utilisation «Supprimer une surface forestière».....	59
Figure 3. 28. Diagramme d'interaction du cas d'utilisation «Ajouter une surface forestière».	60
Figure 3.29. Diagramme d'interaction du cas d'utilisation «Simuler un feu de forêt».	61
Figure 3.30. Diagramme d'interaction du cas d'utilisation «Enregistrer le rapport de simulation».	62
Figure 3.31. Diagramme d'interaction du cas d'utilisation «Ouvrir un rapport de simulation».....	63
Figure 3.32. Diagramme d'interaction du cas d'utilisation «Imprimer le rapport de simulation».	64
Figure 3.33. Diagramme d'interaction du cas d'utilisation «Rechercher des surfaces forestières».	65
Figure 3.34. Diagramme d'interaction du cas d'utilisation «Supprimer un rapport de simulation».	66
Figure 3.35. Diagramme d'interaction du cas d'utilisation «Supprimer une surface forestière ».	67
Figure 3.36. Diagramme de conception du cas d'utilisation «Ajuter une surface forestière».	68
Figure 3.37. Diagramme de conception du cas d'utilisation «Simuler un feu de forêt».....	68
Figure 3.38. Diagramme de conception du cas d'utilisation «Enregistrer le rapport de simulation».....	69
Figure 3.39. Diagramme de conception du cas d'utilisation «Ouvrir un rapport de simulation»....	69
Figure 3.40. Diagramme de conception du cas d'utilisation «Imprimer le rapport de simulation».	70
Figure 3.41. Diagramme de conception du cas d'utilisation «Rechercher des surfaces forestières».....	70
Figure 3.42. Diagramme de conception du cas d'utilisation «Supprimer un rapport de simulations ».....	71

Figure 3.43. Diagramme de conception du cas d'utilisation «Supprimer une surface forestière» .	71
Figure 4.1. Environnement NetBeans	73
Figure 4.2. Environnement MySQL	74
Figure 4.3. Interface du logiciel Google Earth Pro	75
Figure 4.4. La segmentation d'une image satellitaire avec l'algorithme multi-résolution	76
Figure 4.5. La classification avec l'algorithme du plus proche voisin.....	76
Figure 4.6. Page « Accueil » de l'application	78
Figure 4.7. Page « Ajouter une surface forestière ».....	79
Figure 4.8. Page «Simuler un feu de forêt» :Visualisation sur la carte satellitaire	80
Figure 4.9. Page «Simuler un feu de forêt» :Visualisation sur la carte topographique.....	80
Figure 4.10. Page «Simuler un feu de forêt» :Visualisation sur la carte type végétation	81
Figure 4.11. Page «Simuler un feu de forêt» :Visualisation sur la carte densité	81
Figure 4.12. Page «Rechercher des surfaces forestières».....	82
Figure 4.13. Page «Résultat de la recherche».....	82
Figure 4.14 Page «Suppression de rapport».....	83
Figure 4.15. Page «Suppression de surface forestière».....	83

Liste Tableaux

Tableau 1.1. Objectifs de la simulation	4
Tableau 2.1. Les différentes valeurs de P_{den} dans les différentes densités de végétation.....	22
Tableau 2.2. Les différentes valeurs de P_{veg} dans les différents types de végétation.....	22
Tableau 2.3. Les différents valeurs des constantes $P_h, a, c_1,$ et c_2	22
Tableau 2.4. Tableau représente les valeurs des attributs dans les différentes expérimentations...25	
Tableau 3.1. Classification des cas d'utilisation	36

Introduction générale

Les feux de forêt constituent un phénomène chronique et récurrent, dont l'intensité demeure croissante. Ce phénomène concerne la majeure partie des pays, et plus particulièrement ceux du bassin méditerranéen y compris l'Algérie. Dans notre pays, 1600 incendies en moyenne qui ravagent annuellement plus de 35000 ha de forêts. Les impacts environnementaux et socio-économiques des feux de forêts obligent les pays concernés à fournir d'intenses efforts tant au niveau préventif qu'extinctif.

L'élaboration d'outils fiables de simulation de feux de forêts, permettra de mieux comprendre et prévoir ce fléau. Cependant, le feu de forêt est en effet complexe, car il met en jeu beaucoup de facteurs qui influencent sa propagation (la vitesse et la direction du vent, la température, la densité et les types de végétations, la topographie des surfaces, etc.). Ainsi, cette complexité rend difficile l'élaboration de modèles fiables pour simuler ce phénomène.

Nombreux sont les modèles qui ont été élaborés pour modéliser les feux de forêts. Les modèles qui attirent le plus des intentions sont ceux basés sur le concept de l'Automate Cellulaire (AC). Les automates cellulaires introduits par Von Neumann (1966), sont des représentations mathématiques de systèmes complexes en une grille de cellules qui peuvent prendre différents états. Les cellules changent d'état en fonction de règles de transition et des états des cellules voisines. Les cellules mettent à jour leurs états dans des étapes discrètes de manière synchrone. Les AC ont de nombreuses caractéristiques qui les rendent attrayantes dans la modélisation des phénomènes de diffusion, y compris la propagation épidémique et la vaccination, le flux de circulation des piétons dans l'évacuation des incendies, l'évolution urbaine, etc. Dans le cas de la modélisation de feux de forêts, une variété de modèles basés AC ont été proposés.

L'objectif de notre travail est la conception et l'implémentation d'une application de simulation de feux de forêts. L'application utilisera un modèle basé AC, et disposera de nombreuses fonctionnalités, entre autres:

- Sauvegarde dans la base de données des informations nécessaires pour la simulation de feux sur une surface forestière données (carte topographique, de densité de la végétation, etc.).
- Recherche de surface forestière dans la base de données avec différents critères.

- Exécution de simulations de feux de forêts sur les surfaces forestières disponibles dans la base de données.
- Enregistrement, ouverture et impression des rapports des simulations réalisées.
- Evaluation des niveaux de risques des différentes zones d'une surface forestière.

Le présent mémoire est organisé en quatre chapitres dont nous donnons une brève description dans les lignes suivantes :

Chapitre 01 : Dans ce chapitre nous allons présenter des concepts de bases concernant la modélisation et la simulation informatique, et les automates cellulaires, et nous expliquons leurs applications pour la simulation de feux de forêt.

Chapitre 02 : Dans ce chapitre nous allons présenter une description du modèle que nous avons choisi pour notre application, puis, nous présentons son implémentation et les tests réalisés pour s'assurer de son bon fonctionnement.

Chapitre 03 : Ce chapitre décrit les différentes phases d'analyse et de conception de l'application. Nous présentons le cahier des charges, puis, nous utilisons le langage UML et une démarche adaptée pour la modélisation de la future application.

Chapitre 04 : Ce chapitre décrit brièvement les outils utilisés pour réaliser l'application, et présente quelques interfaces de l'application réalisée.

Le mémoire se termine par une conclusion générale.

Chapitre 01

*Modélisation,
Simulation, et feux de
forêts*

1. Introduction

Depuis les années 1970, il s'est développée l'idée de concevoir et implémenter des modèles informatiques qui représentent des phénomènes du monde réel et leurs comportements, dans l'objectif d'exploiter la puissance des ordinateurs pour les étudier. C'est ce qu'on appelle la simulation informatique. La propagation de feux de forêts fait partie des phénomènes étudiés en se basant sur la simulation informatique. De nombreux modèles basés sur le paradigme d'automates cellulaires ont été proposés pour étudier ce phénomène. Dans ce chapitre nous allons présenter des concepts de bases concernant la modélisation et la simulation informatique, nous présentons les automates cellulaires et nous expliquons leurs applications pour la simulation de feux de forêt.

2. Modélisation et simulation

2.1. Modélisation

Un modèle est une image simplifiée de la réalité qui nous sert à comprendre le fonctionnement d'un système en fonction d'une question. [Bousquet, 2002].

La modélisation c'est l'activité qui consiste à construire des modèles, c'est l'une des deux principales composantes de la démarche scientifique avec l'expérimentation. En fait les chercheurs passent la majeure partie de leurs temps à construire, comparer et tester les modèles [Jean-Pierre, 2008].

Les modèles peuvent être classés sous différents types. Ils peuvent être selon leur vocation, descriptive ou explicative. Aussi, ils peuvent être classés à des modèles basés sur les mesures ou sur les entités :

- **Les modèles descriptifs**

Ont pour vocation de saisir un invariant observé d'un système, par exemple la trajectoire d'une planète ou l'évolution d'une population. Il n'est alors pas nécessaire de savoir pourquoi il y a cette trajectoire ou cette évolution mais seulement comment.

- **Les modèles explicatifs**

Ont pour vocation de rendre compte d'un mécanisme ou processus génératif dont le résultat peut être entre, entre autres, une trajectoire ou une évolution déterminée si tant est que les conditions initiales et les valeurs des paramètres du modèle produisent effectivement un tel invariant.

On citera, par exemple, le jeu des forces gravifiques pour la trajectoire d'une planète ou les comportements de reproduction pour l'évolution d'une population.

- **Les modèles basés sur les mesures**

L'état s'exprime comme un ensemble de variables représentant des grandeurs mesurables du système que l'on modélise (position, nombre d'individus dans une population).

- **Les modèles basés sur les entités**

L'état s'exprime comme un ensemble structuré, éventuellement variable, d'objets dont non seulement les états mais aussi les relations et le nombre peuvent changer au cours du temps [Bousquet, 2002].

2.2. Simulation

Pour comprendre la simulation nous allons d'abord voir ce que c'est un « simulateur ». Un simulateur est un programme informatique qui implémente un modèle simplifié d'un système ou d'un processus. La simulation est l'activité au cours de laquelle, selon un protocole et avec un objectif précis on utilise un simulateur [Jean-Pierre, 2008]. Autrement dit, la simulation consiste à utiliser un simulateur basé sur la mise en œuvre de modèles théoriques et servent à étudier le fonctionnement et les propriétés d'un système modélisé ainsi qu'à en prédire son évolution. Nous allons présenter la diversité des objectifs de la simulation pour mieux comprendre à quoi sert. Ces objectifs sont subdivisés dans le tableau 1.1 [Jean-Pierre, 2008].

Tableau 1.1. Objectifs de la simulation

La simulation peut être utilisée à des fins de :	
Validation Evaluation vérification	La simulation a comme objectif de tester une hypothèse du modèle du système de référence, de la vérifier ou accréditer la théorie qui a servi à la construire.
Communication Formation Visualisation	La simulation a comme objectif de montrer et de partager le modèle de la dynamique de système de référence.
Compréhension Exploration Explication	La simulation sert à comprendre le fonctionnement du système comme une réplique miniature qui pourra être étudié plus facilement
Contrôle Action Pilotage	La simulation a comme objectif de support à une prise de décision ou à un contrôle qui influera sur l'état du système de référence.
Prévision Prédiction Anticipation	La simulation sert à prévoir les évolutions possibles du système de référence en fonction d'évolutions ou de perturbation spécifique

Une étude de simulation, i.e., la construction d'un simulateur et son utilisation pour réaliser des études passe par des étapes qu'on peut résumer comme suit [Pichel, 2003] :

(1) Analyse du problème

L'analyse du problème est un préliminaire indispensable et d'une grande importance, puisque c'est dans cette étape que l'on doit définir précisément ce que l'on veut mettre en évidence avec la simulation, et quelle précision on attend. On détermine aussi les indicateurs de performance qui vont permettre de vérifier si l'on atteint les objectifs que l'on s'est fixé. Enfin, il faut pouvoir fournir des données numériques au modèle. Celles-ci sont relatives à tous les éléments utilisés dans la simulation.

(2) Modélisation et programmation

La construction du modèle permet de coder le modèle dans un langage informatique approprié. Cette étape est de plus en plus facilitée par l'évolution des progiciels dont la tendance est de substituer aux primitives d'un langage une interface graphique, interactive et conversationnelle.

Une fois le modèle réalisé, il faut vérifier si les règles logiques qui décrivent le flux sont bien programmées et correspondent à ce qui est demandé. On exécute donc des tests de simulation uniquement pour vérifier le bon fonctionnement du modèle. Si des différences apparaissent, il faut pouvoir "tracer" tous les événements du modèle et vérifier leur cohérence par rapport aux données. Cette étape doit se terminer par une validation qui consiste par exemple à comparer les résultats fournis par le modèle aux résultats du système réel si celui-ci existe. Les rapports statistiques peuvent aider à cette validation entre résultats simulés et résultats réels.

(3) La conception des expérimentations

L'exploitation de la simulation est l'étape où l'on utilise le modèle comme support expérimental pour évaluer le comportement dynamique du système. Il faut bien sûr avoir défini les données sur lesquelles on va pouvoir agir pour atteindre les objectifs que l'on s'est fixé dans la 1ère étape. Un scénario ou une expérimentation se caractérise donc par un jeu de données qui varie à chaque itération du processus expérimental. Des méthodes telles que les plans d'expériences peuvent être utilisées pour organiser les scénarios, réduire leur nombre et interpréter les résultats.

(4) Documentation et rapport

Cette dernière étape est importante vis-à-vis du demandeur de l'étude de simulation. En effet, celui-ci n'est pas forcément un expert dans ce domaine et il va falloir présenter les résultats de l'étude pour qu'ils soient compréhensibles

La figure 1.1. représente un organigramme qui représente les différentes étapes de la simulation, étape par étape, en faisant apparaître les limites de chaque étape précédentes [Fontanili, 1999].

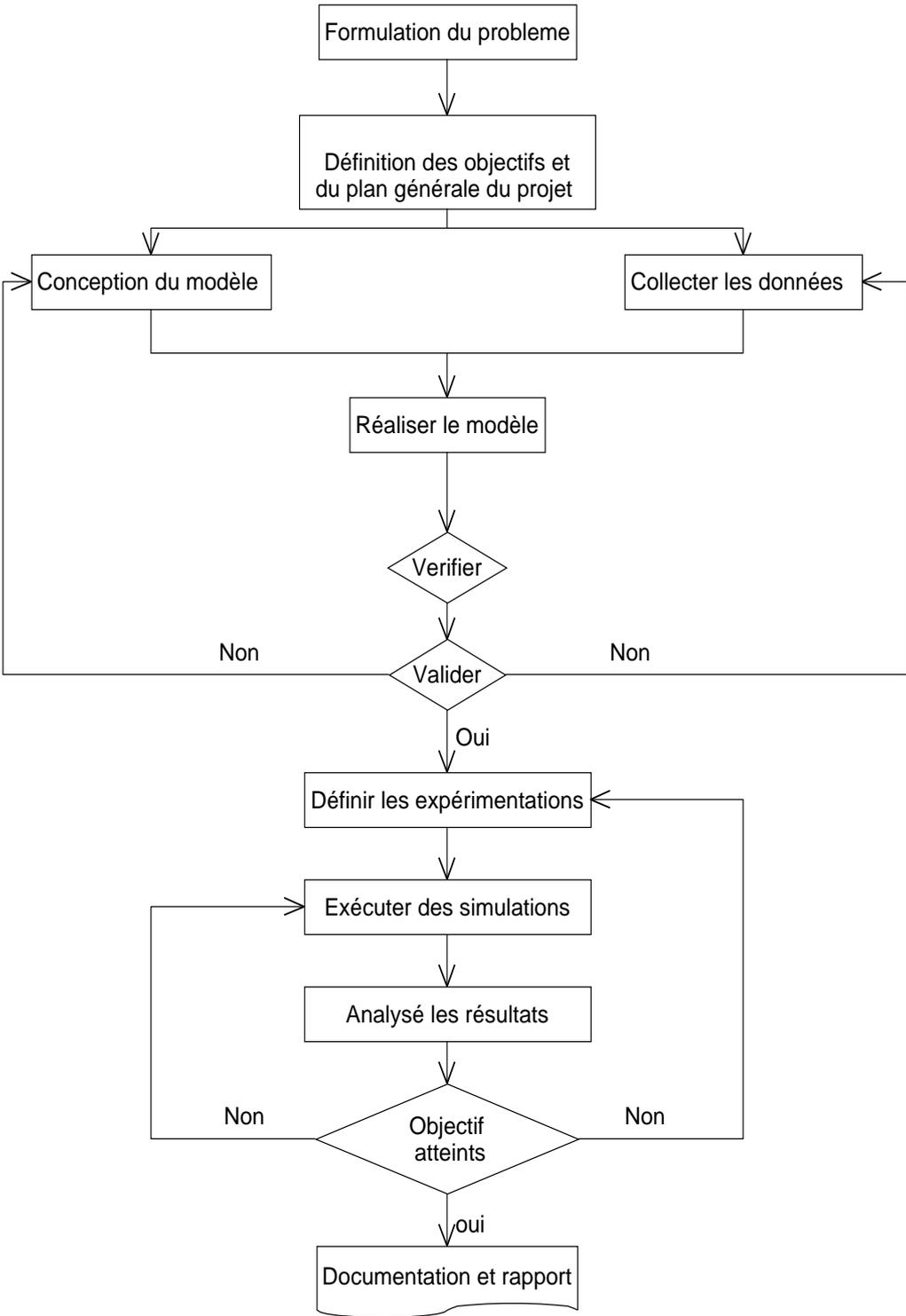


Figure 1.1. Les différentes étapes de simulations.

3. Automates cellulaires

Les automates cellulaires ont fait apparition suite des travaux de J. von Neumann ([Neumann, 1966]) et K. Zuse ([Zuse, 1969]). Dans les deux cas, Il s'agissait de modéliser des phénomènes par un réseau régulier d'entités uniformes simples interagissant localement de manière synchrone et déterministe.

3.1. Définition

Un automate cellulaire consiste en une grille régulière de « cellules » contenant chacune un « état » choisi parmi un ensemble fini et qui peut évoluer au cours du temps. L'état d'une cellule au temps $t+1$ est fonction de l'état au temps t d'un nombre fini de cellules appelé son « voisinage ». À chaque nouvelle unité de temps, les mêmes règles sont appliquées simultanément à toutes les cellules de la grille, produisant une nouvelle « génération » de cellules dépendant entièrement de la génération précédente. Les éléments de l'automate cellulaire sont :

(1) La cellule

L'élément de base d'un automate cellulaire est la cellule. Une cellule est définie par ses coordonnées. Exemple: dans un réseau bidimensionnel, une cellule est définie par deux entiers (i,j) , i est le numéro de la ligne et j est le numéro de colonne.

(2) Le réseau

Les cellules sont disposées sur un réseau régulier de dimension d .

(3) Le voisinage

Le voisinage d'une cellule est l'ensemble des cellules susceptibles d'interagir avec elle dans un temps donné. Le voisinage contient toutes les informations nécessaires pour la mise à jour de l'état de la cellule à chaque pas du temps, une cellule appartient à son propre voisinage les voisinages les plus courants sont [Neumann, J. V., 1966] :

- Von Neumann : on considère les seuls voisins Nord/Sud/Est/Ouest (Figure 1.2. (a)).
- Moore : étend le voisinage de Von Neumann en y adjoignant les cellules diagonales (Figure 1.2. (b)).
- Moore étendu : on étend la distance de voisinage au-delà de un (Figure 1.2. (c)).

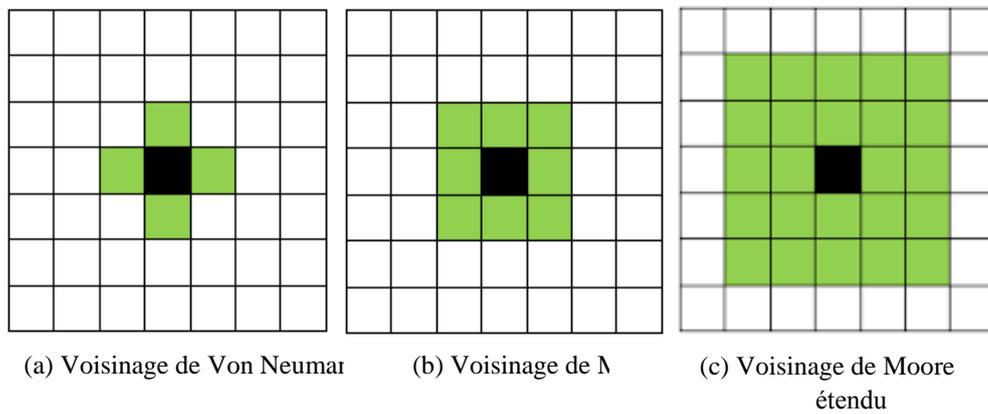


Figure 1.2. Les différents types de voisinage dans un automate cellulaire bidimensionnel.

(4) La règle d'évolution

La règle d'évolution permet de déterminer l'état d'une cellule au pas du temps $t+1$ en fonction de l'état des cellules de son voisinage à l'instant t .

A titre d'exemple, nous présentons dans la suite l'automate cellulaire : Jeu de la vie (game of life). C'est un automate cellulaire proposé par John Horton Conway en 1970 [Conway, 1970]. Les éléments du Jeu de la vie peuvent être exposés comme suit :

1. Une cellule peut prendre deux états:

- 0 (morte ou inactive), et
- 1 (vivante ou active).

1. Le jeu de la vie évolue sur un réseau carré bidimensionnel. ($d = 2$)

2. Le jeu de la vie utilise le voisinage de Moore.

3. Les règles d'évolution du jeu de la vie sont:

- Une cellule inactive entourée de 3 cellules actives devient active;
- Une cellule active entourée de 2 ou 3 cellules actives reste active ;
- Dans tous les autres cas, la cellule devient ou reste inactive.

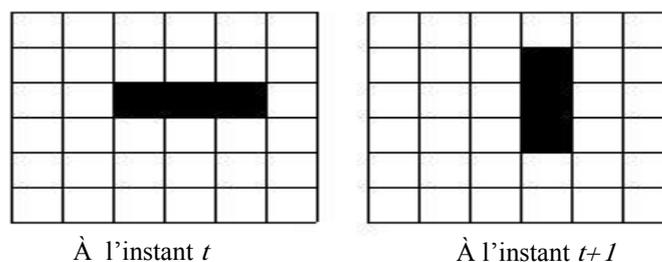


Figure 1.3. Exemple sur l'application des règles de jeu de la vie.

Formellement, un automate cellulaire est défini comme un 4-uplet (d, Q, V, δ) où :

- d est la dimension de l'automate, son réseau est alors Z^d , l'espace discret de dimension d .
- Q un ensemble fini, est son alphabet, i.e., l'ensemble des états que les cellules peuvent prendre.
- $V \subseteq Z^d$ un sous-ensemble fini de Z^d , le voisinage de l'automate :
 $V = (V_1, V_2, \dots, V_a) = (V_j \in Z^d ; 1 \leq j \leq a)$
- $\delta : Q^a \rightarrow Q$ est sa règle de transition et $a = |V|$.

On appelle alors configuration l'attribution d'un état à chaque cellule du réseau : une configuration est une fonction de Z^d dans Q .

➤ Exemples : automate cellulaire simple

Il s'agit d'un automate cellulaire $A = (Z^{d-1}, Q, V, \delta)$ ou :

- $Q = \{0,1\}$
- V : Les voisins d'une cellule i sont les cellules $i, i - 1$ et $i + 1$ pour simplifier ce voisinage peut être décrit par le triplet $V = (-1,0,1)$
- δ est une transition qui est définie par le tableau suivant :

Voisinage (q_1, q_2, q_3)	111	110	101	100	011	010	001	000
$\delta (q_1, q_2, q_3)$ Valeur suivante de la cellule centrale	0	0	0	1	1	1	1	0

Cela signifie que si par exemple, à un temps t donné, une cellule est à l'état «1» son voisinage de gauche à l'état «1» et sa voisin de droite à l'état «0», au temps $t+1$ elle sera à l'état «0» .

3.2. Les propriétés fondamentales des automates cellulaires

- 1. Le parallélisme** : Un système est dit parallèle si ses constituants évoluent simultanément et de manière indépendante, toutes les cellules constituant l'univers de l'automate sont mises à jour de manière simultanée et synchrone [Neumann, J. V., (1966)].
- 2. La proximité**: Le nouvel état d'une cellule ne dépend que de son état actuel et de l'état du voisinage immédiat.
- 3. L'homogénéité** : Toutes les cellules de l'automate utilisent les mêmes règles de transition pour déterminer leur état suivant.

3.3. Les applications pratiques des automates cellulaires

Les applications pratiques des automates cellulaires sont nombreuses et diverses, voici quelques exemples d'application :

- Simulation du comportement d'un gaz. Un gaz est composé d'un ensemble de molécules dont le comportement est fonction de celui des molécules voisines.
- Simulation et étude du développement urbain.
- Simulation des processus de cristallisation.
- Simulation de la propagation des feux de forêt.
- Simulation de la propagation d'une épidémie.
- Génération des effets graphiques.

4. Simulation de feux de forêts à base d'automates cellulaires

4.1. Feux de forêt

Dans cette section nous allons aborder le phénomène de feu de forêt, et nous expliquons sa géométrie, son comportement, ainsi que les facteurs qui influencent son développement. Finalement, nous discutons brièvement les modèles proposés pour étudier ce phénomène, particulièrement, ceux qui sont basé sur les automates cellulaires.

Le feu de forêts est un incendie incontrôlable qui se propage sur une étendue boisée d'une surface minimale d'un hectare et qu'une partie au moins des étages arbustifs et/ou arborés soit détruite. Lors d'un incendie, il y a la combustion qui libère une grande quantité d'énergie. Cette énergie est transférée à partir des combustibles brûlants aux combustibles non brûlés en avant du front de feu, et c'est ce phénomène qui assure la propagation de l'incendie. Le début d'incendie dépend de l'inflammabilité de la végétation et sa propagation dépendra d'un certain nombre de variables, y compris les caractéristiques des combustibles, les conditions météorologiques et la topographie.

4.2. Comportement du feu

Pour qu'il y ait inflammation et combustion, trois facteurs doivent être réunis, chacun en proportions convenables : un combustible, qui peut être n'importe quel matériau pouvant brûler, une source externe de chaleur (flamme) et de l'oxygène, nécessaire pour alimenter le feu ces trois paramètres sont représentés dans le triangle du feu (Figure 1.4.). Le triangle du feu est un modèle simple pour comprendre les éléments nécessaires pour la plupart des incendies [Khalil, 2011] .



Figure 1.4. Triangle de feu.

4.3. Les différents types de feux

Une fois éclos, un feu peut prendre différentes formes, chacune étant conditionnée par les caractéristiques de la végétation et les conditions climatiques (principalement la force et la direction du vent). Ainsi on distingue [Khalil,2011] :

- **Les feux de sol**

Sont des feux qui se propagent dans la litière et l'humus (la partie supérieure du sol. Elle est principalement composée de débris végétaux plus ou moins transformés). Ce sont des feux qui sont difficiles à détecter, car ils sont sans flammes. Leur vitesse de propagation est faible. Ces feux peuvent endommager les racines des arbres voir (Figure 1.5. (a)).

- **Les feux de surface**

Les feux de surface, qui brûlent les strates basses de la végétation, c'est-à-dire la partie supérieure de la litière, la strate herbacée et les ligneux bas. Ils se propagent en général par rayonnement et affectent la garrigue ou les landes voir (Figure 1.5. (b)).

- **Les feux de cimes**

Les feux de cimes, qui brûlent la partie supérieure des arbres (ligneux hauts) et forment une couronne de feu. Ils libèrent en général de grandes quantités d'énergie et leur vitesse de propagation est très élevée. Ils sont d'autant plus intenses et difficiles à contrôler que le vent est fort et le combustible sec (Figure 1.5.(c)).



(a) Feux de sol

(b) Feux de surface

(c) Feux de cimes

Figure 1.5. Les différents types des feux.

4.4. Les modes de propagation de feux de forêts

Un transfert de chaleur est un processus d'échange d'énergie entre deux points de l'espace se produisant lorsqu'une différence de température existe entre ces deux points. Il est assuré par 3 processus physiques fondamentaux qui sont la conduction, le rayonnement et la convection [Colin al ., (2001)] :

- **la conduction**

Permet la transmission de proche en proche de l'énergie cinétique (produite par le mouvement).

- **le rayonnement thermique**

Correspond au mode de propagation de l'énergie sous forme d'ondes infrarouges. C'est le principal mode de propagation des incendies.

- **la convection**

Liée aux mouvements d'air chaud, voit son importance augmenter avec le vent et la pente. Ce processus peut contribuer au transport de particules incandescentes en avant du front de flammes et au déclenchement de foyers secondaires (sautes de feu).

- **Projection (le saut du feu)**

Sont des projections de particules enflammées ou incandescentes en avant du front de flamme. Ces particules sont transportées par le vent, peuvent être la cause d'un incendie dans une autre zone forestière (Figure 1.7.).

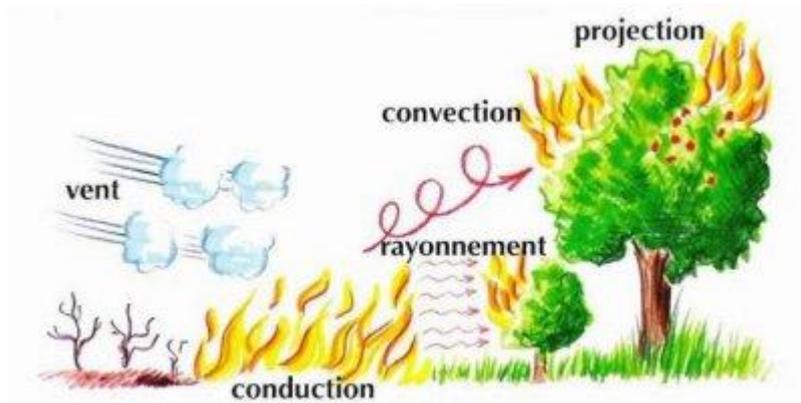


Figure 1.6. Les différents modes de propagation de feux.

4.5. Géométrie d'un feu de surface

En présence d'un feu, nous distinguons trois zones distinctes dans la strate de végétation

- **Une zone en feu**

Caractérisée par la présence de flammes. Cette zone en feu se prolonge au-dessus du domaine occupé par la strate de végétation [Khalil , 2011].

- **Une zone de végétation vierge**

En avant de la zone en feu. Cette zone est aussi nommée zone de combustible frais en empruntant le vocabulaire utilisé pour l'étude de la combustion de milieux pré mélangés gazeux. C'est la zone de végétation qui n'a pas encore été enflammée.

- **Une zone de végétation brûlée**

Se trouve en arrière de la zone en feu. La hauteur de la strate brûlée est plus faible que celle de la zone de combustible frais. Ces zones sont délimitées par deux fronts : le front du feu qui sépare la zone en feu de la zone de combustible frais et le front de combustible brûlé qui sépare la zone brûlée de la zone en feu. Ces fronts sont des surfaces géométriques (Figure 1.7.) ci-dessous.

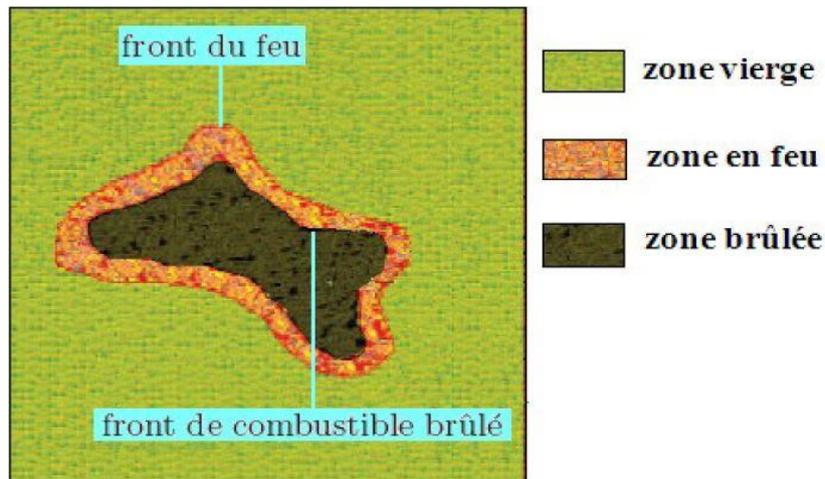


Figure 1.7. Les deux types du front.

4.6. L'influence des facteurs naturels

Les conditions météorologiques et les caractéristiques de la végétation conditionnent le développement des incendies, les premières pouvant avoir une influence non négligeable sur les secondes. Dans certaines situations (forts vents par exemple), la topographie du site peut également favoriser le développement des incendies [Khalil ,2011].

- **Les conditions météorologiques**

Les périodes de sécheresse et les épisodes de vents forts, sont favorables à l'éclosion des incendies. Ainsi le vent accélère le dessèchement des sols et des végétaux et augmente les risques de mises à feu, par la dispersion d'éléments incandescents. La chaleur dessèche les végétaux par évaporation et provoque lors des périodes les plus chaudes la libération d'essences ces volatiles, à l'origine de la propagation des flammes.

- **Les caractéristiques de la végétation**

La prédisposition de la végétation aux incendies est souvent liée à sa teneur en eau, elle-même déterminée par les conditions météorologiques. L'état général de la zone forestière, c'est-à-dire les conditions de peuplement de la forêt (disposition des strates, état d'entretien, densité, essences présentes, passage récent d'un incendie) et la composition chimique de la végétation (teneur en essences volatiles ou en résines), jouent également un rôle déterminant dans l'éclosion des incendies.

- **Les conditions orographiques**

Dans une zone sans relief, un départ de feu est facilement soumis à l'accélération du vent. En zone de relief irrégulier, la progression du feu est accélérée dans les montées et ralentie dans les descentes.

4.7. L'influence des facteurs anthropiques

Les facteurs anthropiques ont un rôle prépondérant dans le déclenchement des incendies de forêt. Dans la zone étudiée par Prométhée, plus de 80 % des incendies sont causés chaque année par des activités humaines. On peut classer les causes d'origine humaine en cinq grandes catégories [Ali Khalil al., 2011]:

- **les causes accidentelles** : provenant des infrastructures de transport comme les chemins de fer ou les automobiles, des lignes électriques et des dépôts d'ordures, dans lesquels des feux peuvent couvrir.
- **l'imprudence** : par des jets de mégots, des pique-niques en forêt ou des jeux d'enfants.
- **les travaux agricoles et forestiers** : au cours desquels des feux mal maîtrisés peuvent se propager.
- **les loisirs** : qui accroissent le risque de départ de feux lorsqu'ils sont pratiqués dans de forêt.

À ces causes directes viennent s'ajouter des phénomènes aggravants :

- **la déprise agricole** : le déclin des activités agricoles et pastorales et l'abandon des espaces ruraux favorisent l'extension des friches, zones potentielles de départs d'incendie.
- **l'urbanisation** : le mitage, par l'expansion des habitations aux abords des zones boisées, voire au sein même de la forêt, multiplie les points potentiels de départs d'incendies accidentels. De plus avec l'extension urbaine, l'interface entre les zones d'habitat et les zones sensibles de forêts se réduit progressivement. Ceci a pour conséquence de limiter les zones tampon à de faibles périmètres, insuffisants pour stopper la propagation d'un feu.

Tous ces facteurs anthropiques sont bien sûr aggravés par les facteurs naturels, tels le vent ou la sécheresse.

4.8. Le risque du feu de forêt

Par ses effets, le feu est un agent de destruction aussi bien pour les hommes et leurs activités, que pour l'environnement.

- **Les atteintes aux hommes aux biens et aux activités**

Parmi les hommes, les plus touchés sont les pompiers, qui payent parfois un lourd tribut en protégeant les forêts et les populations exposées aux incendies. Leur travail est d'ailleurs efficace puisqu'on déplore rarement, en Algérie, de victimes de feux de forêts parmi la population.

Les habitations, et plus particulièrement celles implantées dans les zones forestières, présentent une forte sensibilité aux feux. La destruction de zones d'activités économiques et industrielles, ainsi que des réseaux de communication, entraîne généralement un coût important et des pertes d'exploitation [Khalil , 2011].

- **Les atteintes à l'environnement**

L'impact d'un feu de forêt sur la faune et la flore est lié à son intensité et à l'intérêt biologique que présentent les espèces concernées. Un incendie a des conséquences immédiates (modification du paysage, disparition d'animaux ou végétaux, parfois appartenant à des espèces rares), mais également à plus long terme, si l'on considère les temps nécessaires à la reconstitution des biotopes. Parmi la faune, les reptiles et animaux rampants sont les plus touchés, car ils ne peuvent fuir les flammes comme les oiseaux et le gibier.

Les conséquences sur les sols sont déterminées par la quantité d'humidité qu'ils contiennent et la présence de matières organiques. Ils peuvent être affectés par une perte d'éléments minéraux comme l'azote, mais le principal problème est la dégradation de la couverture végétale. Elle peut être à l'origine d'un accroissement du ruissellement, d'où un risque d'érosion important [Ali Khalil al., 2011].

4.9. Les modèles de simulation de feux de forêts

La lutte contre les feux de forêts à bénéficier de modèles mathématiques qui pourraient être utilisés pour prédire la propagation du feu dans l'espace et le temps. Un modèle pour prédire une propagation de feux de forêts devrait prendre en compte des facteurs environnementaux externes tels que les conditions météorologiques ainsi que les caractéristiques spécifiques du terrain. Les facteurs les plus importants qui influent sur le taux de propagation et la forme d'un feu de forêt sont le type de végétation et densité, la vitesse et la direction du vent, etc.

Nombreux sont les modèles qui ont été élaborés pour modéliser les incendies de forêts. La revue bibliographique révèle trois grandes approches classiques ainsi que leurs limites pour la modélisation de la propagation des feux de forêts [Abibi, 2013]. En effet, on peut citer:

L'approche purement physique qui n'a jamais abouti à l'implémentation d'un modèle qui prédit la propagation du feu connaissant les paramètres qui expliquent le phénomène.

L'approche intermédiaire, qui consiste à proposer des équations de propagation émanant de principes physiques, et à évaluer certains termes expérimentalement et de manière contrôlée. C'est la démarche adoptée par les chercheurs américains, qui a abouti au modèle de « Rothermel » [Rothermel, 1972] utilisé par le système, de prédiction de la propagation, américain « Behave ».

L'approche réseau, dit « Petit monde » [Porterie al., 2005], est une autre variante élaborée sur la base des automates cellulaires (AC). Elle est susceptible de constituer un simulateur de feu de forêt.

Une autre approche, complètement différente des précédentes, est purement basée sur le concept des automates Cellulaires (AC) [Fatès, 2006]. Elle est utilisée pour modéliser et simuler des phénomènes de diffusion en général, et des incendies de forêts en particulier.

La première utilisation des automates cellulaires pour modéliser la propagation de feux de forêts est attribuée à Kourtz [Kourtz, 1971]. Par la suite, on notera les travaux remarquables d'Albinet [Albinet al., 1986], de Stauffer et Aharony [Stauffer al., 1991], de Téphany [Téphany al., 1997], d'Hargrove [Hargrove al., 2000]. Et plus récemment, les travaux de S. Yassemi [Yassemi, 2008], ainsi que le modèle que nous avons adopté dans notre projet qu'est proposé par A. Alexandridis [Alexandridis al., 2008].

Les modèles de simulation de feux forêts basés automates cellulaires sont différents sur plusieurs points, particulièrement, les formes des cellules et les règles de propagation de feu. Cependant, ces modèles partagent des points communs, que nous pouvons résumer comme suit :

- Représentation de la surface forestière par une grille de cellules, où chaque cellule représente un élément de la surface i.e., une petite zone forestière de quelques mètres carrés (figure 1.9).
- Chaque cellule est caractérisée par un état qui peut être : combustible, feu, cendre, et incombustible.
- Toute cellule possède un voisinage et des règles de transition. Les règles de transition permettent de calculer le prochain état de la cellule à partir de son état courant et de l'état courant de toutes les cellules de son voisinage. Bien que ces règles soient différentes d'un modèle à un autre dans le cas d'une transition de l'état combustible à l'état feu, elles sont plus au moins similaires dans les autres cas, et peuvent être résumées comme suit :

(1) Une cellule vide (incombustible) reste Vide.

(2) Une cellule Cendre reste Cendre.

(3) Une cellule Feu devient Cendre.

(4) Une cellule Arbre (combustible) devient Feu avec une certaine probabilité dont le calcul dépend du modèle appliqué, sinon, elle reste à l'état combustible.

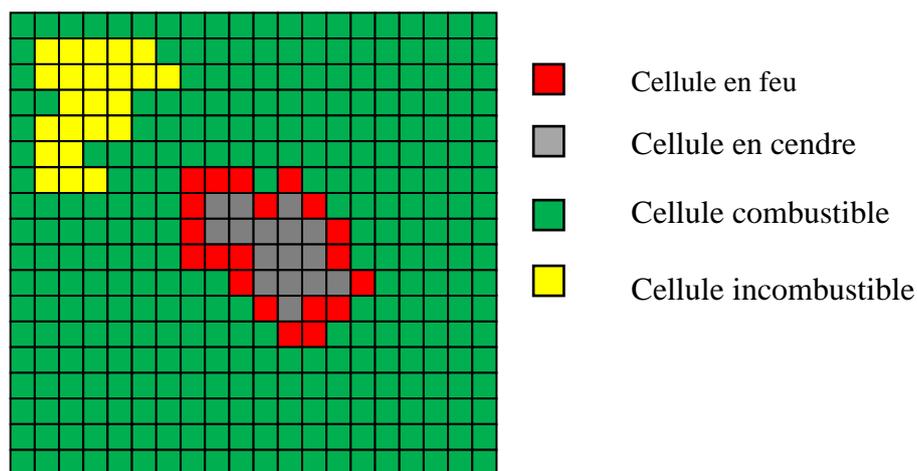


Figure 1.8. Représentation de la surface forestière par une grille d'automate cellulaire.

5. conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les concepts de base relatifs au domaine de la modélisation et la simulation informatique, puis, nous avons met en relief le phénomène de feux de forêts, et sa simulation basées automates cellulaires. Ceci nous a permis de saisir les connaissances essentielles pour se lancer dans notre projet, et de choisir le modèle de simulation qui sera utilisé dans notre application.

Chapitre 02

*Implémentation et
teste du modèle de
simulation*

1. Introduction

De nombreux modèles basés sur les automates cellulaires ont été proposés pour la simulation de feu de forêt. Ces modèles se distinguent par leur complexité, et la précision de leurs résultats, certains sont complexes, d'autres sont simples, certains donnent des résultats plus réalistes que d'autres. Ce chapitre est consacré au modèle que nous avons choisi pour notre application, et qui se caractérise à la fois par sa simplicité, et sa précision. La première section est dédiée à la description du modèle. La deuxième section est un aperçu de notre implémentation du modèle. Dans la dernière section nous réalisons des expérimentations pour tester l'implémentation du modèle et ses différents paramètres.

2. Description du modèle

2.1. Définition de la grille

Le modèle que nous allons implémenter est proposé dans [Alexandridis, 2008], il est basé sur la méthode des automates cellulaires, et utilise une grille bidimensionnelle qui découpe la surface forestière à un nombre de cellules. En fait, chaque cellule représente un élément de la surface. Les cellules sont de forme carrée, ainsi offrant huit directions possibles de propagation du feu (voir la figure 2.1.). D'autres travaux utilisent des cellules hexagonales qui peuvent en effet décrire plus précisément le comportement spatial du feu, mais cela augmente significativement la complexité de calcul du modèle résultant, bien que la méthodologie proposée puisse être facilement modifiée pour tenir compte des cellules hexagonales mais la description de grille carrée est préférée, car elle simplifie considérablement les calculs [Alexandridis, 2008].

2.2. Etat des cellules

Chaque cellule est caractérisée par un nombre fini d'états, les états possibles sont les suivants:

- **Incombustible**: La cellule ne contient pas de combustible forestier. Cet état peut décrire les cellules correspondant à des zones sans végétation. Nous supposons que les cellules qui sont dans cet état ne peuvent pas être brûlées.
- **Combustible** : La cellule contient du combustible forestier qui n'est pas enflammé.
- **Enflammée** : La cellule contient du combustible forestier qui brûle (la cellule est en état de feu).
- **Cendre** : La cellule contenait du combustible forestier qui a été brûlé (la cellule est en état cendre).

2.3. Les Règles d'évolution

A chaque instant t de simulation, les règles suivantes sont appliquées à toutes les cellules (i,j) de la grille.

- **Règle1** : si l'état de la cellule (i,j) à l'instant t est Incombustible, alors, l'état ne change pas à l'instant $t+1$.
- **Règle2** : si l'état de la cellule (i,j) à l'instant t est en feu (enflammée), alors, l'état de cette cellule à l'instant $t+1$ devient cendre.
- **Règle3** : si l'état de la cellule (i,j) à l'instant t est cendre, alors son état ne se change pas à l'instant $t+1$. Cette règle implique que l'état d'une cellule vide qui a été brûlé à l'étape précédente reste le même.
- **Règle 4** : si l'état de la cellule (i,j) à l'instant t est enflammée alors l'état d'une cellule voisine $(i\pm 1, j\pm 1, t+1)$ devient enflammée à l'instant $t+1$ avec une probabilité P_{burn} .

Cette règle implique que lorsqu'une cellule attrape le feu à l'étape de temps actuelle, le feu peut se propager aux cellules voisines à l'étape suivante avec une probabilité P_{burn} . Cette probabilité est une fonction de divers paramètres qui affectent la propagation du feu, et sera analysée dans les paragraphes suivants.

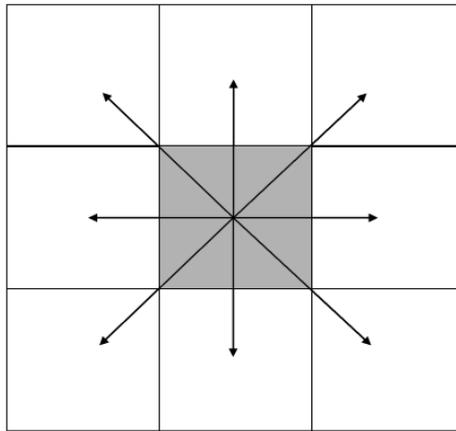


Figure 2.1. Les directions possibles de propagation du feu sur une grille carrée.

2.4. Les variables affectant la propagation du feu

La méthodologie proposée par [Alexandridis, 2008] tient compte des variables suivantes qui peuvent affecter à la fois la forme et le taux de propagation d'un incendie de forêt: le type de végétation, la densité de la végétation, la vitesse et la direction du vent, et l'altitude du sol.

Les variables qui sont spécifiques au terrain, c'est-à-dire le type et la densité de la végétation et l'élévation du sol sont également codées dans des matrices semblables à la matrice d'état. La probabilité P_{burn} est calculée par :

$$P_{burn} = P_h(1 + P_{veg})(1 + P_{den})P_wP_s \quad (1)$$

Où P_h désigne la probabilité constante qu'une cellule adjacente à une cellule enflammée contenant un type donné de végétation de densité se mette en feu à l'étape suivante sans aucun vent, et dans un terrain plat.

P_{den} : désigne la probabilité de propagation de feu dépendant de la densité de végétation.

P_{veg} : désigne la probabilité de propagation de feu dépendant du type de végétation.

P_v : désigne la probabilité de propagation de feu dépendant de la vitesse du vent.

P_s : désigne la probabilité de propagation de feu qui dépendent de la pente du terrain.

Notons que ces probabilités sont multipliées par la probabilité constante P_h pour obtenir la probabilité corrigée qui tient compte de tous les facteurs mentionnés ci-dessus.

2.4.1. Effet du type et de la densité de la végétation :

Les effets du type et de la densité de la végétation sont représentés par les probabilités P_{veg} et P_{den} respectivement. Plus spécifiquement, le type et la densité de la végétation sur la surface sont divisés en un certain nombre de catégories distinctes. Les types de la végétation ont été regroupés en trois catégories : (1) agricoles (agricultural), (2) arbustes (thickets), et (3) arbres de pins (HallepoPine), tandis que la densité de la végétation a été répartie en trois catégories: végétation clairsemée (sparse), végétation à densité normale (normal), et la végétation dense. A chaque type de végétation correspond une valeur pour P_{veg} (Tableau 2.2), et à chaque catégorie de densité correspond une valeur pour P_{den} (Tableau 2.1).

2.4.2. Effet de la vitesse et de la direction du vent

Pour modéliser l'effet de la direction et la vitesse du vent sur la propagation du feu, l'équation utilisée est la suivante :

$$P_w = \exp(c_1 V) f t \quad (2)$$

$$f t = \exp(V c_2 (\cos(\theta) - 1)) \quad (3)$$

Où c_1 , c_2 sont des constantes (voir Tableau 2.3) et θ l'angle entre la direction de la propagation du feu et la direction du vent, et V est la vitesse du vent en utilisant cette formule, la direction du vent peut recevoir une valeur continue entre 0 et 360°.

Les équations (2) et (3) illustrent la forme générale de la probabilité P_w en fonction de l'angle θ pour certaines valeurs arbitraires des paramètres constants c_1 , c_2 et de la vitesse du vent V .

2.4.3. Effet de l'élévation du sol (altitude)

L'effet de l'élévation du sol (pente) est modélisé par l'équation suivante :

$$R_s = R_{0s} \exp(a \theta_s) \quad (4)$$

R_{0s} est le taux de propagation lorsque la pente est égale à zéro.

θ_s est l'angle de pente.

a est une constante qui peut être ajustée à partir de données expérimentales.

Selon l'équation (4), la probabilité de modélisation de l'effet de la pente écrit :

$$P_s = \exp(a \theta_s) \quad (5)$$

Il convient de noter qu'en raison de la grille carrée. L'angle de pente est calculé d'une manière différente selon que les deux cellules voisines soient adjacentes ou diagonales à la cellule en feu, plus spécifiquement pour les cellules adjacentes, l'angle de pente indique :

$$\theta_s = \tan^{-1}\left(\frac{E_1 - E_2}{L}\right) \quad (6)$$

Où E_1 et E_2 sont l'altitude des deux cellules et l la longueur du côté carré, tandis que pour les cellules diagonales la formule se transforme:

$$\theta_s = \tan^{-1}\left(\frac{E_1 - E_2}{L\sqrt{2}}\right) \quad (7)$$

Tableau 2.1. Les différentes valeurs de P_{den} dans les différentes densités de végétation.

Catégorie	Densité	P_{den}
1	Sparse	-0.4
2	Normal	0
3	Dense	0.3

Tableau 2.2. Les différentes valeurs de P_{veg} dans les différents types de végétation.

Catégorie	Type	P_{veg}
1	agricultural	-0.4
2	Thickets	0
3	HallepoPine	0.3

Tableau 2.3. Les différents valeurs des constantes P_h , a , c_1 , et c_2 .

Paramètre	valeur
P_h	0.58
a	0.078
c_1	0.045
c_2	0.131

3. Implémentation du modèle

Nous avons réalisé une implémentation du modèle en langage java, sous forme de classes possédant des attributs et des méthodes. La figure 2.3. représente une version simplifiée du diagramme de classes de notre implémentation. Les principales classes sont:

➤ La classe Cellule

La surface forestière est découpée en petites surface qu'on appelle cellules. Chaque cellule possède ainsi des attributs décrivant ses caractéristiques:

- x et y : les coordonnées de la cellule dans la grille.

- state : représente l'état de la cellule à l'instant t, une cellule peut prendre quatre états : incombustible, combustible, feu ou cendre.
- density : la densité de la végétation qui peut prendre l'une des valeurs de l'énumération density (sparse, normal, dense).
- typeveg : le type de végétation qui peut avoir l'une des valeurs de l'énumération typeveg: agricultural, thickets, hallepopeine.
- l : la longueur des côtés du carré de la surface forestière représentée par la cellule (en mètre).
- altitude : représente l'altitude de la surface forestière représentée par la cellule (en mètre).

➤ La classe Surface

Cette classe modélise la surface forestière découpée en cellules. Elle possède les attributs suivants :

- n : la longueur de la surface
- m: la largeur de la surface
- c_1, c_2, P_h, a : des constantes (voir tableau 2.3).
- surface : matrice des cellules de la surface
- directionVent : la direction du vent.
- vitesseVent : la vitesse du vent.
- xsf, ysf : représentent les coordonnées de la cellule source de feu (point de départ de l'incendie).

Le prototype réalisé est doté d'une interface graphique qui permet de démarrer et arrêter la simulation, aussi, il permet une visualisation en temps réel de l'évaluation de la simulation (Figure 2.2), ce qui facilite le test du modèle (section 4).

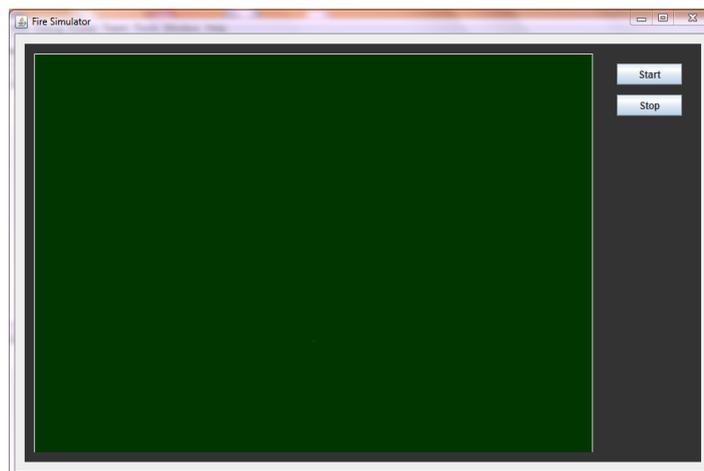


Figure 2.2. Interface du prototype de simulation.

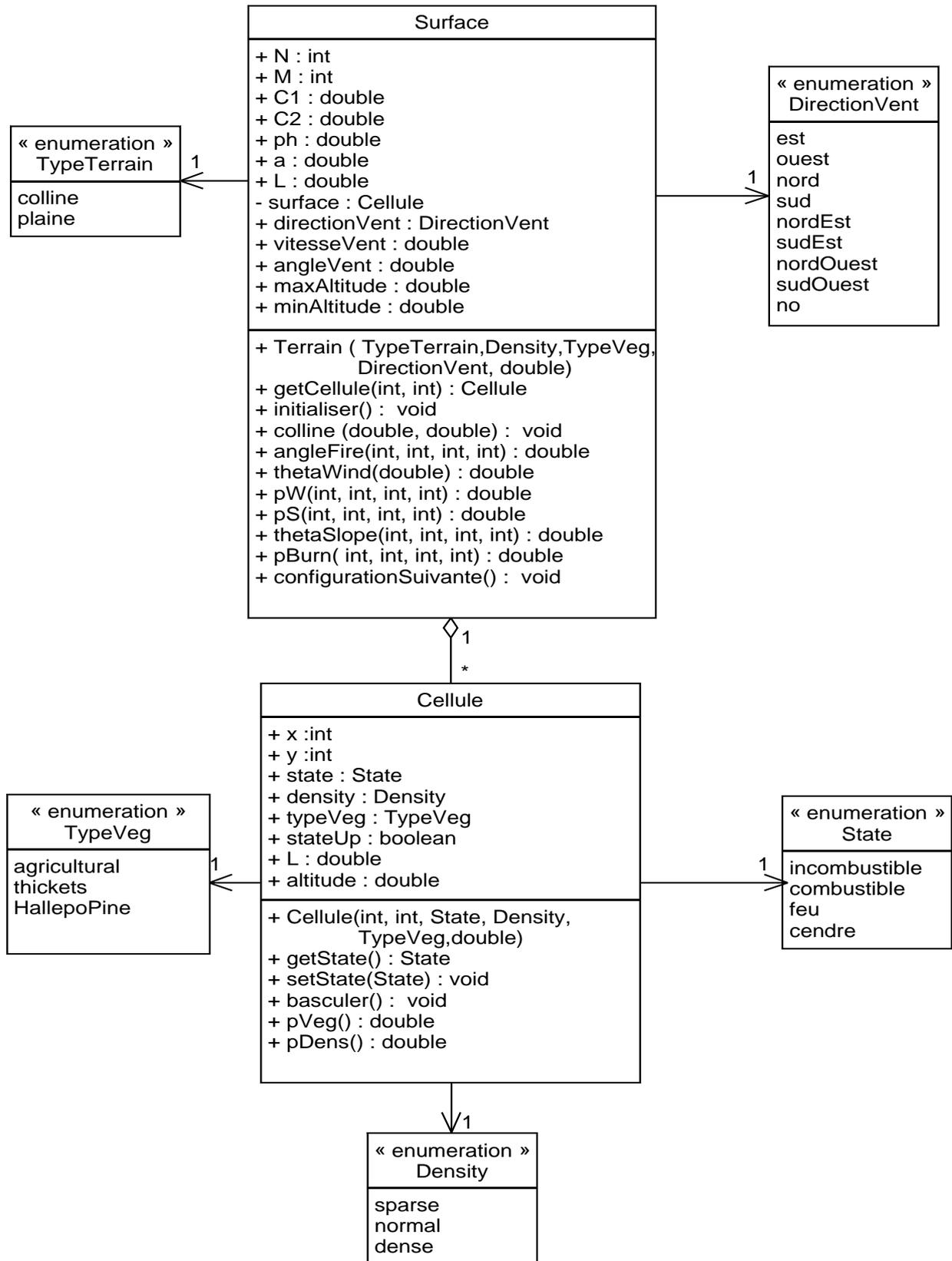


Figure 2.3. Diagramme de classes qui décrit l'implémentation du modèle

4. Test du modèle

Dans cette section, nous allons réaliser des expérimentations pour tester notre implémentation du modèle, et voir si les résultats obtenus correspondent aux résultats attendus.

Nous allons réaliser des expérimentations pour tester les différents paramètres qui influencent la propagation des feux, à savoir, la densité de la végétation, le type de la végétation, la direction et la vitesse du vent, et l'altitude de terrain.

Le tableau ci-dessus décrit les valeurs des paramètres pour les différentes expérimentations réalisées pour tester l'implémentation du modèle. Les expérimentations réalisées sont numérotées de 1 à 19. Pour tester un paramètre du modèle, nous fixons les valeurs des autres paramètres, et nous réalisons des expérimentations en changeant la valeur du paramètre à tester, finalement nous comparons et analysons les résultats obtenus.

de 600x600 cellules, la cellule source du feu est toujours située au centre de la surface (cellule de coordonnées 300x300, à l'exception des expérimentations réalisées pour tester l'effet de l'élévation du sol, dans ce cas la cellule source de feu est située au point de coordonnées 200x200, et ceci, pour mettre le feu au pied de la montagne artificiels (au centre de la grille se situe le sommet). Dans les figures représentant les résultats des expérimentations réalisées, la source de feu est entourée d'un petit cercle rouge.

Table 2.4. Paramètre des expérimentations réalisé.

	Type de terrain	Densité	Type de végétation	Direction du vent	Vitesse du vent
Exp.1	plaine	sparse	HallepoPine	No	0
Exp.2	plaine	normal	HallepoPine	No	0
Exp.3	plaine	dense	HallepoPine	No	0
Exp.4	plaine	dense	Agricultural	No	0
Exp.5	plaine	dense	Thickets	No	0
Exp.6	plaine	dense	HallepoPine	No	0
Exp.7	plaine	dense	Thickets	nordouest	25
Exp.8	plaine	dense	Thickets	nord	25
Exp.9	plaine	dense	Thickets	nordest	25
Exp.10	plaine	dense	Thickets	ouest	25
Exp.11	plaine	dense	Thickets	no	0
Exp.12	plaine	dense	Thickets	est	25
Exp.13	plaine	dense	Thickets	sudouest	25
Exp.14	plaine	dense	Thickets	sud	25
Exp.15	plaine	dense	Thickets	sudest	25
Exp.16	plaine	dense	Thickets	est	60
Exp.17	plaine	dense	Thickets	est	20
Exp.18	plaine	dense	HallepoPine	no	0
Exp.19	Colline	dense	HallepoPine	no	0

4.1. Test de l'effet de la densité de végétation

Pour tester l'effet de la densité de la végétation, nous avons réalisé trois expérimentations (Exp.1, Exp.2 et Exp.3) avec des valeurs différentes de l'attribut density.

Lorsque la densité prend la valeur sparse (espacée) (Exp.1), nous constatons que la propagation du feu est limitée, le feu se propage uniquement sur une partie de la surface. Le reste de la surface reste non enflammée (Figure 2.4. (a)).

Quand la densité est normal (Exp.2) nous constatons que le feu se propage sur l'ensemble de la surface, toutefois, des zones de la surface sont épargnées par les feux (Figure 2.4. (b)).

Dans le cas d'une végétation dense (Exp.3), Nous constatons que les feux se propagent sur toute la surface, et les zones épargnées sont visiblement plus petites que celles épargnées lorsque la densité de la végétation est normale (Figure 2.4. (c)).

Nous concluons que la surface brûlée est directement proportionnelle à la densité de végétation, ce qui correspond au résultat attendu, i.e. plus l'us la végétation est plus dense, plus la surface brûlée est plus étendue.

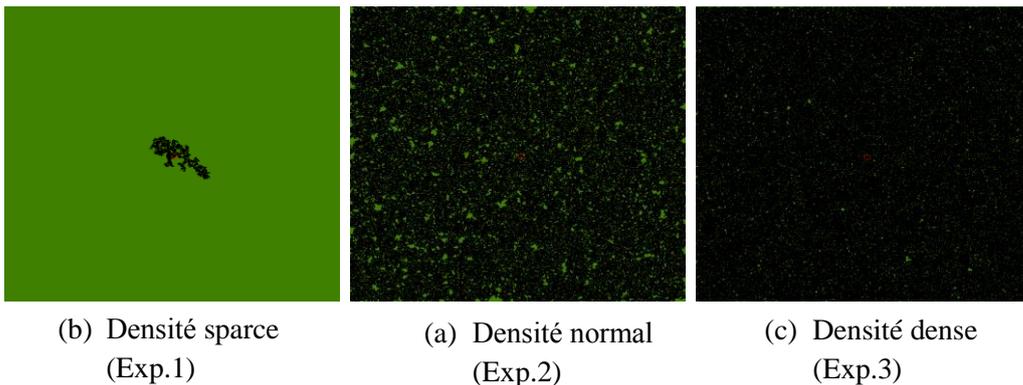


Figure 2.4. Propagation du feu en fonctions des densités de la végétation.

4.2. Test de l'effet du type végétation

Nous avons réalisé 3 expérimentations pour tester l'effet des différents type de la végétation, nous avons réalisé les expérimentations (Exp.4, Exp.5, Exp.6).

Dans le cas d'une végétation de type « agricultural », les feux brule une surface limitée de la zone forestière (Figure 2.5. (a)), Dans le cas d'une végétation de type « thickets », la surface atteint par les feux est visiblement plus grande (Figure 2.5. (b)), tandis que la quasi-totalité de la surface est brulée par les feux avec une végétation de type « HallepoPins » (Figure 2.5.(c)).

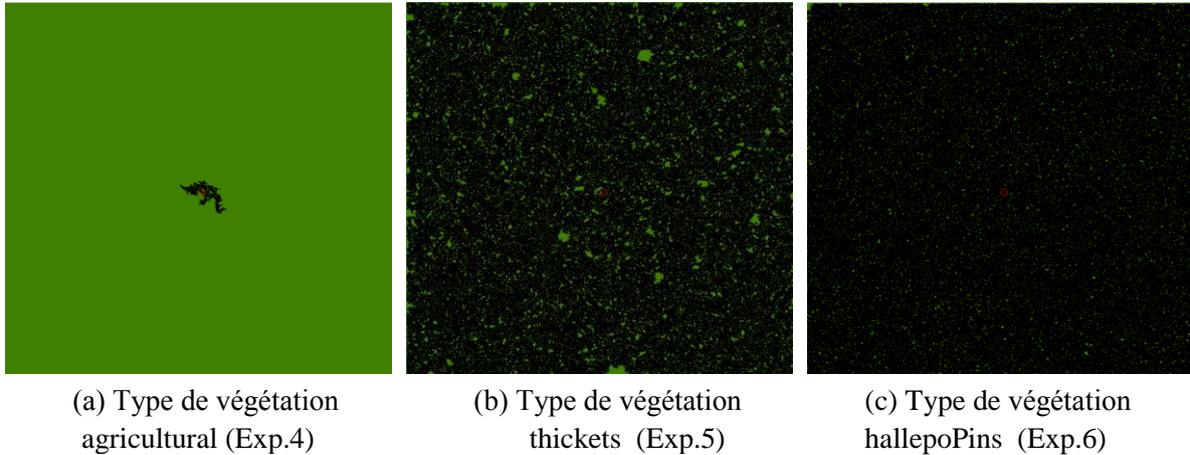


Figure 2.5. Propagation du feu en fonction des types de végétation.

4.3. Test de l'effet de la direction et de la vitesse du vent

4.3.1. Test de l'effet de la direction du vent

Pour tester l'effet de la direction du vent, nous avons réalisé des expérimentations avec les différentes directions du vent (est, nord, sud, ouest, nord-ouest, nord-sud, sud-est, sud-ouest). La Figure 2.6 montre les résultats obtenus. Nous constatons que le feu se propage toujours dans la direction du vent, ce qui correspond exactement aux résultats attendus.

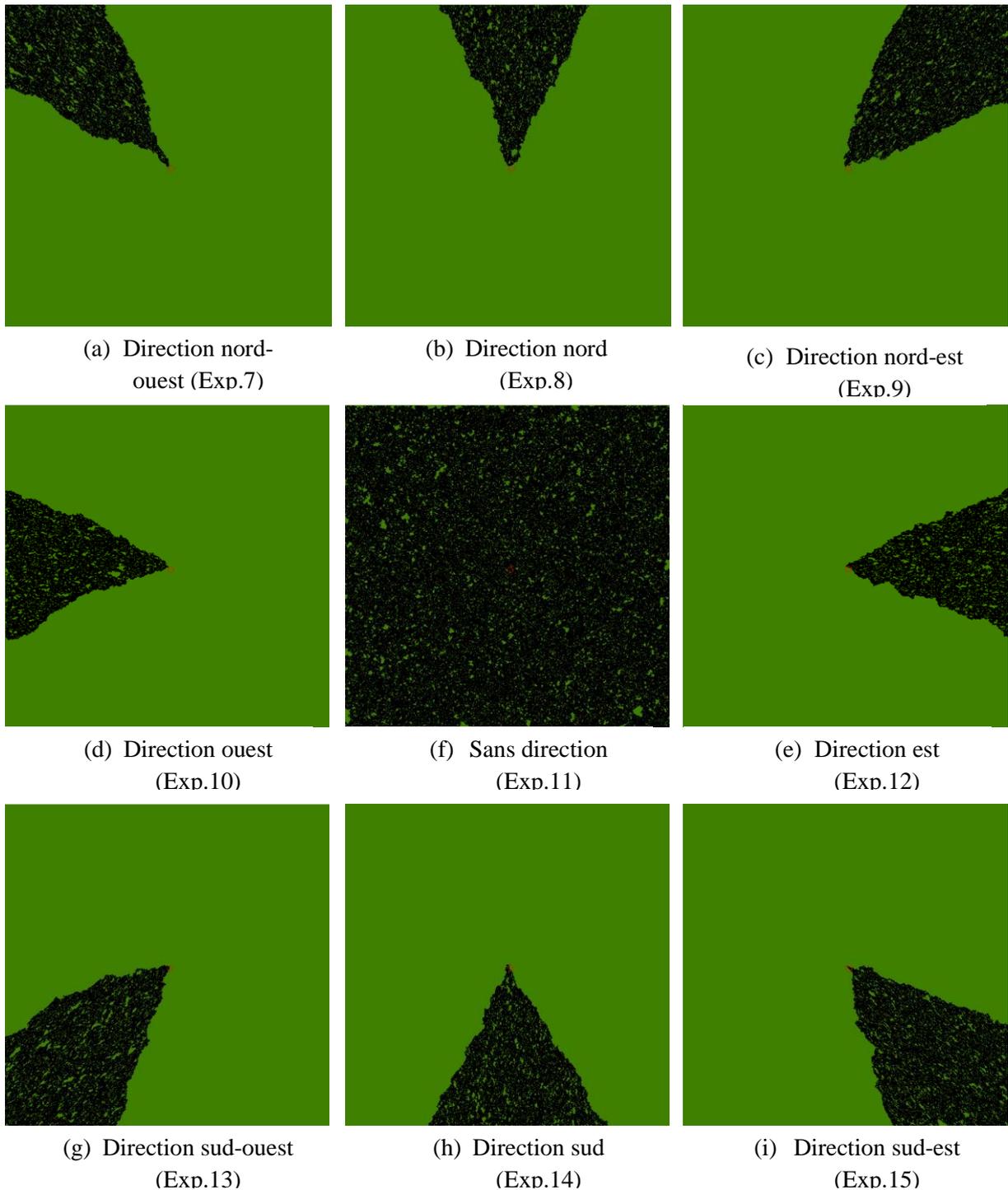


Figure 2.6. Propagation du feu en fonction de directions du vent.

4.3.2. Test de l'effet de la vitesse du vent :

Pour tester l'effet de la vitesse du vent sur la propagation des feux, nous avons réalisé 2 expérimentations avec 2 valeurs différentes : 60 (Exp.16) et 20 (Exp.17). Dans les deux expérimentations nous avons fixé la direction du vent vers l'est.

Dans les deux expérimentations nous constatons que le feu se propage dans la direction du vent (Figure 2.7), cependant, la surface brûlée par les feux est plus grande dans cas où la vitesse égale 60 (Figure 2.7 (a)) qu'avec la vitesse 20. En plus, dans le cas d'une vitesse modérée du vent

(20), des petites zones échappent aux feux à l'intérieur de la surface brûlée, ce qui n'est pas le cas avec une vitesse élevée (60).

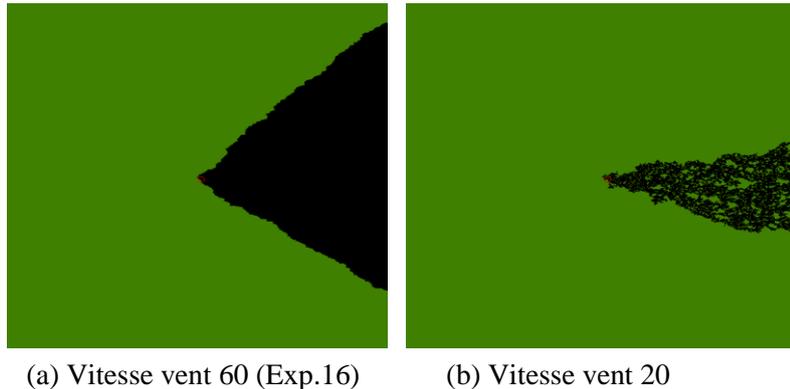


Figure 2.7. Propagation du feu en fonction de la vitesses du vent.

4.4. Test de l'effet de l'élévation du sol

Pour tester l'effet de l'élévation du sol sur la propagation des feux, nous avons générée des reliefs artificiels à la forme d'une colline entourée d'une surface plus au moins plane, et ceci à l'aide de la fonction gaussienne :

$$altitude(x, y) = \frac{1}{a} e^{-\left(\frac{x^2+y^2}{b}\right)} \quad (8)$$

x , et y représentent les coordonnées de la cellule dans un repère placé au centre de la surface.

a et b sont deux constantes, a représenté l'élévation maximale, i.e. l'altitude du sommet.

b permet de manipuler la largeur de la colline et l'inclinaison de la pente. b est directement proportionnelle à la largeur de la colline, et inversement proportionnelles à l'inclinaison de la pente, plus sa valeur augmente, plus la colline est plus large, et la pente est moins inclinée.

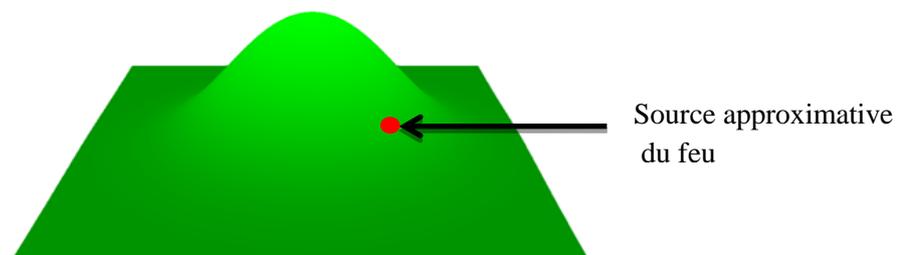


Figure 2.8. Visualisation tridimensionnelle de la colline générée.

Ainsi, la surface forestière de Exp.19 est générée à l'aide de l'équation (8) les valeurs de a et b sont respectivement fixées à 1000 et 20000, la source des feux est située sur la pente de la colline. Aussi, nous avons réalisé Exp.18 qui sert d'expérimentation témoin avec les mêmes valeurs de paramètres à l'exception de l'élévation du sol qui est identique pour toutes les cellules (surface

plaine). Le résultat de Exp.19 (Figure 2.10) montre que le feu se propage vers le sommet de la colline (Figure 2.10 (b)), i.e. vers les cellules ayant une altitude plus élevée, puis, la propagation des feux se limite à la hauteur de la colline et s'étend pas aux cellules moins à des altitudes inférieures. Le résultat de l'expérimentation témoin (Exp.18), quand les cellules ont toutes la même élévation montre que les feux se propagent et brule la quasi-totalité de la surface forestière.

Les résultats obtenus correspondent au comportement des feux de forêts de la nature, en fait la pente détermine l'inclinaison des flammes par rapport au sol, ainsi, plus la pente est inclinée, plus le feu se propage en montant cette pente.

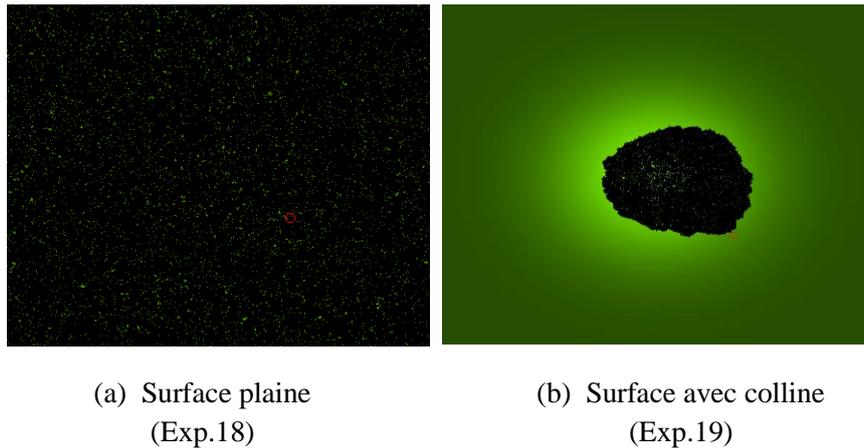


Figure 2.9. Influence de l'élévation du sol sur la propagation du feu .

5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le modèle de simulation utilisé dans notre projet et nous avons fourni une description de son implémentation, finalement nous avons réalisé une série d'expérimentations pour tester le modèle. Les résultats des expérimentations sont assez satisfaisants, dans le sens où les effets des différents facteurs qui influencent le comportement des feux correspondent à leurs effets sur le comportement des feux de forêts dans la nature. Après l'implémentation et le test réussi du modèle, nous passons au chapitre suivant à la conception et la réalisation d'une application de simulation de feu de forets basée sur le modèle décrit dans ce chapitre.

Chapitre 03

***Analyse et conception
de l'application***

1. Introduction

Après avoir implémenté et testé le modèle de simulation dans le chapitre précédent, nous allons procéder à la conception et la réalisation d'une application pour la simulation de feux de forêts. L'application sera basée sur le modèle implémenté, et offrira des fonctionnalités qui permettront à un expert de réaliser différentes tâches. Dans un premier temps nous allons présenter brièvement la démarche UML utilisée pour la conception de l'application, puis, nous procédons à l'identification des besoins et la conception des différentes fonctionnalités de l'application.

2. Langage et processus pour l'analyse et la conception

Pour passer des besoins au code de l'application, nous allons utiliser le langage de modélisation UML et une démarche simplifiée, et orientée par les cas d'utilisation.

2.1. Le langage UML

UML (Unified Modeling Language) est un langage de modélisation graphique qui permet la spécification, la représentation et la construction des composantes d'un système informatique. UML est né de la fusion de trois méthodes d'analyse orientées objet en 1995: OMT (Object Modeling Technique), OOD (Object Oriented Design) OOSE (Object Oriented Software Engineering). Depuis, il est devenu incontournable pour l'analyse et la conception de système informatique.

Pour modéliser les systèmes informatiques, UML offre un ensemble de types de représentations graphiques qu'on appelle « Diagrammes ». Chaque type de diagramme possède ses propres éléments de modélisations, et s'intéresse à un aspect précis du modèle. La combinaison des différents types de diagrammes UML offrent une vue complète des aspects statiques et dynamiques d'un système [Roques, 2008].

2.2. Processus

UML n'est qu'un langage de modélisation, ce n'est pas une méthode. En effet, UML ne propose pas une démarche de modélisation explicitant et encadrant toutes les étapes d'un projet, de la compréhension des besoins à la production du code de l'application. Une méthode se doit de définir une séquence d'étapes, partiellement ordonnées. Pour développer notre application, nous allons utiliser une démarche simple et générique qui se situe entre UP (Unified Process), qui constitue un cadre général très complet de processus de développement, et XP (extrême Programming) qui est une approche minimaliste à la mode centrée sur le code. Cette méthode est proposée par Roques (2002) dans son livre «Les cahiers du programmeur UML2 modéliser une

application web» qui résulte de plusieurs années d'expérience sur de nombreux projets dans des domaines variés. Elle a donc montré son efficacité dans la pratique [Roques, 2008].

- conduite par les cas d'utilisation, comme UP, mais bien plus simple.
- relativement légère et restreinte, comme XP, mais sans négliger les activités de modélisation et analyse et conception.
- fondée sur l'utilisation d'un sous-ensemble nécessaire et suffisant du langage UML.

Ci-après, nous citons brièvement les phases définies par cette démarche, et les diagrammes élaborés dans chaque phase :

Première phase : Identification des besoins

- Diagramme de cas d'utilisation
- Diagramme de séquence système

Deuxième phase : Phase d'analyse

- Modèle du domaine
- Diagramme de classes participantes
- Diagramme d'activités de navigation

Troisième phase : Phase de conception

- Diagrammes d'interaction
- Diagramme de classes de conception

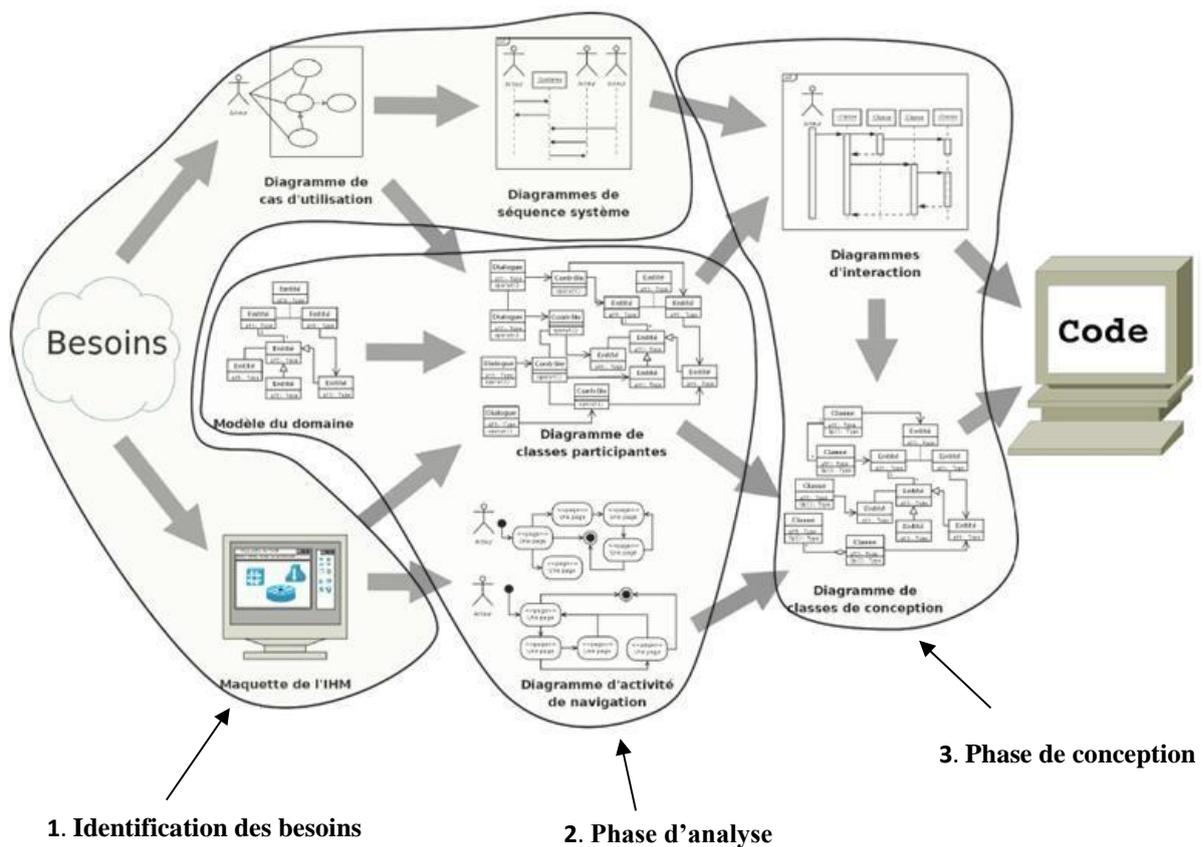


Figure 3.1. Chaîne complète de la démarche de modélisation du besoin jusqu'au code.

3. Phase d'identification des besoins

3.1. Cahier de charge

3.1.1. Présentation de projet

La modélisation des feux de forêts est utilisée pour comprendre et prédire le comportement possible du feu. Cela aiderait les pompiers de se concentrer sur les zones à risque élevé et de développer des infrastructures et des stratégies pour lutter contre les feux. L'objectif de ce travail est le développement d'une application de simulation de feu de forêt à base d'automate cellulaire. L'application sera dotée de nombreuses fonctionnalités qui permettront à un expert de réaliser différentes tâches, entre autres, la simulation de la propagation de feu de forêt sur des surfaces forestière, l'enregistrement et l'impression de rapports de simulation, etc.

3.1.2. Les choix techniques

Les choix techniques que nous avons adoptés pour le développement de l'application sont :

- Le langage UML pour la modélisation de l'application.

- Une démarche itérative et incrémentale fondée sur le processus UP (Unified Process) pour l'analyse et la conception.
- Le langage Java et l'IDE NetBeans pour l'implémentation de l'application
- Le SGBD MySQL Workbench pour la création et la gestion de la base données.

3.1.3. Les besoins fonctionnels

Un premier tour d'horizon des besoins exprimés par les experts du domaine permis d'établir le cahier des charges préliminaire suivant :

a. Ajouter une surface

L'expert du domaine peut ajouter à la base de données les informations nécessaires pour la simulation d'un feu de forêt sur une surface forestière (adresse, coordonnées géographiques, type et densité de la végétation, élévation du sol et image satellite).

b. Simuler un feu de forêt

L'expert peut réaliser des expérimentations de propagation de feu sur les surfaces forestières existant dans la base de données.

c. Enregistrer le rapport

Après l'exécution d'une simulation, l'expert peut enregistrer un rapport des résultats de la simulation dans la base de données.

d. Ouvrir un rapport

L'expert peut consulter un des rapports enregistrés dans la base de données.

e. Imprimer un rapport

L'expert peut imprimer un rapport des résultats de la simulation sur une surface forestière.

f. Rechercher des surfaces forestières

L'expert peut rechercher des surfaces forestières avec des mots clés ou des coordonnées géographiques.

g. Supprimer un rapport

L'expert peut supprimer un rapport enregistré dans la base de données.

h. Supprimer une surface

L'expert peut supprimer une surface existante dans la base de données.

i. Evaluer les niveaux de risque

L'expert peut réaliser une évaluation du niveau de risque pour chaque point d'une surface, et ceci en fonction de l'ampleur de la surface brûlée par une simulation de feu qui débute à ce point.

3.2. Identification des acteurs

L'expert: Une personne qui a des connaissances suffisantes concernant le phénomène de feux de forêts, il est ainsi capable de réaliser de tracer des scenarios simulations avec le jeu de paramètres adéquat.

3.3. Diagramme de cas d'utilisation



Figure 3.2. Diagramme du cas d'utilisation.

3.4. Classement des cas d'utilisation

Tableau 3.1. Classement des cas d'utilisation.

Cas d'utilisation	Priorité	Itération
Ajouter une surface forestière	Haute	1
Simuler un feu de forêt	Haute	2
Enregistrer le rapport	Moyenne	3
Ouvrir un rapport	Moyenne	4
Imprimer le rapport	Moyenne	5
Rechercher des surfaces forestières	Moyenne	6
Estimer le niveau de risque	Moyenne	7
Supprimer un rapport	Faible	8
Supprimer une surface	Faible	9

3.5. Descriptions textuelles des cas d'utilisation

3.5.1. Ajouter une surface forestière

Cas d'utilisation	Ajouter une surface forestière.
Acteur	Expert.
Objectif	Permet à un expert d'ajouter à la base de données les informations nécessaires pour la simulation d'un feu de forêt sur une surface forestière (adresse, coordonnées géographiques, type et densité de la végétation, élévation du sol et image satellite).
Préconditions	/
Postconditions	La surface est ajoutée.
Scénario nominal	<ol style="list-style-type: none"> 1. L'expert demande l'ajout d'une surface forestière. 2. Le système affiche le formulaire d'ajout d'une surface forestière. 3. L'expert remplit le formulaire et valide. 4. Le système confirme l'ajout de la surface
Scénario alternatif	<p>Le formulaire est rempli incorrectement. Le système demande à l'expert de remplir le formulaire correctement. Reprise de l'enchaînement du scénario nominale au point 2.</p>

3.5.2. Simuler un feu de forêt

Cas d'utilisation	Simuler un feu de forêt.
Acteur	Expert.
Objectif	Permettre à un expert de simuler un feu de forêt sur une surface existant dans la base de données.
Préconditions	/
Postconditions	Les résultats de la simulation sont affichés.
Scénario nominal	<ol style="list-style-type: none"> 1. L'expert demande la simulation d'un feu de forêt. 2. Le système demande le choix de la surface forestière. 3. L'expert choisit la surface forestière et valide. 4. Le système affiche la fenêtre de simulation. 5. L'expert fixe les paramètres de simulation (direction du vent, vitesse du vent, carte de la visualisation et point de départ de feu) et valide. 6. Le système affiche le déroulement de la propagation des feux sur la carte. 7. Le système affiche le résultat final de la simulation.
Scénarios alternatifs	<p>L'expert veut changer la direction et/ou la vitesse du vent durant le déroulement de la simulation. L'expert change la direction et/ou la vitesse du vent. Reprise du scénario nominal à partir du point 6.</p>
	<p>6.2. L'expert veut changer la carte du terrain utilisée pour visualiser la simulation. L'expert change la carte de visualisation. Reprise du scénario nominal à partir du point 6.</p>
	<p>L'expert est intéressé par l'enregistrement d'un rapport de simulation. Le système fait appel au cas d'utilisation « Enregistrer le rapport de la simulation ».</p>
	<p>L'expert est intéressé par l'impression d'un rapport de simulation. Le système fait appel au cas d'utilisation « Imprimer le rapport de la simulation ».</p>

3.5.3. Enregistrer le rapport de simulation

Cas d'utilisation	Enregistrer le rapport.
Acteur	Expert.
Objectif	Permet à un expert d'enregistrer un rapport contenant les paramètres et les résultats d'une simulation réalisée sur une surface.
Préconditions	La simulation est terminée.
Postconditions	Le rapport est enregistré.
Scénario nominal	<ol style="list-style-type: none"> 1. L'expert demande l'enregistrement du rapport. 2. Le système enregistre le rapport et confirme l'opération.

3.5.4. Ouvrir un rapport de simulation

Cas d'utilisation	Ouvrir un rapport.
Acteur	Expert.
Objectif	Permet à un expert d'ouvrir un rapport de simulation.
Préconditions	Il existe au moins un rapport dans la base de données.
Postconditions	Le rapport est ouvert.
Scénario nominal	<ol style="list-style-type: none"> 1. l'expert demande l'ouverture du rapport de simulation. 2. le système affiche la liste des rapports enregistrés dans la base de données. 3. L'expert choisit un rapport de simulation. 4. Le système affiche le rapport.
Scénario alternatif	L'expert est intéressé par l'impression du rapport de simulation. Le système fait appel au cas d'utilisation « Imprimer le rapport de la simulation ».

3.5.5. Imprimer le rapport de simulation

Cas d'utilisation	Imprimé le rapport.
L'acteur principal	Expert.
Objectif	Permettre à un expert d'imprimer le rapport de simulation de feu de forêt.
Préconditions	La simulation de feu de forêt doit être achevée.
Postconditions	Le rapport est imprimé.
Scénario nominale	<ol style="list-style-type: none"> 1. L'expert demande l'impression du rapport de la simulation de feu de forêt. 2. Le système affiche le formulaire de d'impression (choix de l'imprimante, type de papiers,...etc.). 3. L'expert remplit le formulaire et valide. 4. Le système confirme l'impression du rapport.

3.5.6. Rechercher des surfaces forestières

Cas d'utilisation	Rechercher des surfaces forestières.
L'acteur principal	Expert.
objectif	Permettre à un expert de rechercher des surfaces forestières.
Préconditions	/
Postconditions	Le résultat de la recherche est affiché.
Scénario nominal	<ol style="list-style-type: none"> 1. L'expert demande la recherche de surfaces forestières. 2. Le système affiche le formulaire de recherche. 3. L'expert remplit le formulaire et valide. 4. Le système affiche le résultat de recherche.
Scénarios alternatifs	<p>Le formulaire est rempli incorrectement Le système demande à l'expert de remplir le formulaire correctement. Reprise de l'enchaînement à partir du point 2.</p>
	<p>Le Système n'a pas trouvé de surfaces correspondant aux critères de recherche. Le Système indique l'absence de résultats correspondants au critère de recherche. Reprise de l'enchaînement à partir du point 2.</p>
	<p>L'expert veut exécuter une simulation sur une des surfaces du résultat de la recherche. Le système fait appel au cas d'utilisation « simuler un feu de forêt ».</p>

3.5.7. Supprimer un rapport de simulation

Cas d'utilisation	Supprimer un rapport de simulation.
L'acteur principal	Expert.
objectif	Permet à l'expert de supprimer un rapport de simulation.
Préconditions	/
Postconditions	Le rapport est supprimé.
Scénario nominal	<ol style="list-style-type: none"> 1. l'expert demande la suppression d'un rapport de simulation. 2. Le système affiche la liste des rapports enregistrés dans la base de données. 3. L'expert sélectionne un rapport et valide. 4. Le système affiche un message « le rapport de la simulation est supprimé ».
Scénario alternatifs	<p>Le cas où l'expert ne sélectionne pas un rapport et valide. Le système affiche un message « sélectionné un rapport ». Reprise de l'enchaînement à partir du point 2.</p>

3.5.8. Supprimer une surface forestière

Cas d'utilisation	Supprimer une surface forestière.
L'acteur principal	Expert.
objectif	Permet à l'expert de supprimer une surface forestière.
Préconditions	Il existe au moins une surface dans la base de données.
Postconditions	La surface est supprimée.
Scénario nominal	<ol style="list-style-type: none"> 1. l'expert demande la suppression d'une surface forestière. 2. Le système affiche la liste des surfaces existantes dans la base de données. 3. L'expert sélectionne une surface et valide. 4. Le système demande à l'expert de confirmer ou d'annuler la suppression. 5. L'expert confirme la demande de suppression. 6. Le système confirme la suppression de la surface.
Scénarios alternatifs	<p>L'expert annule la demande de suppression. Le système confirme l'annulation de la suppression.</p>

3.6. Diagramme de séquence système

3.6.1. Ajouter une surface forestière

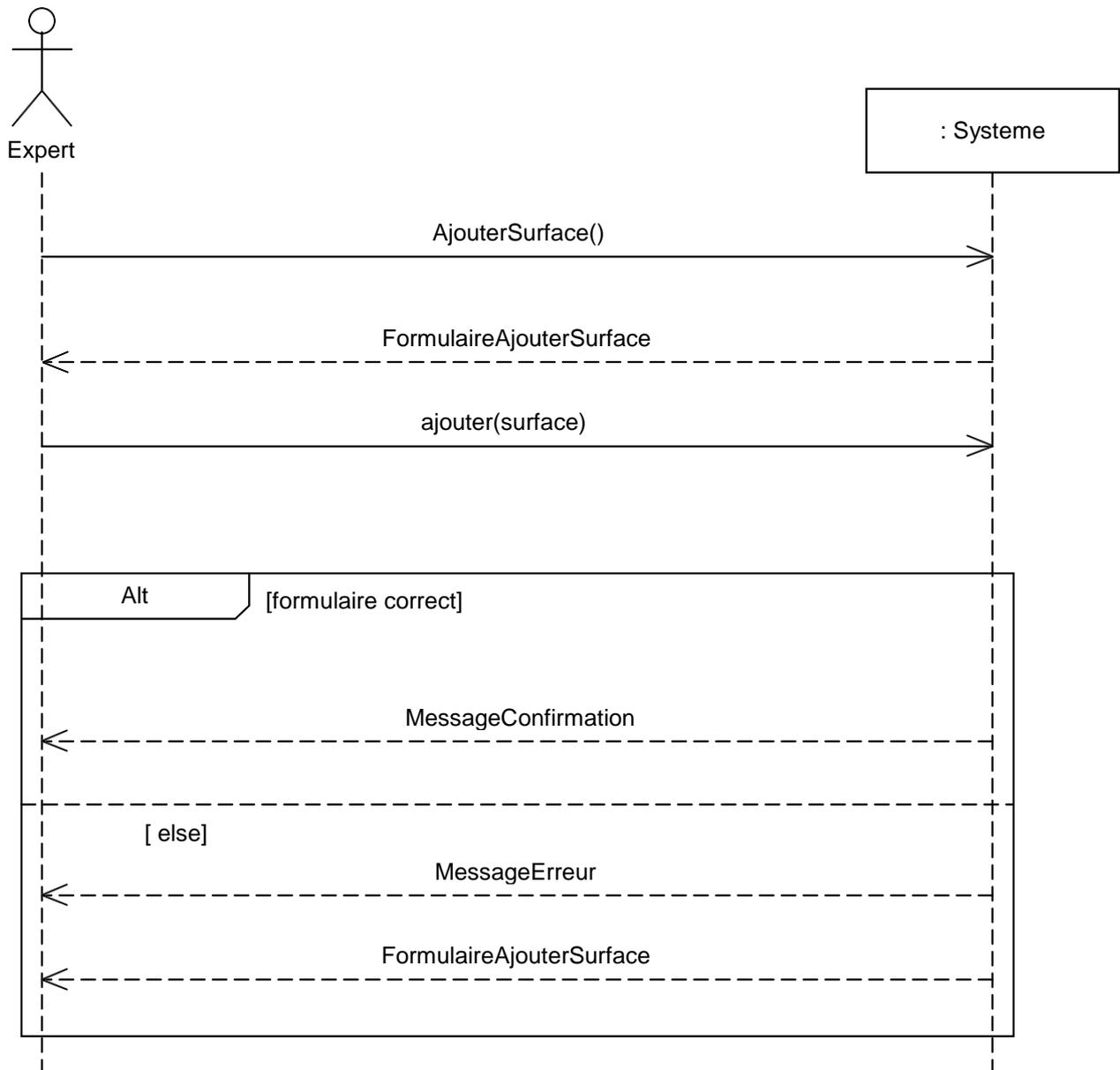


Figure 3.3. Diagramme de séquence système du cas d'utilisation « Ajouter une surface forestière ».

3.6.2. Simuler un feu de forêt

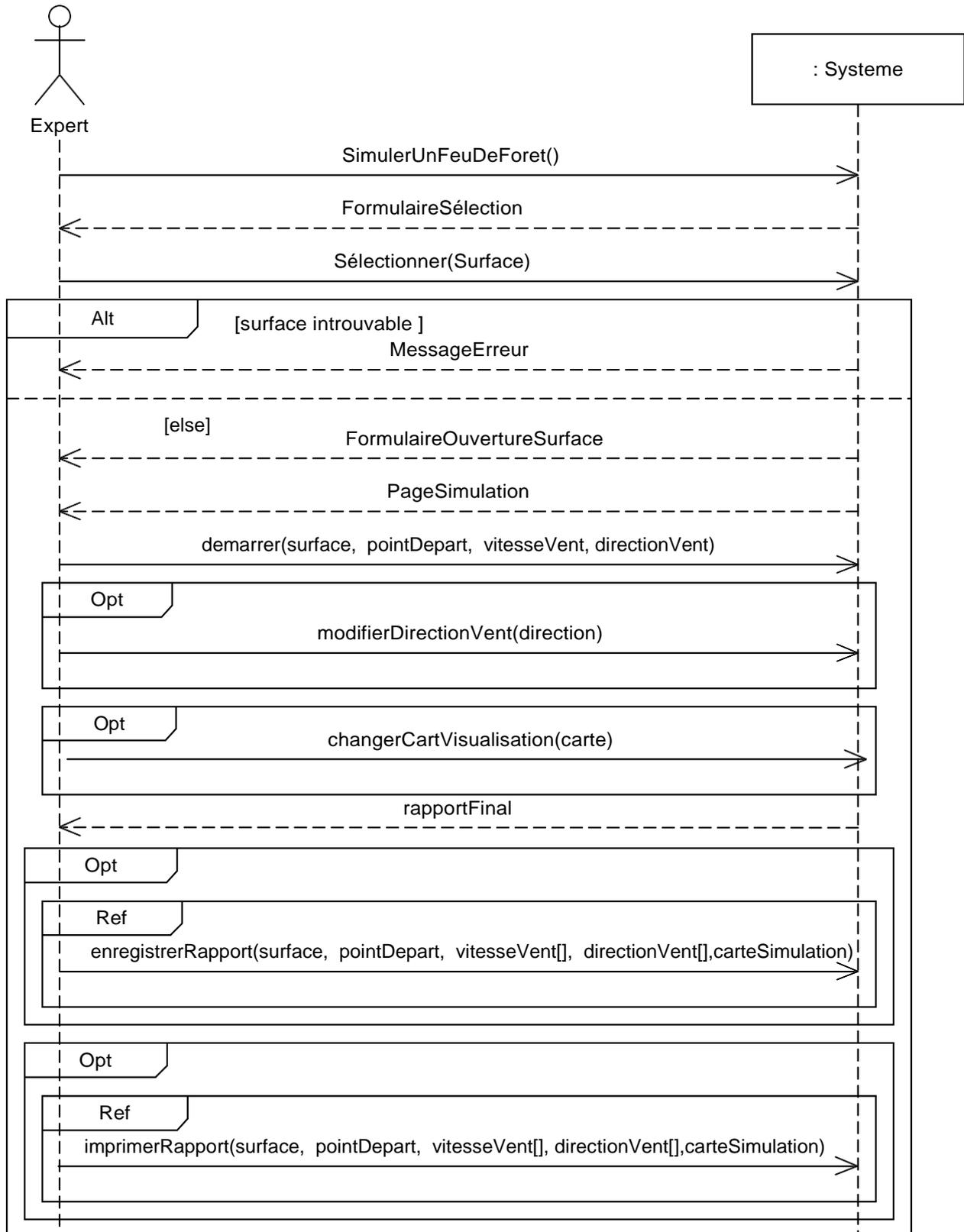


Figure 3.4. Diagramme de séquence système du cas d'utilisation « Simuler un feu de forêt ».

3.6.3. Enregistrer le rapport de simulation

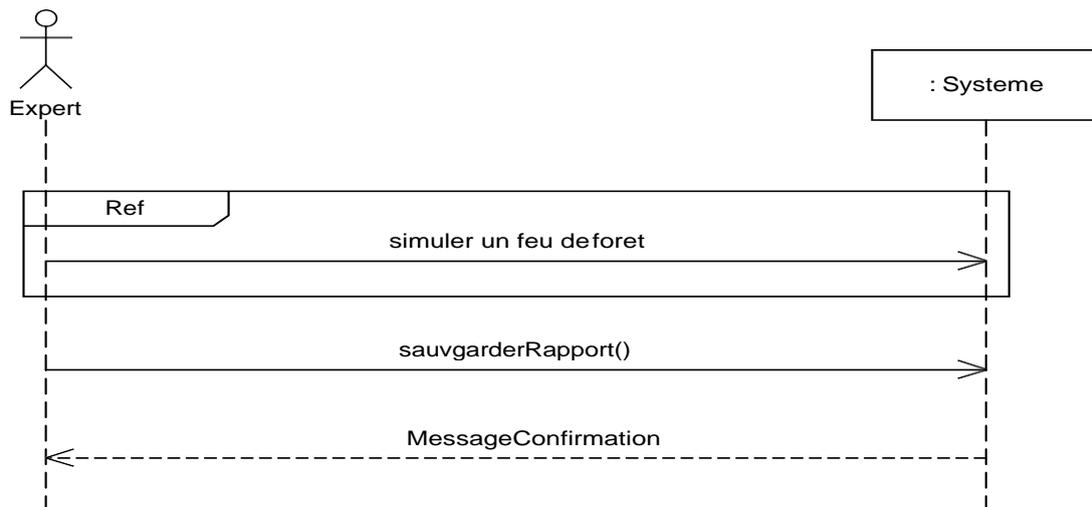


Figure 3.5. Diagramme de séquence système du cas d'utilisation «Enregistrer le rapport de simulation ».

3.6.4. Ouvrir un rapport de simulation

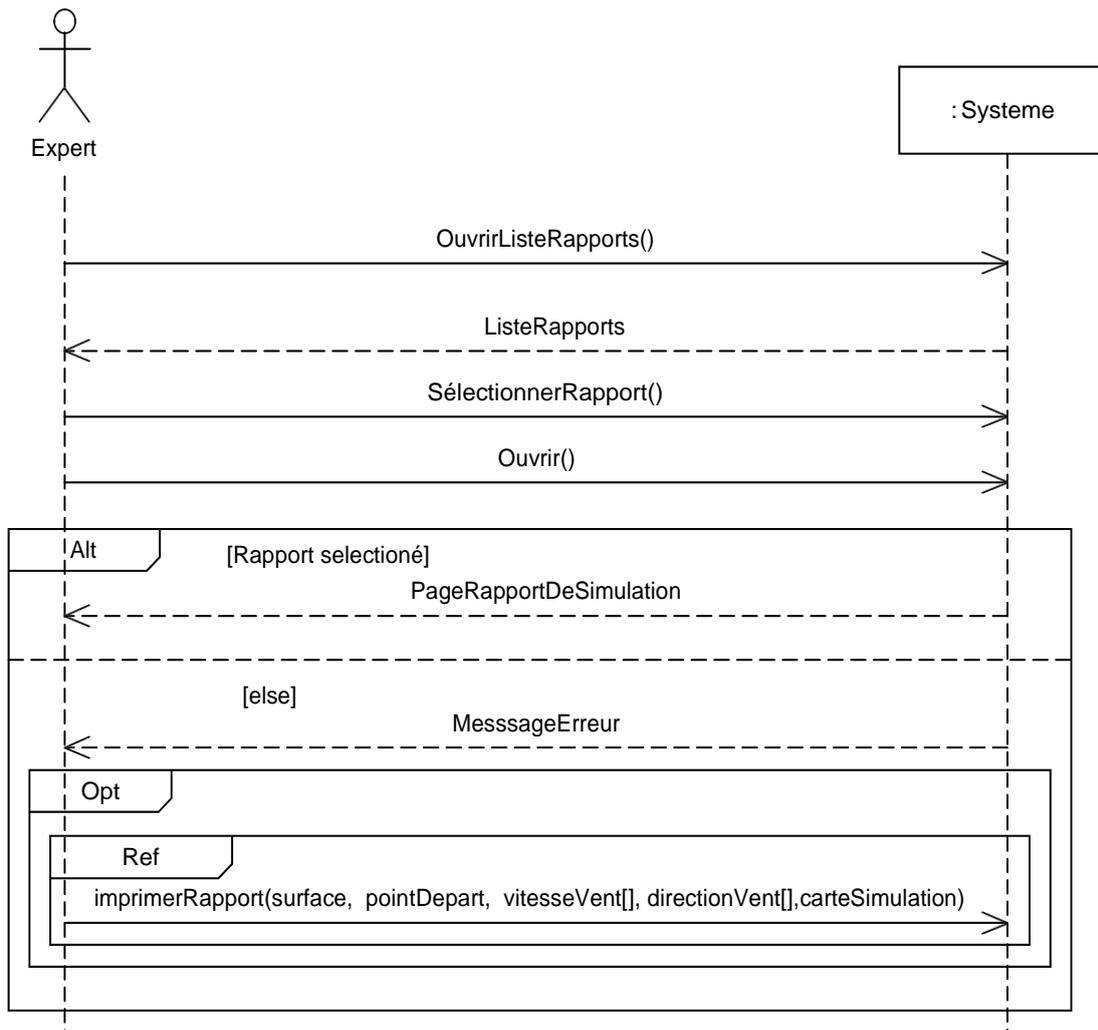


Figure 3.6. Diagramme de séquence système du cas d'utilisation «Ouvrir un rapport de simulation».

3.6.5. Imprimer le rapport de simulation

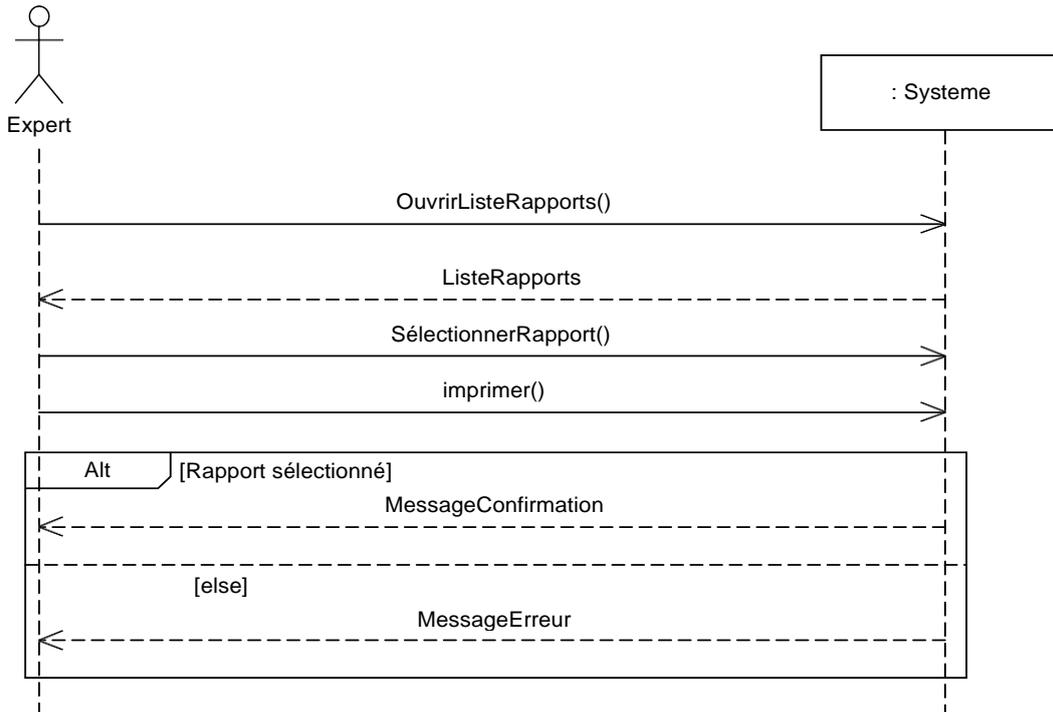


Figure 3.7. Diagramme de séquence système du cas d'utilisation «Imprimer le rapport de simulation ».

3.6.6. Rechercher des surfaces forestières

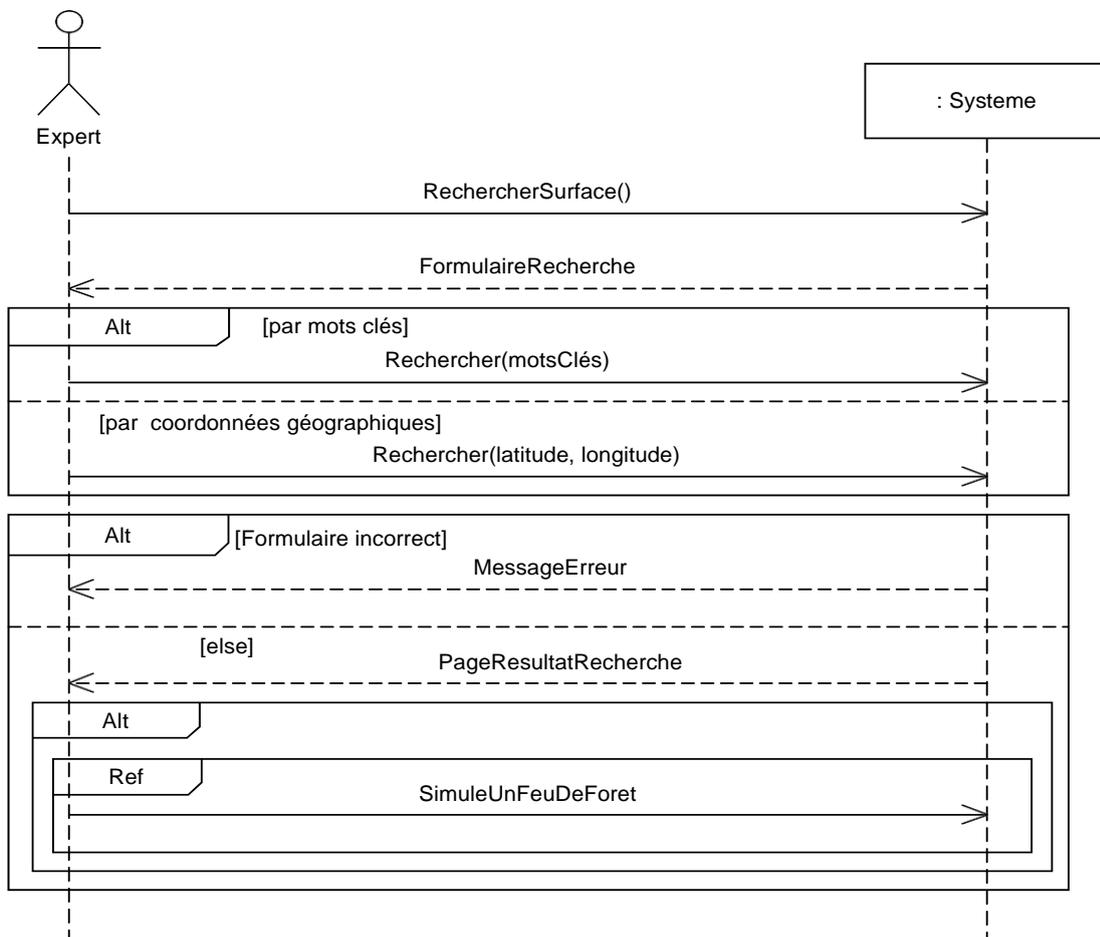


Figure 3.8. Diagramme de séquence système du cas d'utilisation «Recherche des surfaces forestières ».

3.6.7. Supprimer un rapport de simulation

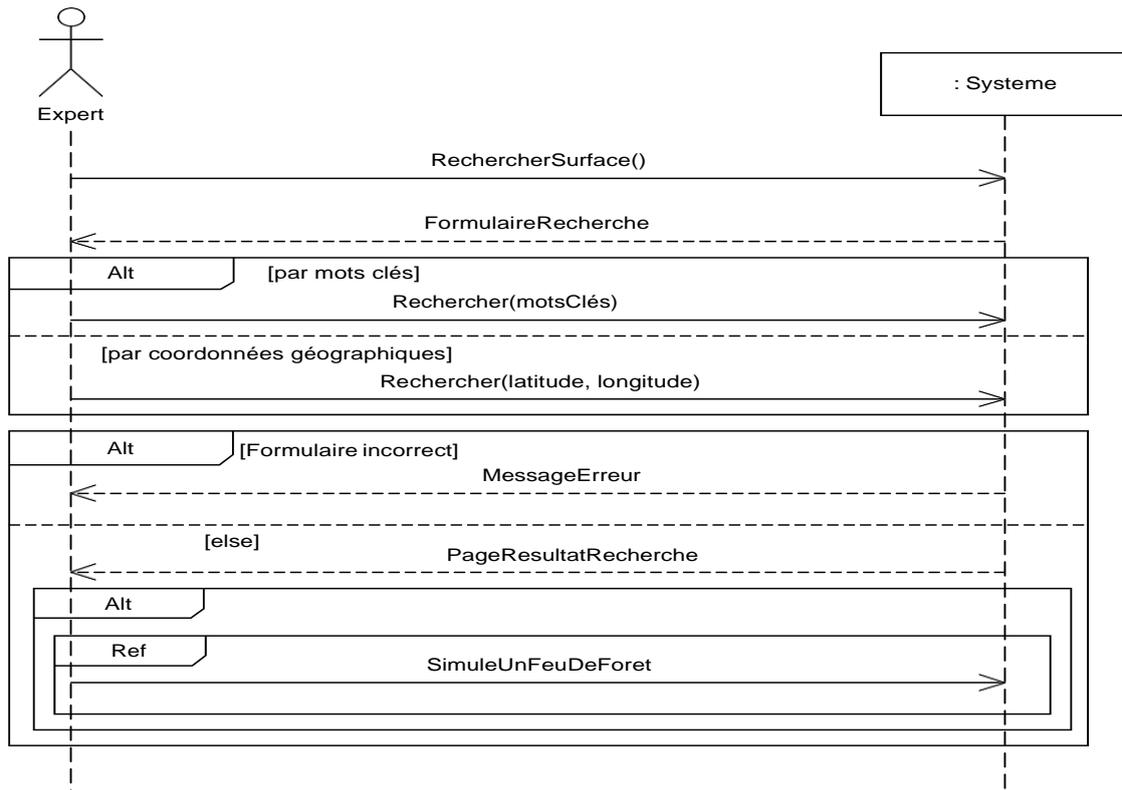


Figure 3.9. Diagramme de séquence système du cas d'utilisation «Supprimer un rapport de simulation ».

3.6.8. Supprimer une surface forestière

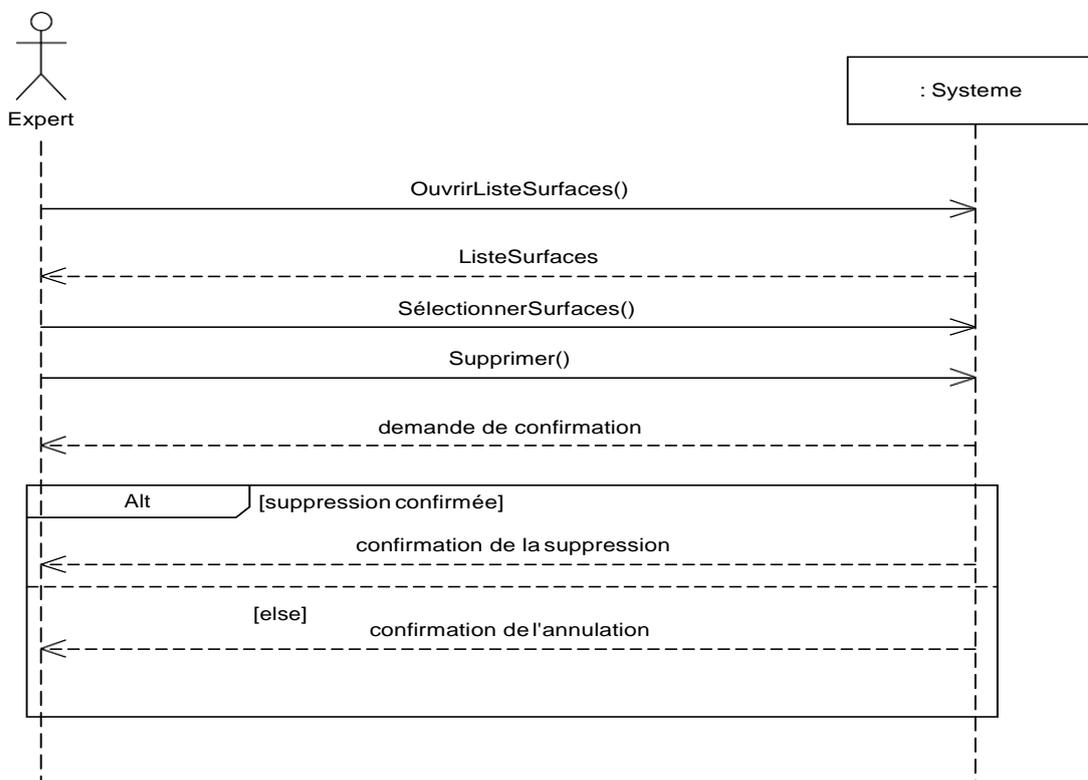


Figure 3.10. Diagramme de séquence système du cas d'utilisation «Supprimer une surface forestière ».

4. Phase d'analyse

Dans cette phase nous allons modéliser les concepts du domaine par un diagramme de classe qu'on appelle «Modèle du domaine», puis, nous développerons les diagrammes de classes participantes qui effectuent la jonction entre, d'une part les cas d'utilisation, le modèle du domaine et la maquette, et d'autre part, les diagrammes de séquence et les diagrammes de classes de conception. Finalement, nous représenterons l'activité de navigation dans l'interface de la future application en produisant des Diagrammes d'activités de navigations de navigations de navigation.

4.1. Modèle du domaine

Tableau 3.2. Dictionnaire de données

Classe	Attribut	Code	Type
Surface	Nom de la surface	nomSurface	Chaine de caractères
	Adresse de la surface	adresse	Chaine de caractères
	Carte satellitaire de la surface	carteSatellitaire	Fichier
	Carte des densités de végétations de la surface	carteDensité	Fichier
	Carte des types de végétations de la surface	cartetypesVeg	Fichier
	Carte topographique de la surface	carteTopo	Fichier
	Largeur de la surface en kilomètre	largeur	Numérique
	Longueur de la surface en kilomètre	longueur	Numérique
	Latitude géographique nord de la surface	latitudeNord	Numérique
	Latitude géographique sud de la surface	latitudeSud	Numérique
	Longitude géographique est de la surface	longitudeEst	Numérique
	Longitude géographique ouest de la surface	longitudeEst	Numérique
Rapport	Numéro du rapport	numeroR	Numérique
	Surface brûlée durant la simulation en Km ²	SurfaceBrulee	Numérique
	L'image du résultat de la simulation	imageResultat	Fichier
	La date de la simulation	date	Datetime
	Les coordonnées du point de départ du feu	xDepart yDepart	Numérique
VitesseVent	L'instant où l'expert change la vitesse du vent	Instant	Numérique
	La vitesse du vent utilisé durant la simulation	vitesse	Chaine de caractères
DirectionVent	L'instant où l'expert change la direction du vent	instant	Numérique
	La direction du vent changé par l'expert	direction	Numérique
PointDepart	L'instant où l'expert ajoute le point de départ	instant	Numérique
	Latitude du point de départ ajouté par l'expert	latitude	Numérique
	Longitude du point de départ ajouté par l'expert	longitude	Numérique

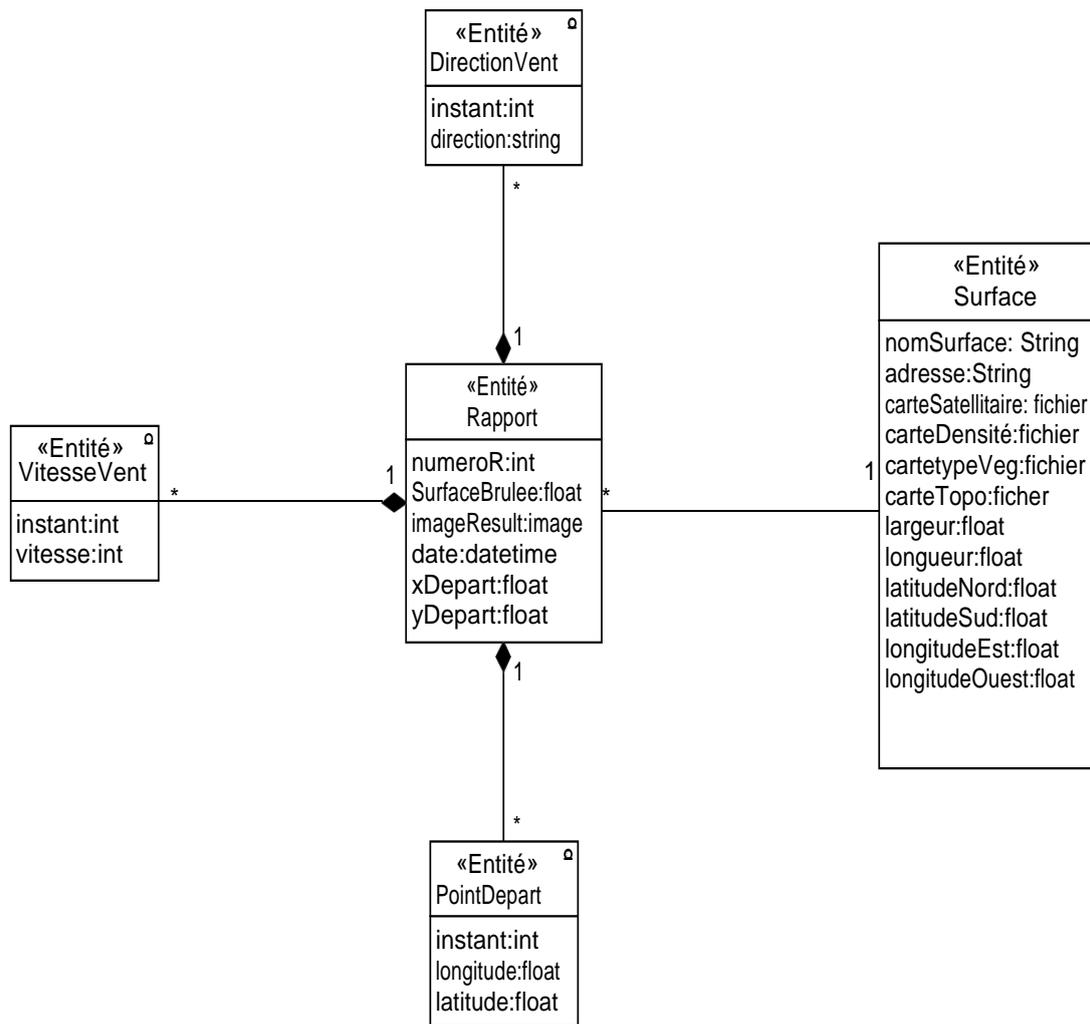


Figure 3.11. Modèle du domaine.

4.1.3. Diagramme de classes participantes

4.1.3.1. Ajouter une surface forestière

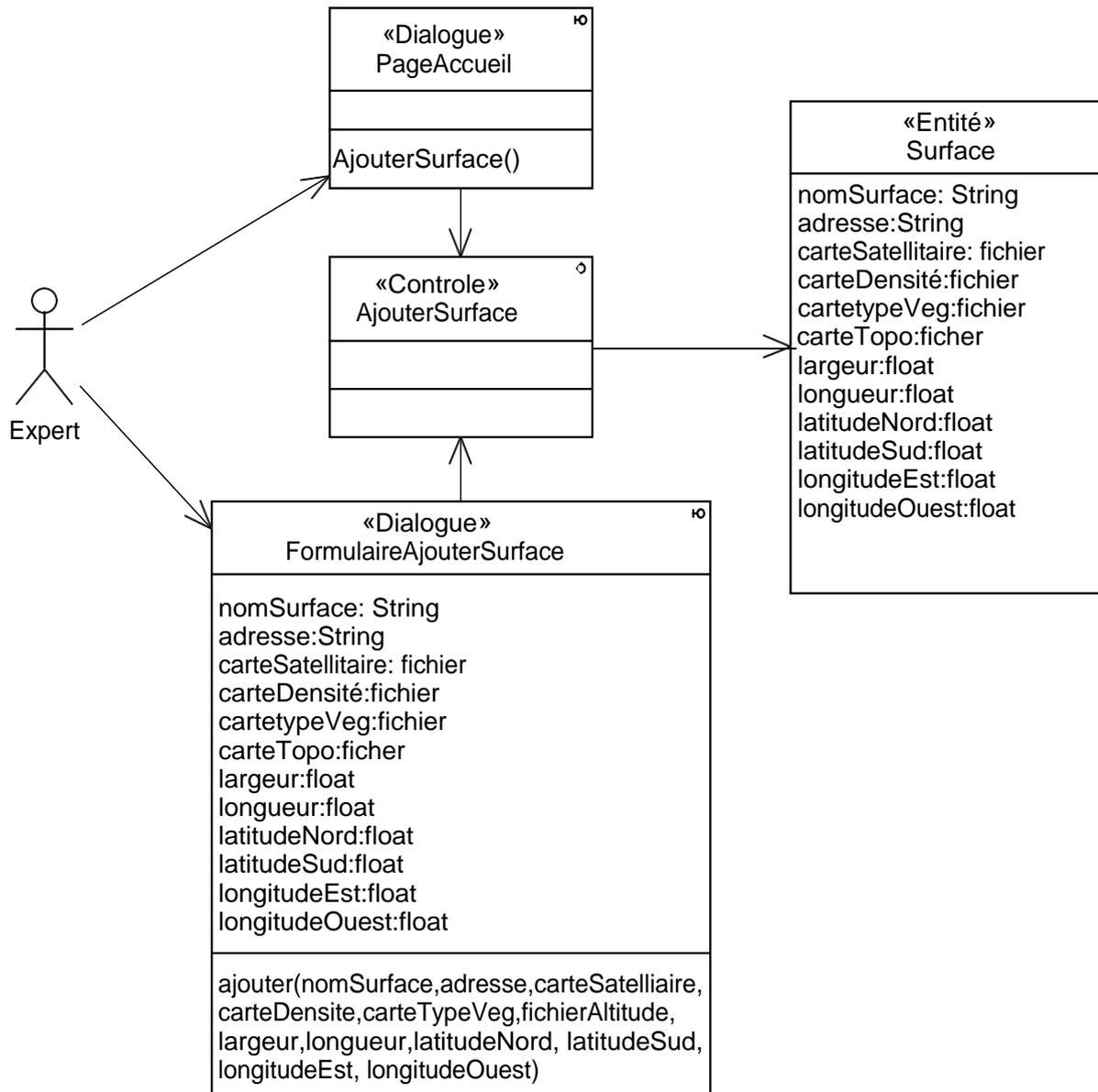


Figure 3.12. Diagramme de classes participantes du cas d'utilisation «Ajouter une surface forestière».

4.1.3.2. Simuler un feu de forêt

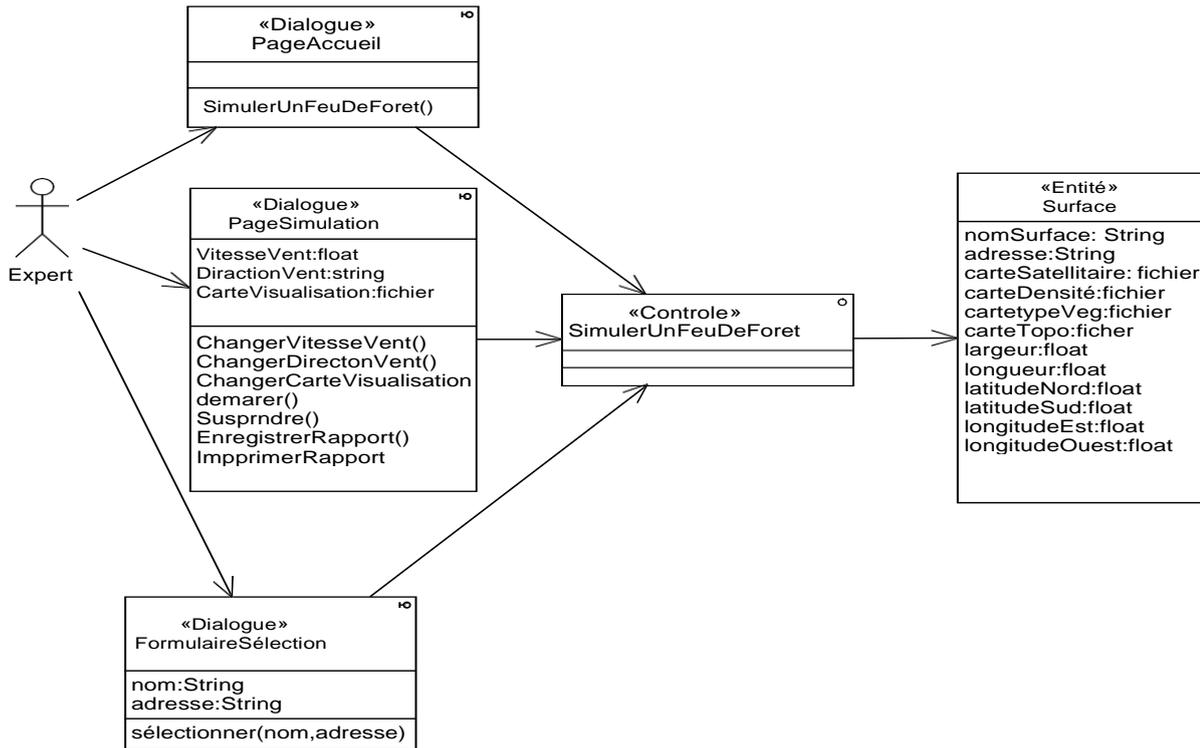


Figure 3.13. Diagramme de classes participantes du cas d'utilisation «Simuler un feu de forêt».

4.1.3.3. Enregistrer le rapport de simulation

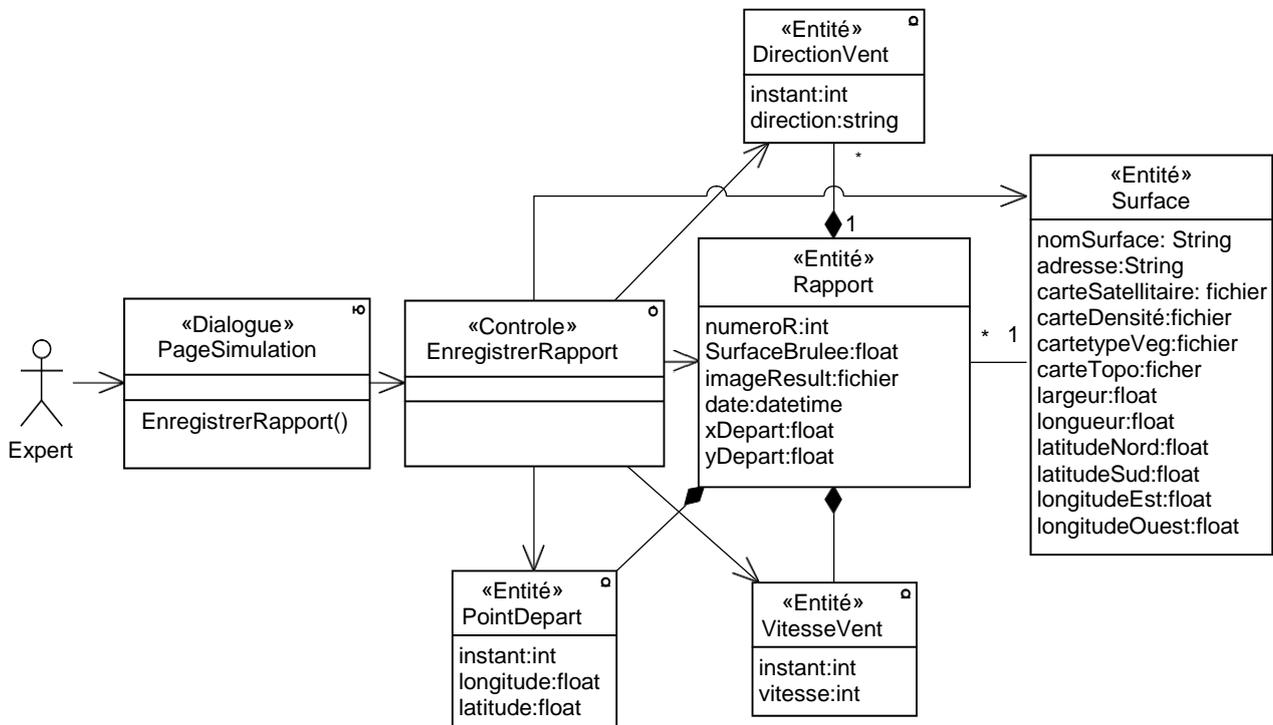


Figure 3.14. Diagramme de classes participantes du cas d'utilisation «enregistré un rapport de simulation».

4.1.3.4. Ouvrir un rapport de simulation

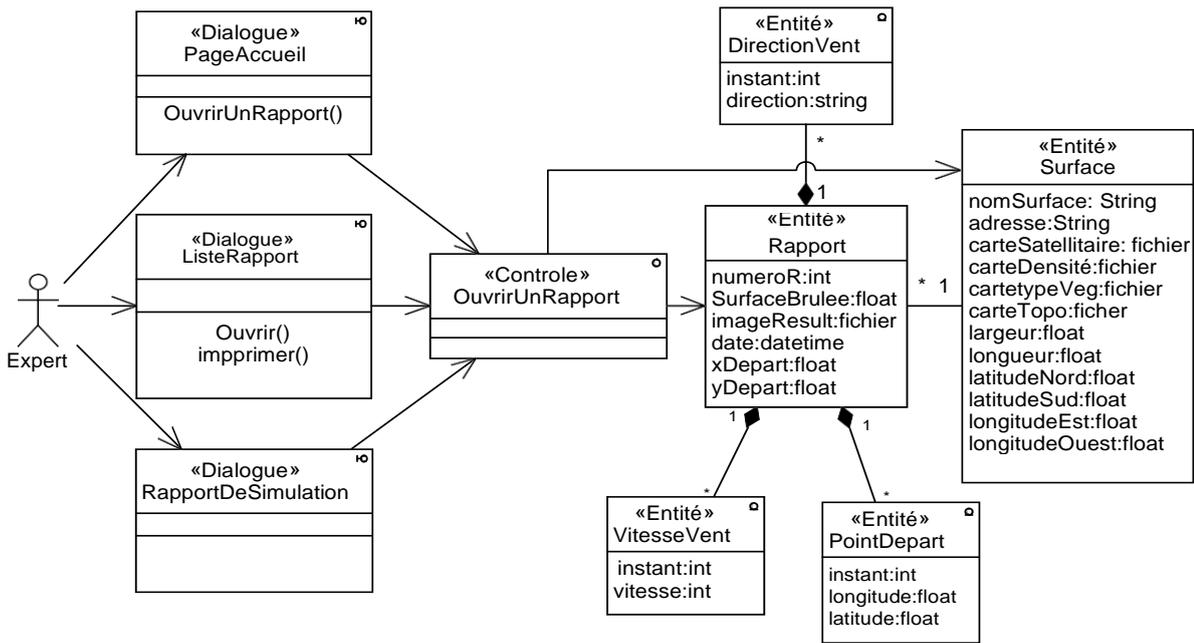


Figure 3.15. Diagramme de classes participantes du cas d'utilisation «Ouvrir un rapport de simulation».

4.1.3.5. Imprimer un rapport de simulation

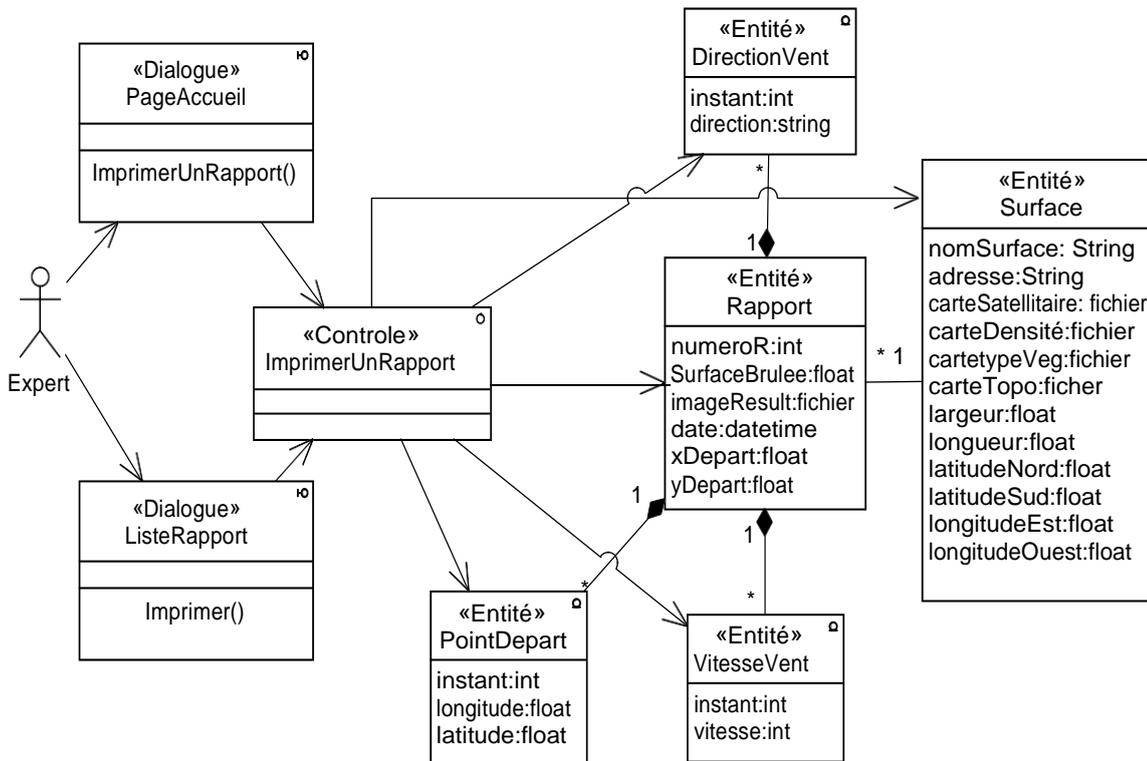


Figure 3.16. Diagramme de classes participantes du cas d'utilisation «Imprimer un rapport de simulation».

4.1.3.6. Rechercher des surfaces forestières

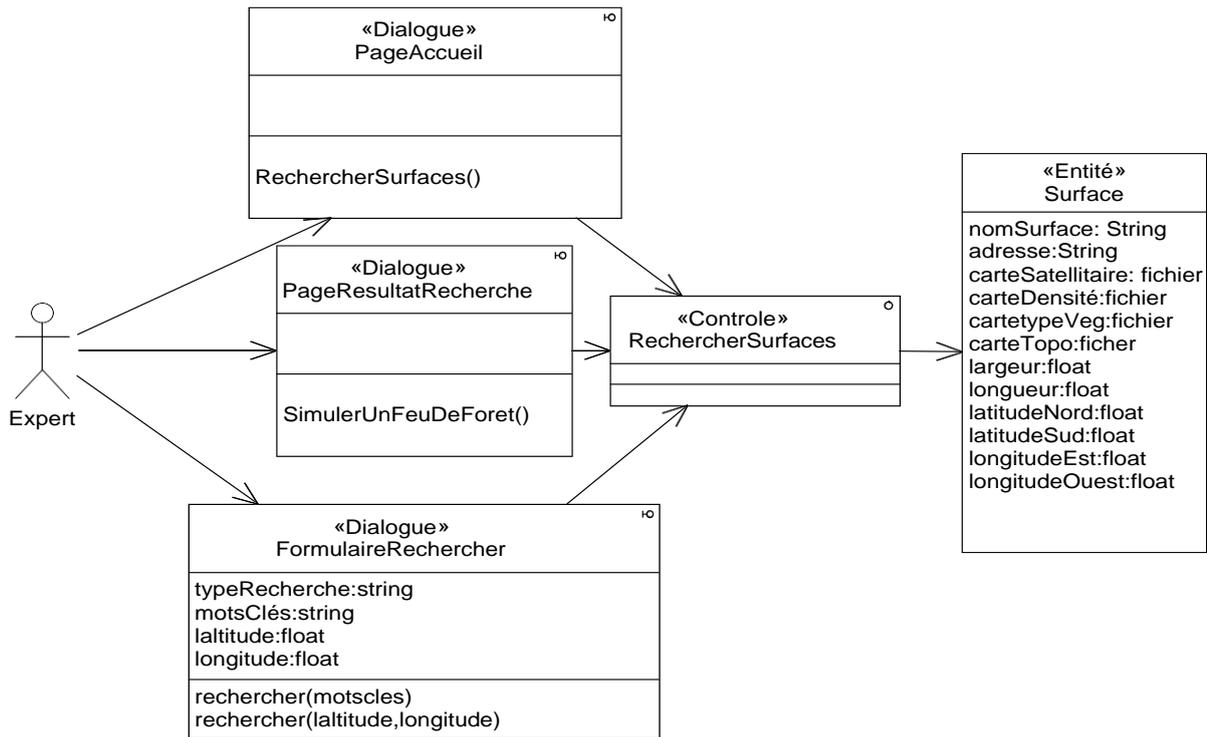


Figure 3.17. Diagramme de classes participantes du cas d'utilisation «Rechercher des surfaces forestières ».

4.1.3.7. Supprimer un rapport de simulation

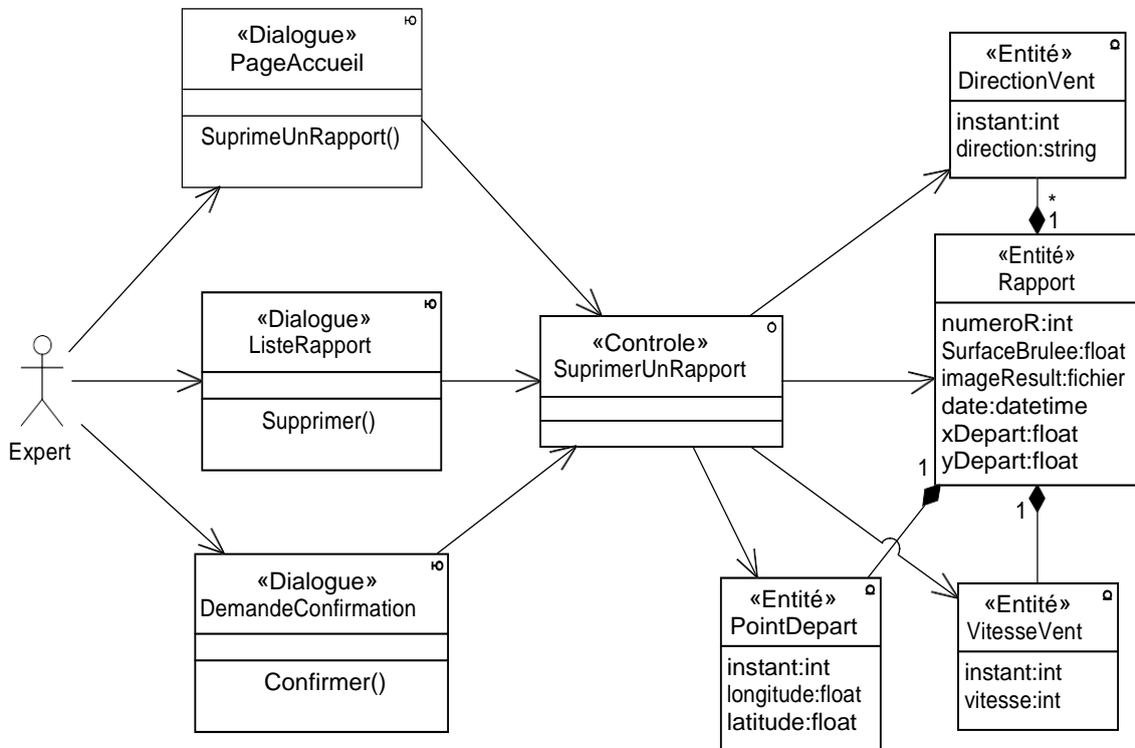


Figure 3.18. Diagramme de classes participantes du cas d'utilisation «Supprimer un rapport de simulation ».

4.1.3.8. Supprimer une surface forestière

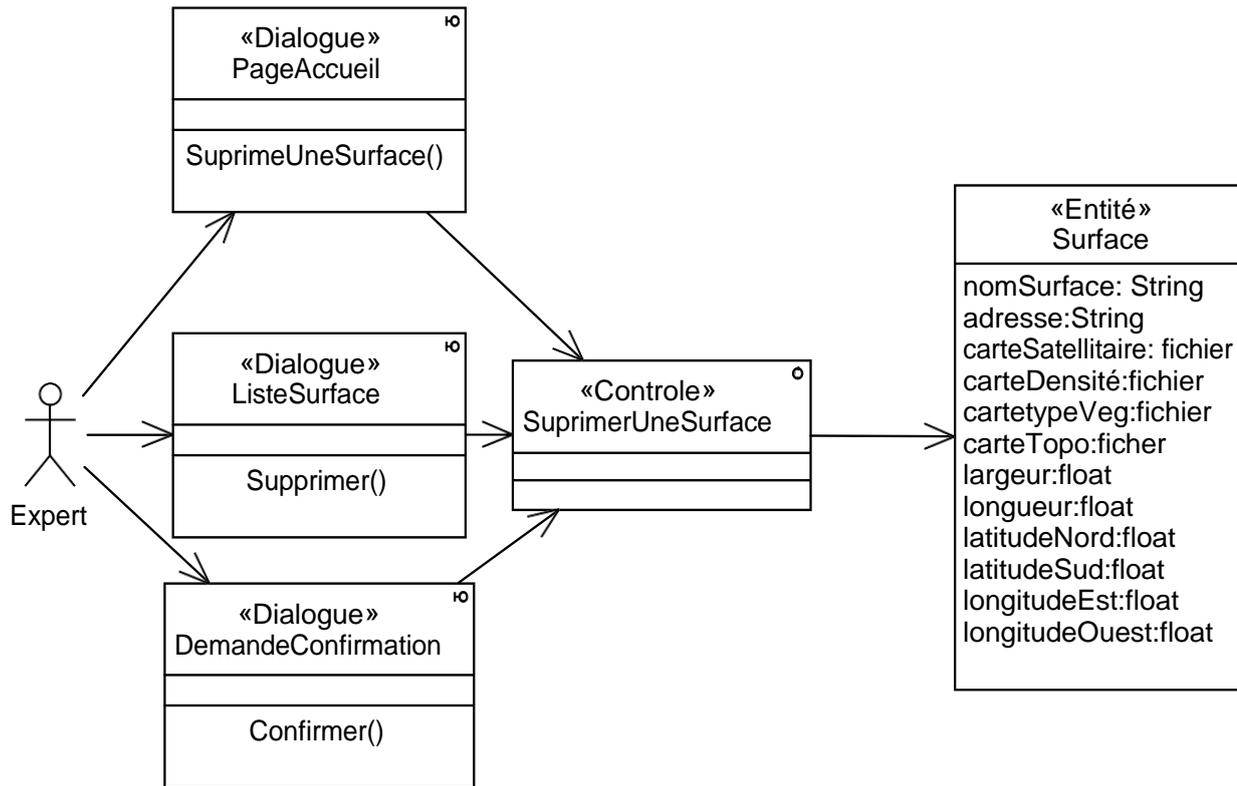


Figure 3.19. Diagramme de classes participantes du cas d'utilisation «Supprimer une surface forestière».

4.1.4. Diagrammes d'activités de navigation

4.1.4.1. Ajouter une surface forestière

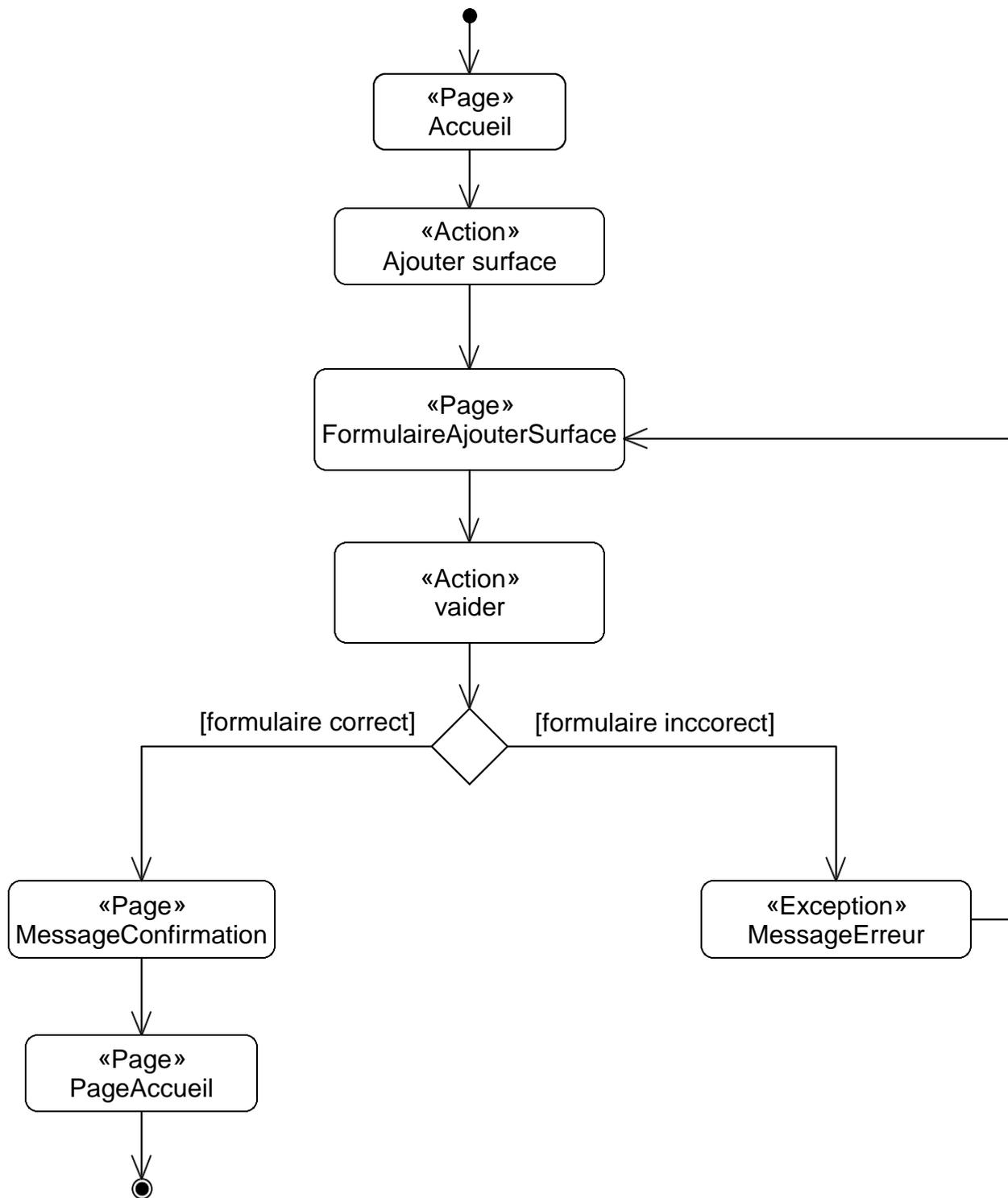


Figure 3.20. Diagramme d'activités de navigation du cas d'utilisation «Ajouter une surface forestière».

4.1.4.2. Simuler un feu de forêt

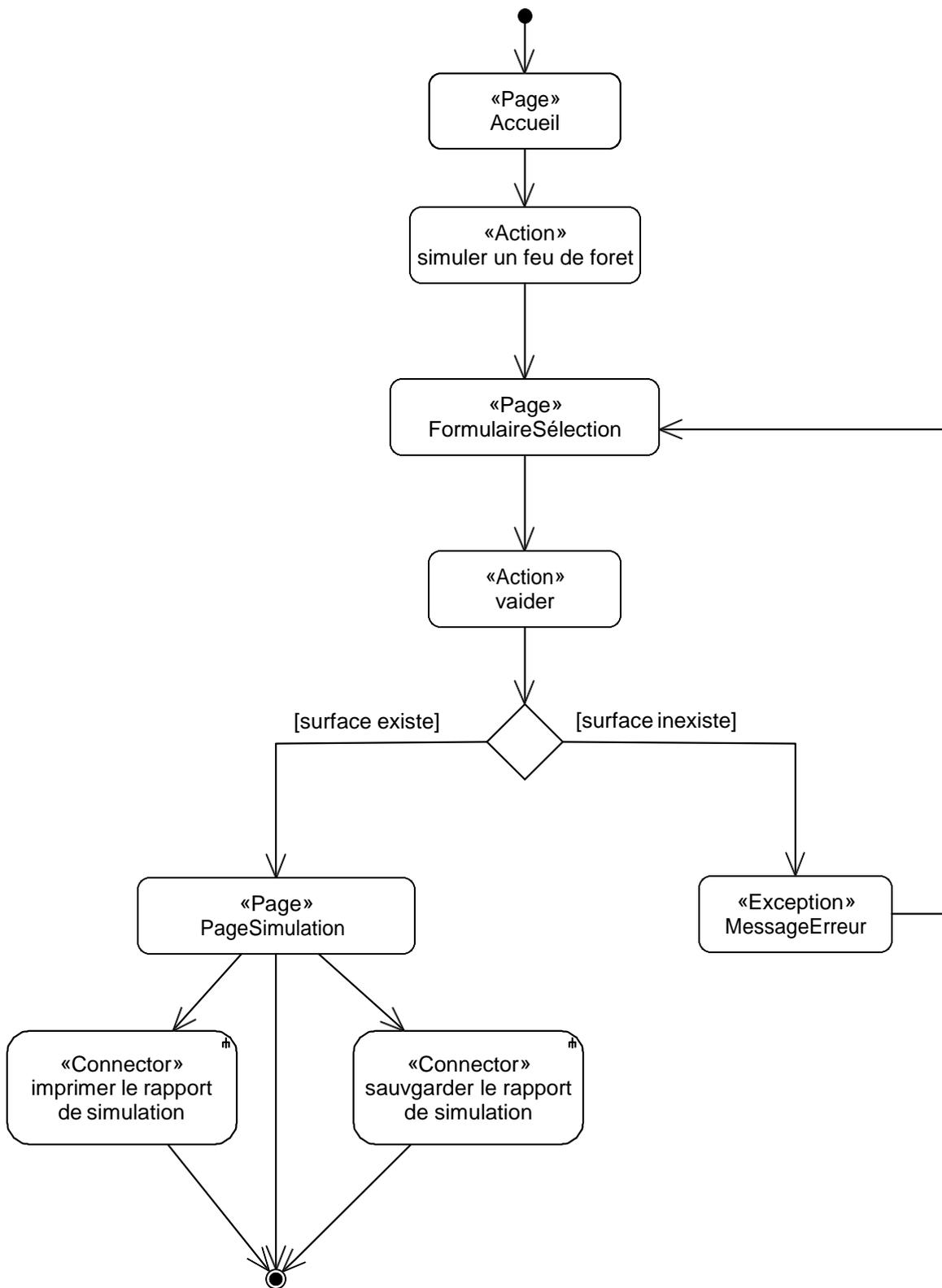


Figure 3.21. Diagramme d'activités de navigation du cas d'utilisation «Simuler un feu de forêt».

4.1.4.3. Enregistrer le rapport de simulation

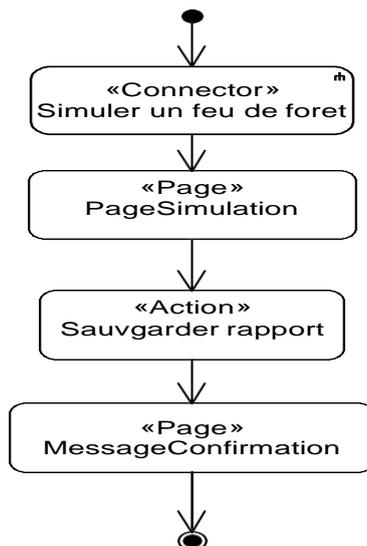


Figure 3.22. Diagramme d'activités de navigation du cas d'utilisation «Enregistrer le rapport de simulation».

4.1.4.4. Ouvrir un rapport de simulation

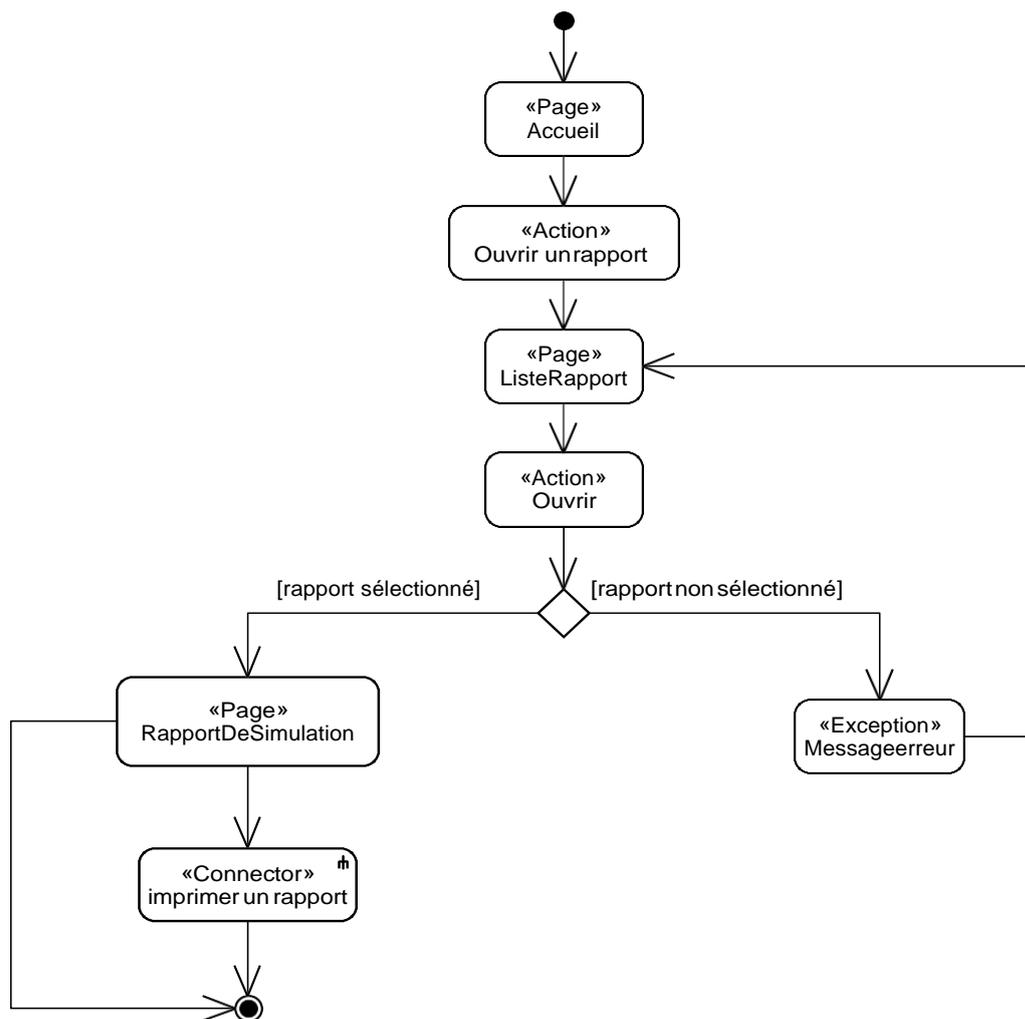


Figure 3.23. Diagramme d'activités de navigation du cas d'utilisation «Ouvrir un rapport de simulation».

4.1.4.5. Imprimer un rapport de simulation

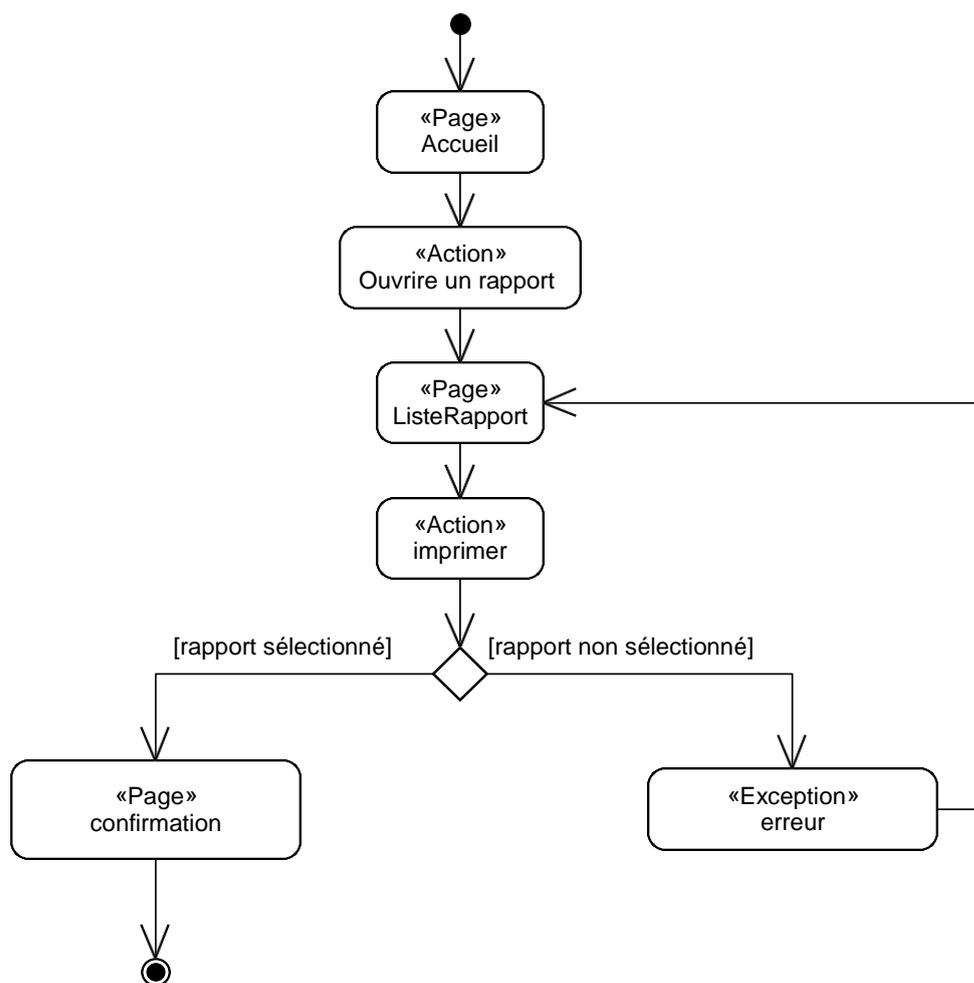


Figure 3.24. Diagramme d'activités de navigation du cas d'utilisation «Imprimer le rapport de simulation».

4.1.4.6. Rechercher des surfaces forestières

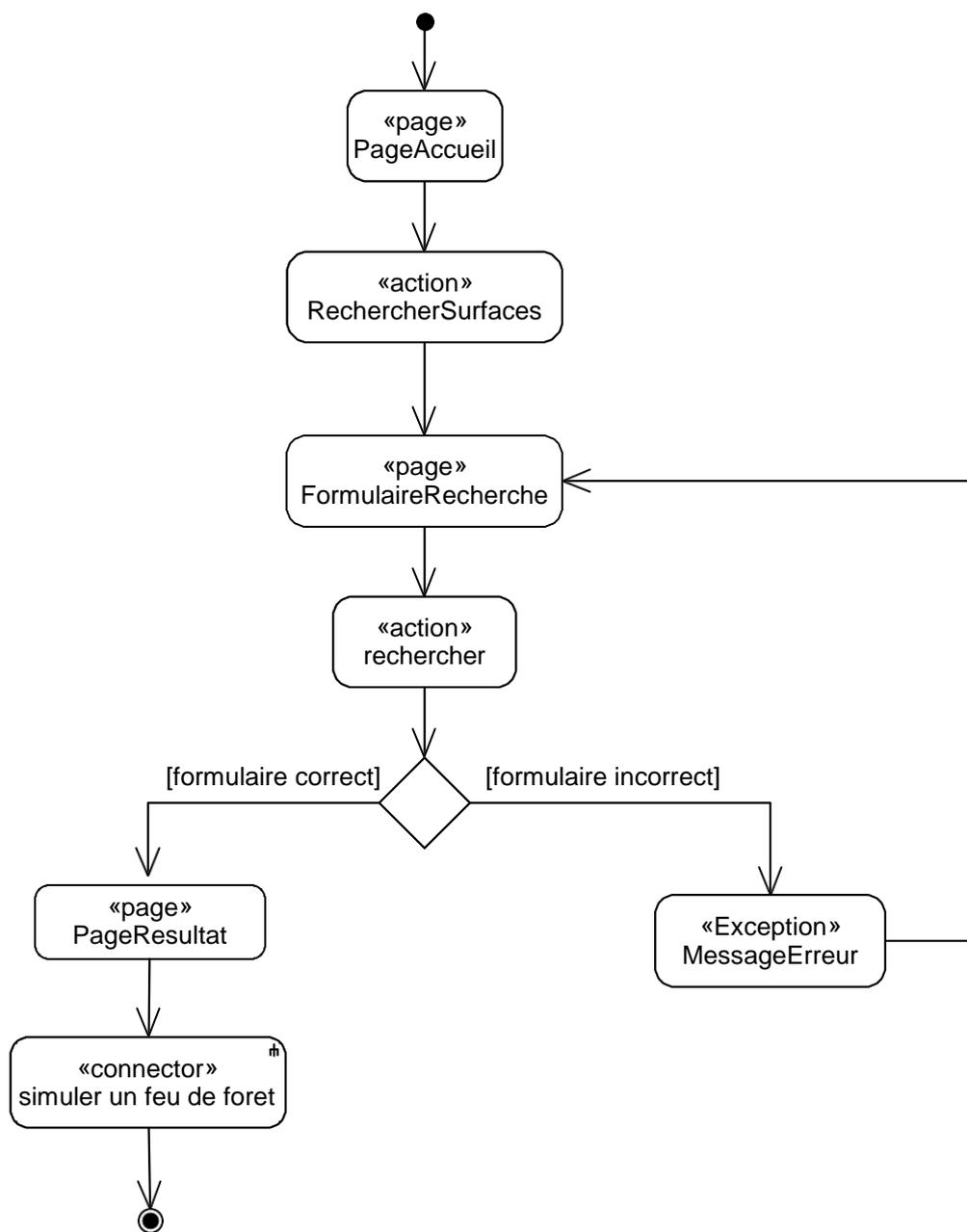


Figure 3.25. Diagramme d'activité de navigation du cas d'utilisation «Rechercher des surfaces forestières».

4.1.4.7. Supprimer un rapport de simulation

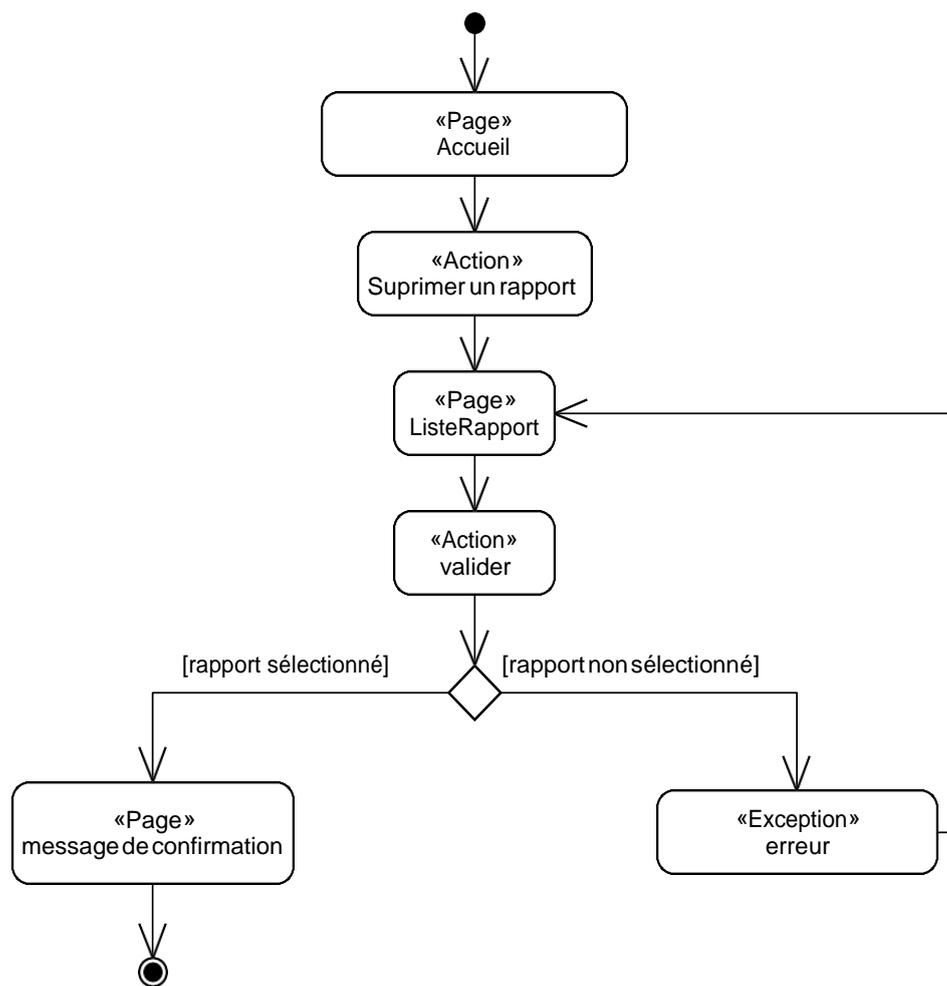


Figure 3.26. Diagramme d'activité de navigation du cas d'utilisation «Supprimer un rapport de simulation».

4.1.4.8. Supprimer une surface forestière

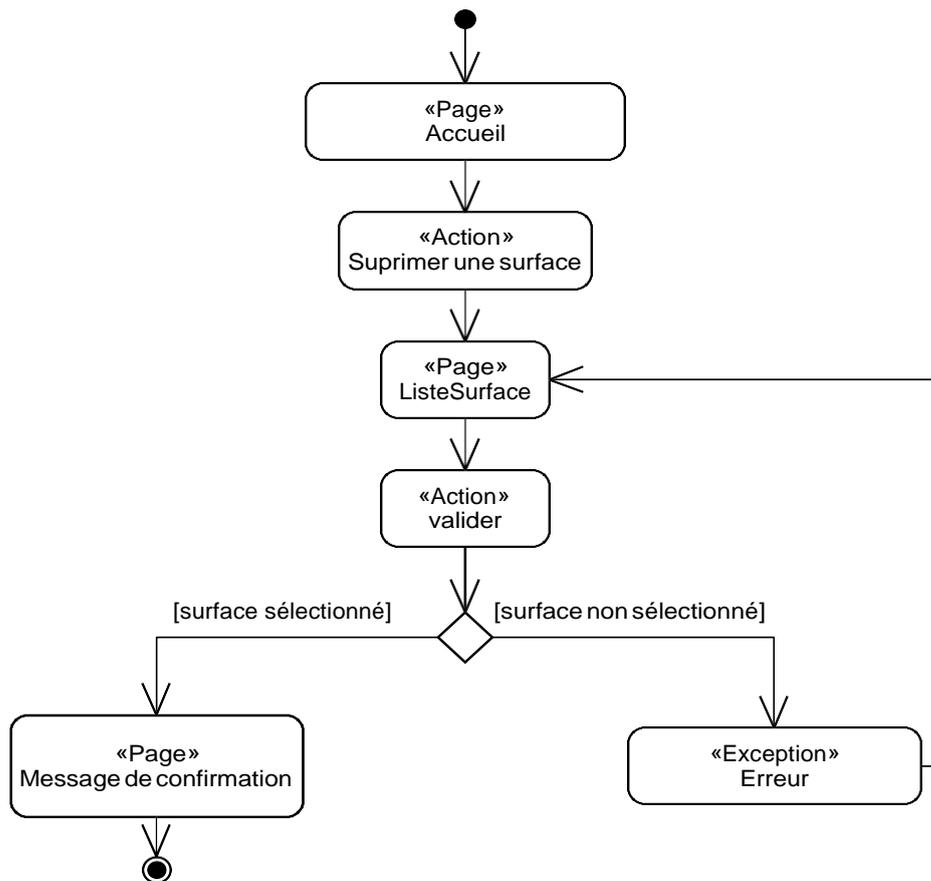


Figure 3.27. Diagramme d'activité de navigation du cas d'utilisation «Supprimer une surface forestière».

5. Phase de conception

Cette phase est consacrée à la phase de conception, nous allons décrire chaque cas d'utilisation à l'aide d'un diagramme d'interaction et un diagramme de classes de conception.

5.1. Diagramme d'interactions

5.1.1. Ajouter une surface forestière

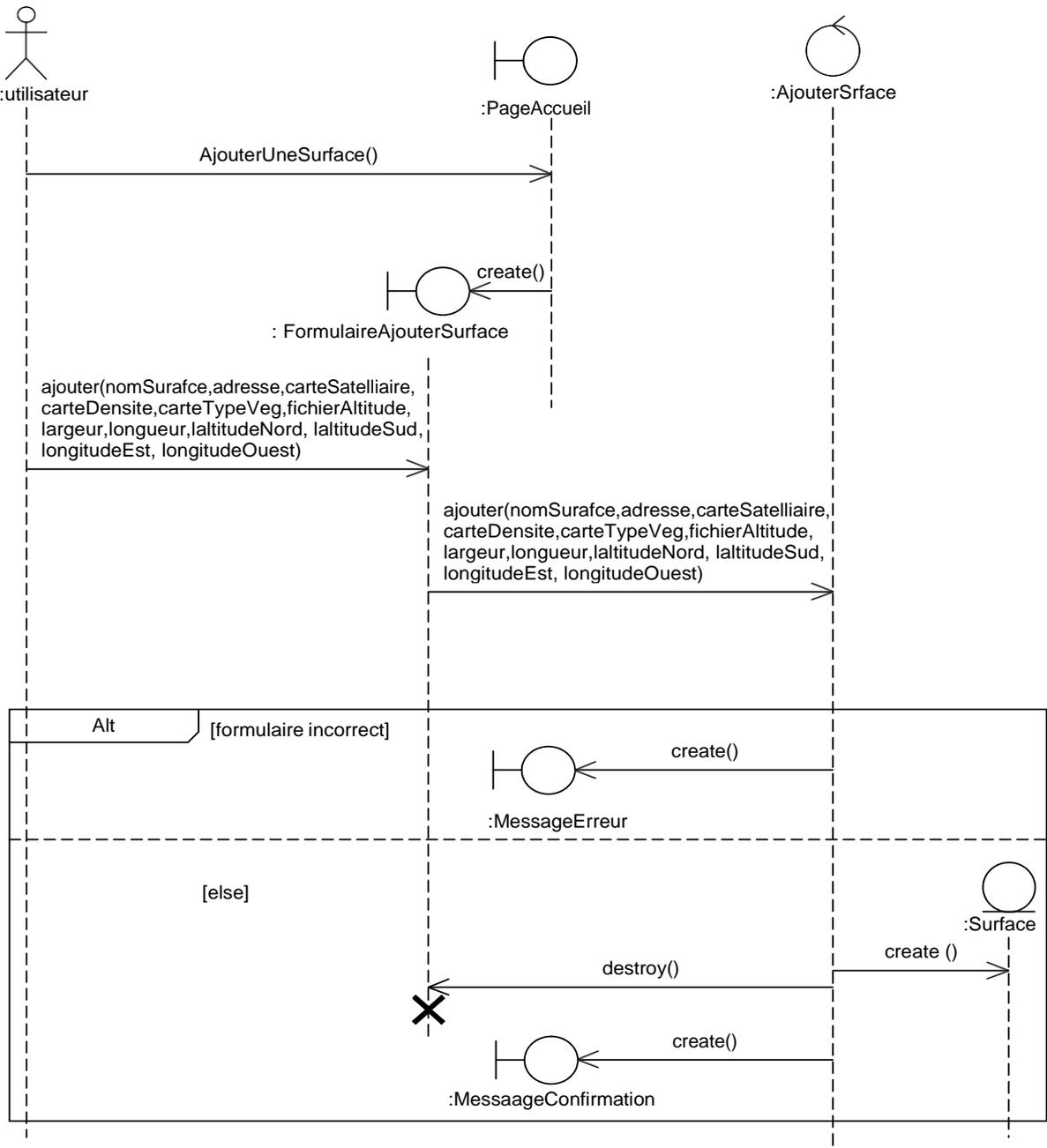


Figure 3.28. Diagramme d'interaction du cas d'utilisation «Ajouter une surface forestière».

5.1.2. Simuler un feu de forêt

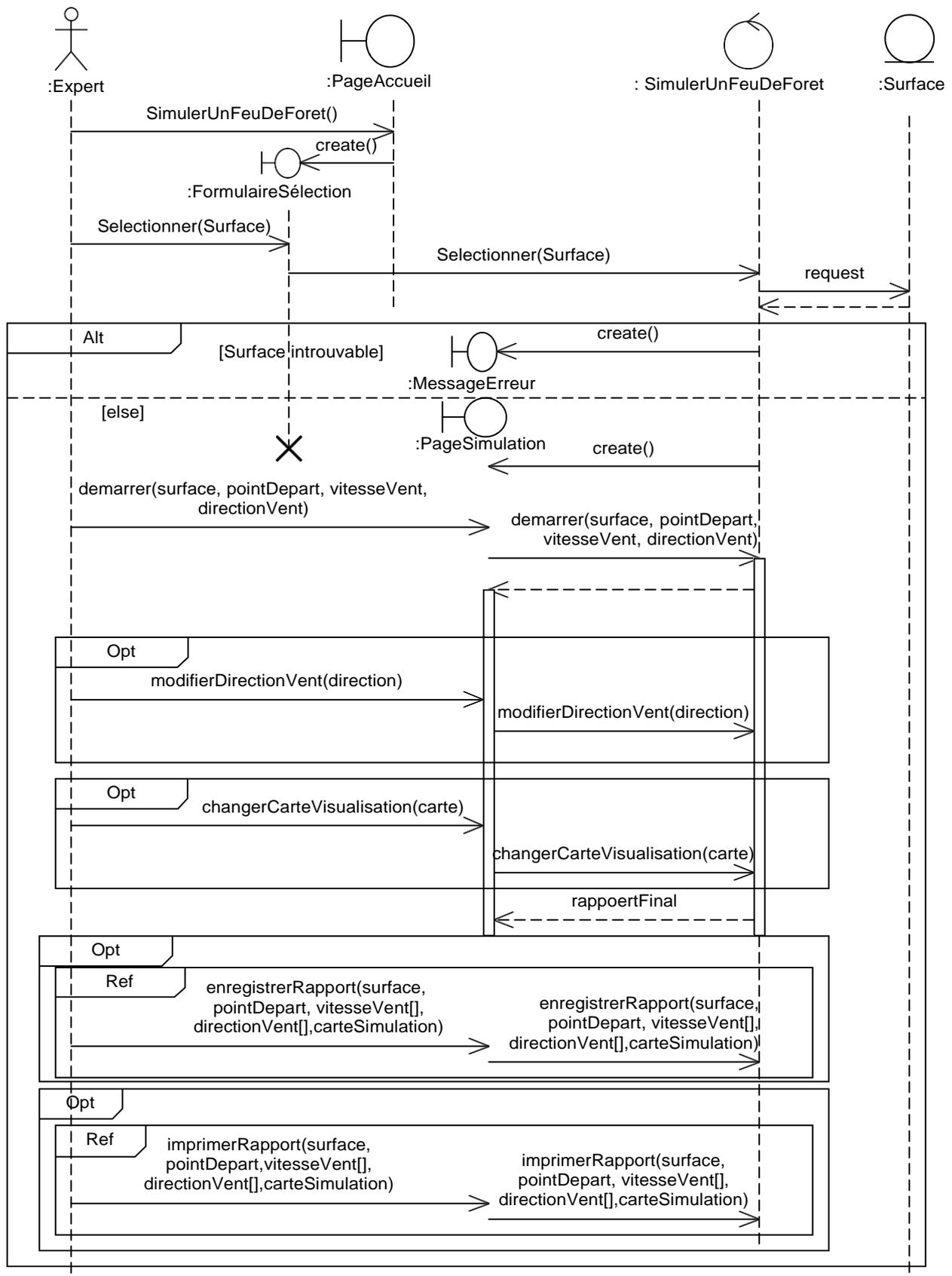


Figure 3.29. Diagramme d'interaction du cas d'utilisation «Simuler un feu de forêt».

5.1.3. Enregistrer le rapport de simulation

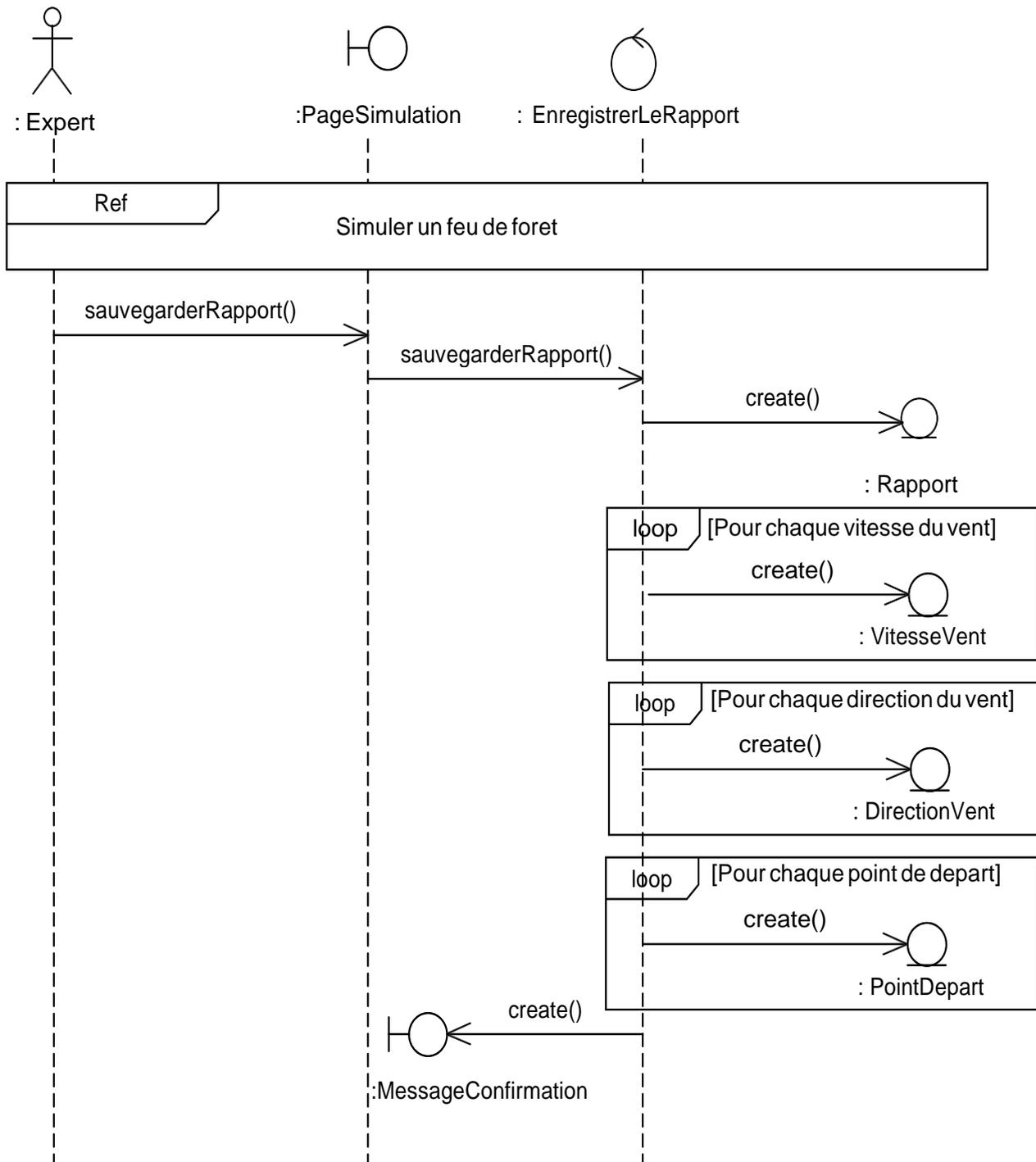


Figure 3.30. Diagramme d'interaction du cas d'utilisation «Enregistrer le rapport de simulation».

5.1.4. Ouvrir un rapport de simulation

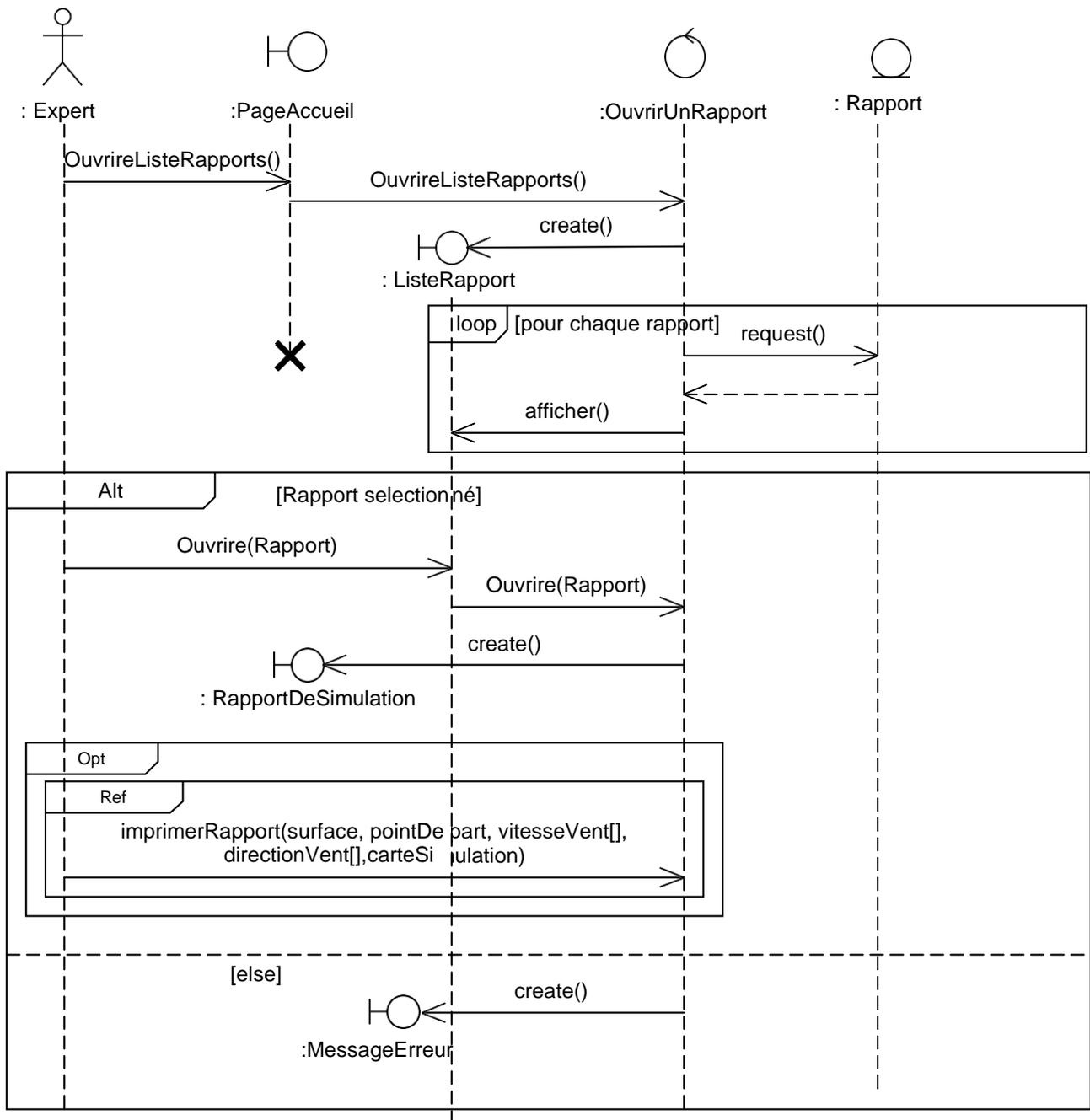


Figure 3.31. Diagramme d'interaction du cas d'utilisation «Ouvrir un rapport de simulation».

5.1.5. Imprimer le rapport de simulation

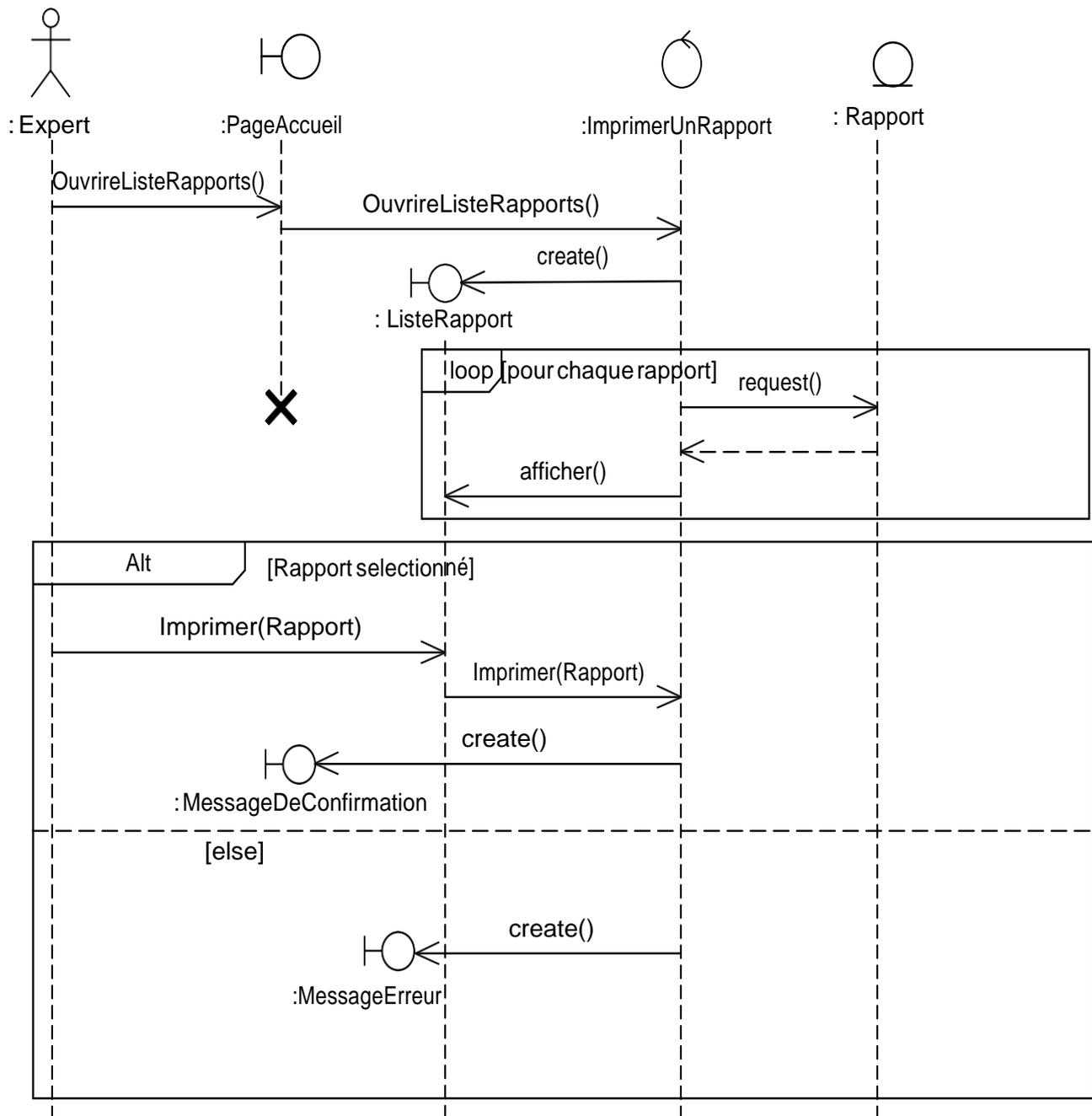


Figure 3.32. Diagramme d'interaction du cas d'utilisation «Imprimer le rapport de simulation».

5.1.7. Supprimer un rapport de simulation

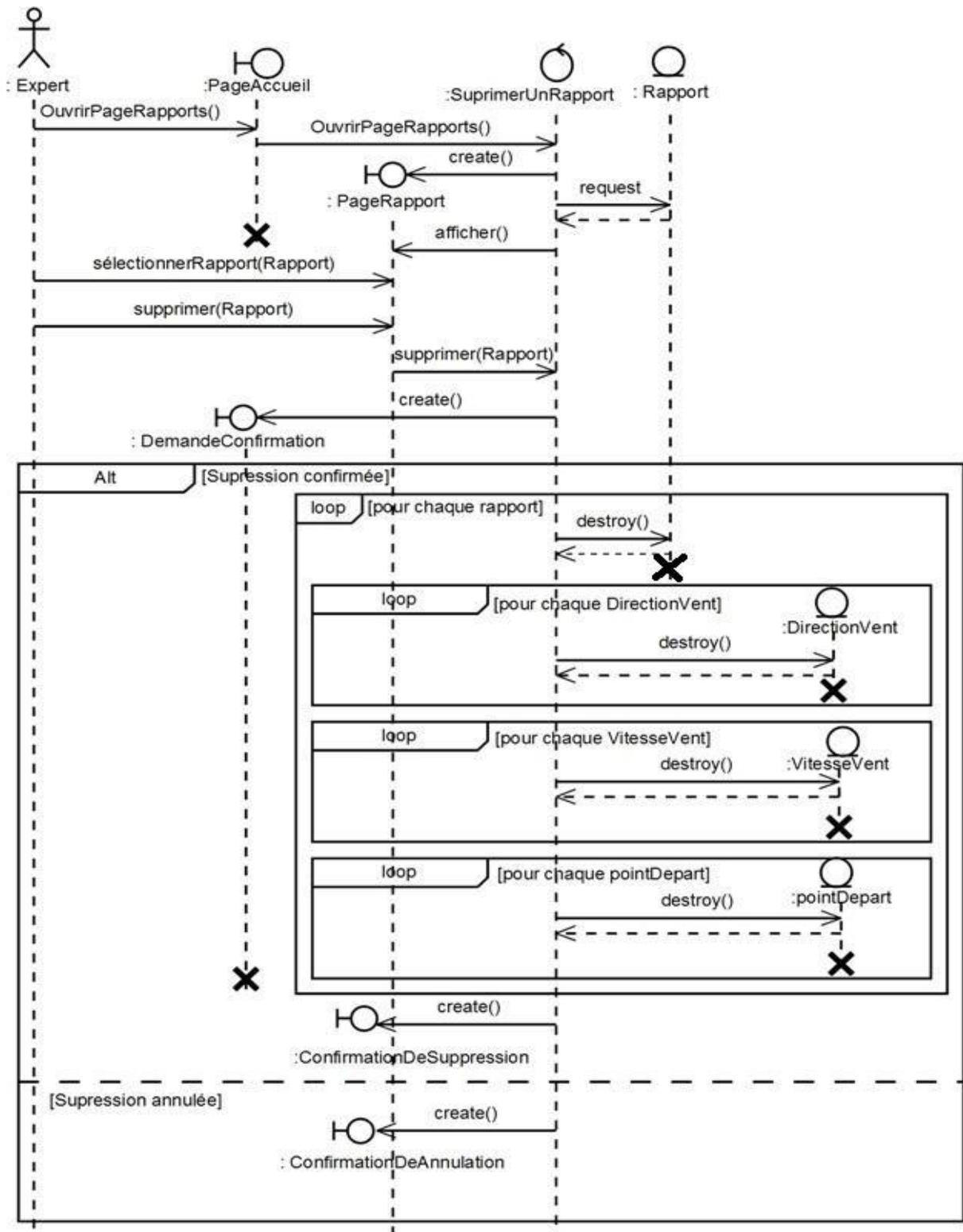


Figure 3.34. Diagramme d'interaction du cas d'utilisation «Supprimer un rapport de simulation».

5.1.8. Supprimer une surface forestière

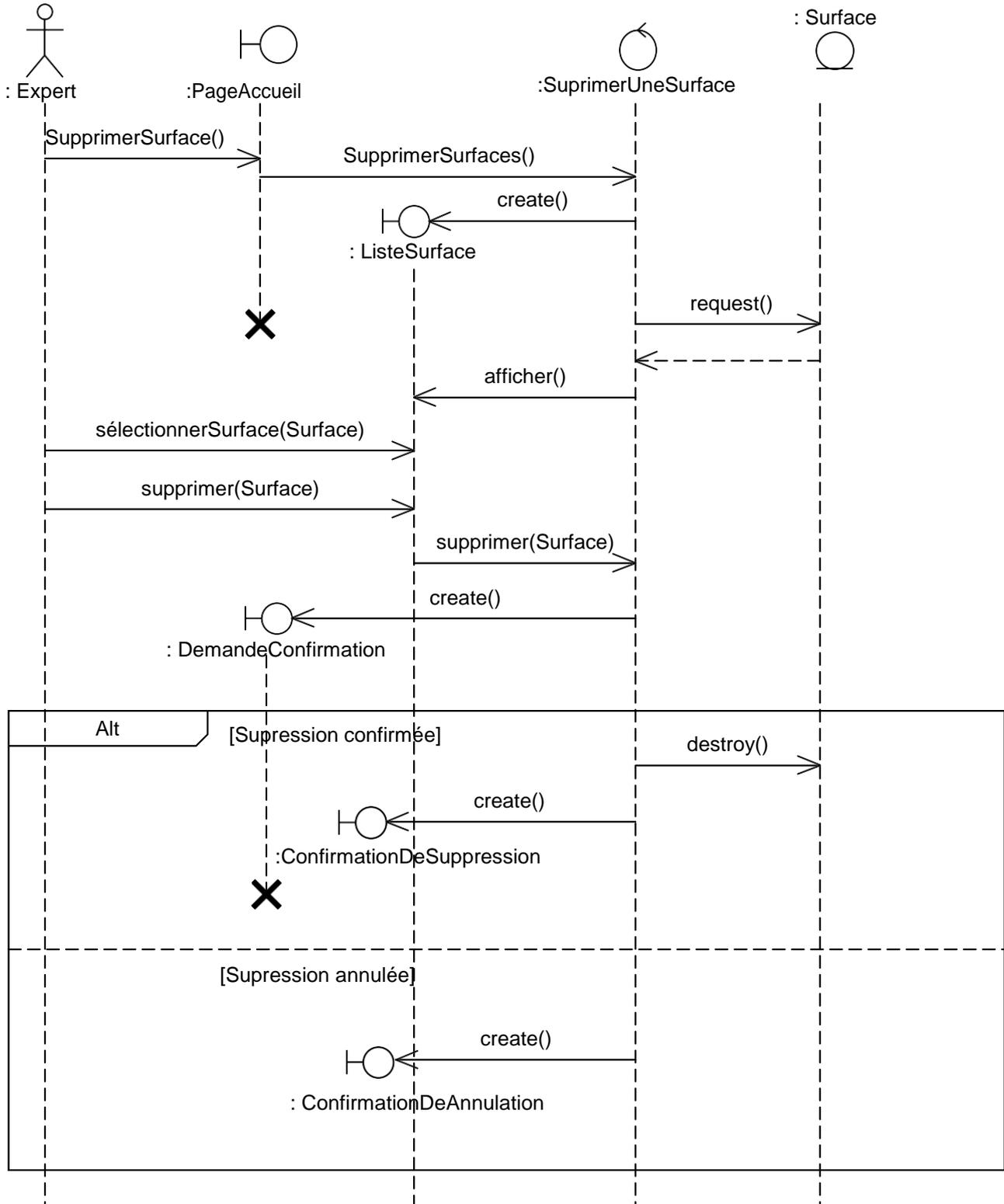


Figure 3.35. Diagramme d'interaction du cas d'utilisation «Supprimer une surface forestière».

5.2. Diagramme de classe de conception

5.2.1. Ajouter une surface forestière

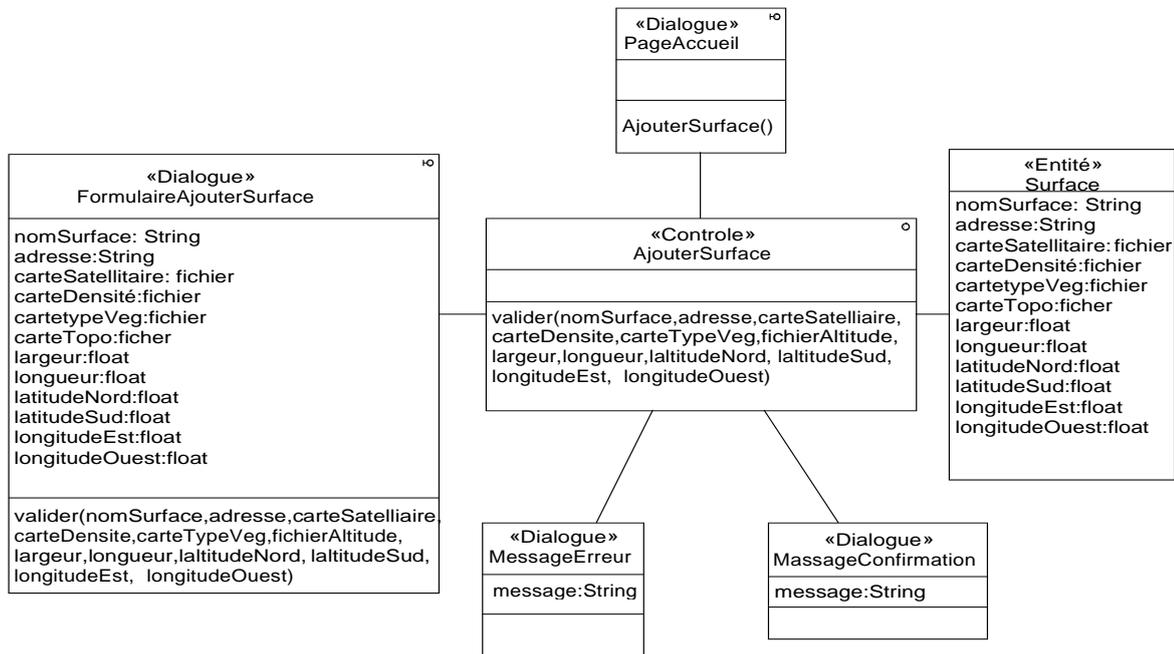


Figure 3.36. Diagramme de conception du cas d'utilisation «Ajouter une surface forestière».

5.2.2. Simuler un feu de forêt

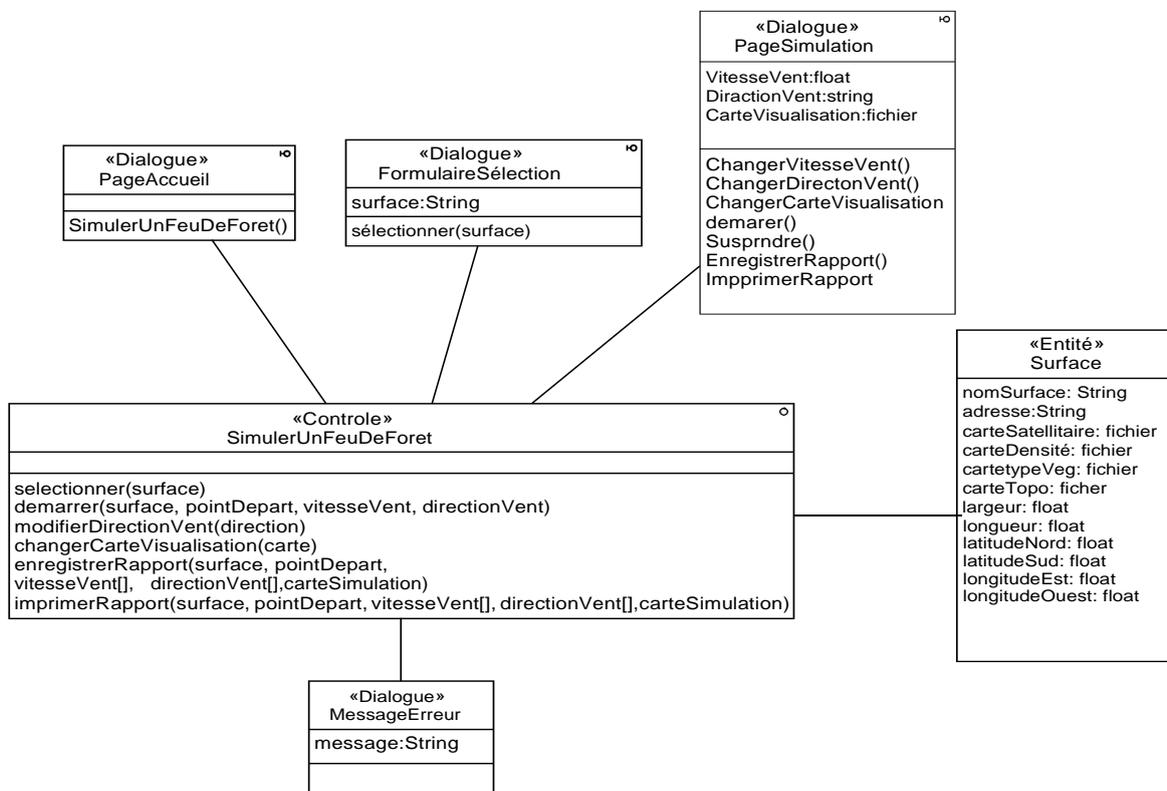


Figure 3.37. Diagramme de conception du cas d'utilisation «Simuler un feu de forêt».

5.2.3. Enregistrer le rapport de simulation

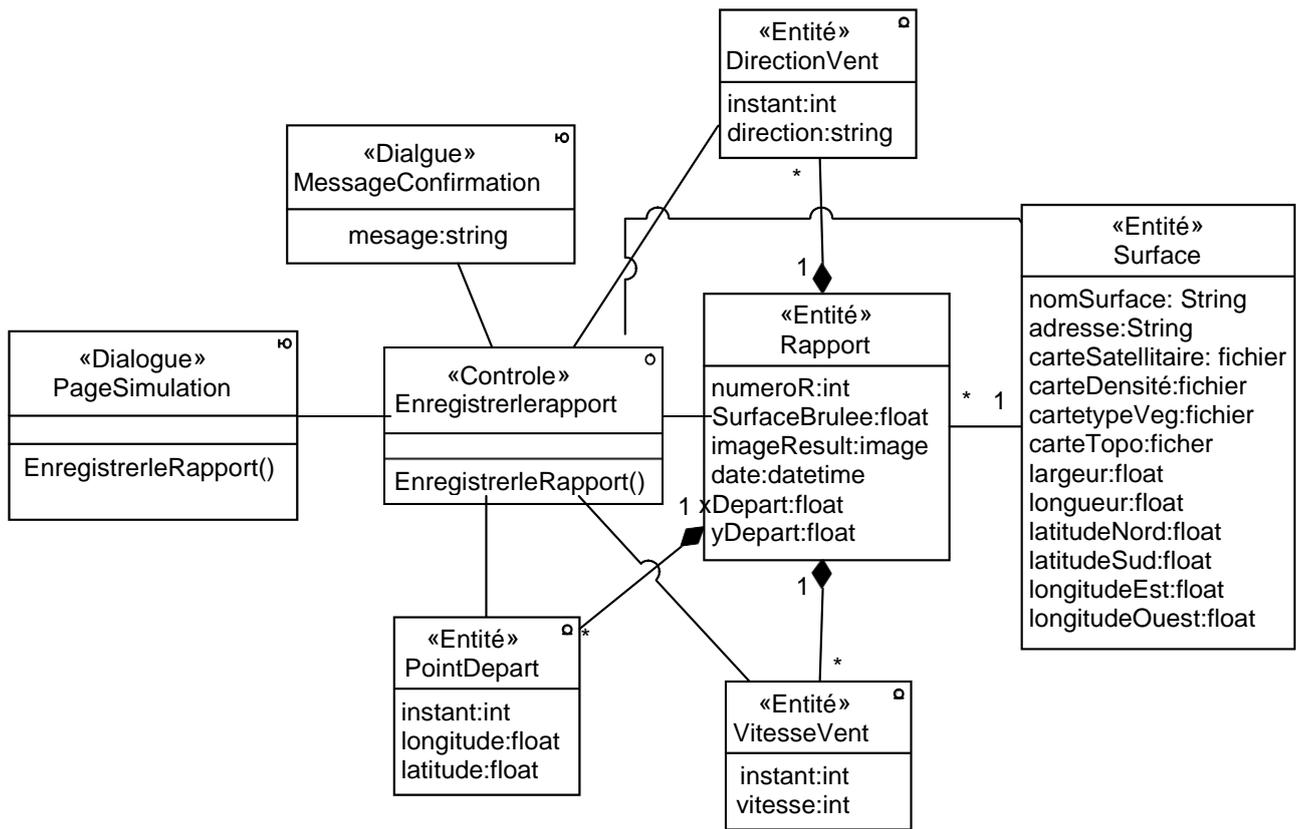


Figure 3.38. Diagramme de conception du cas d'utilisation «Enregistrer le rapport de simulation».

5.2.4. Ouvrir un rapport de simulation

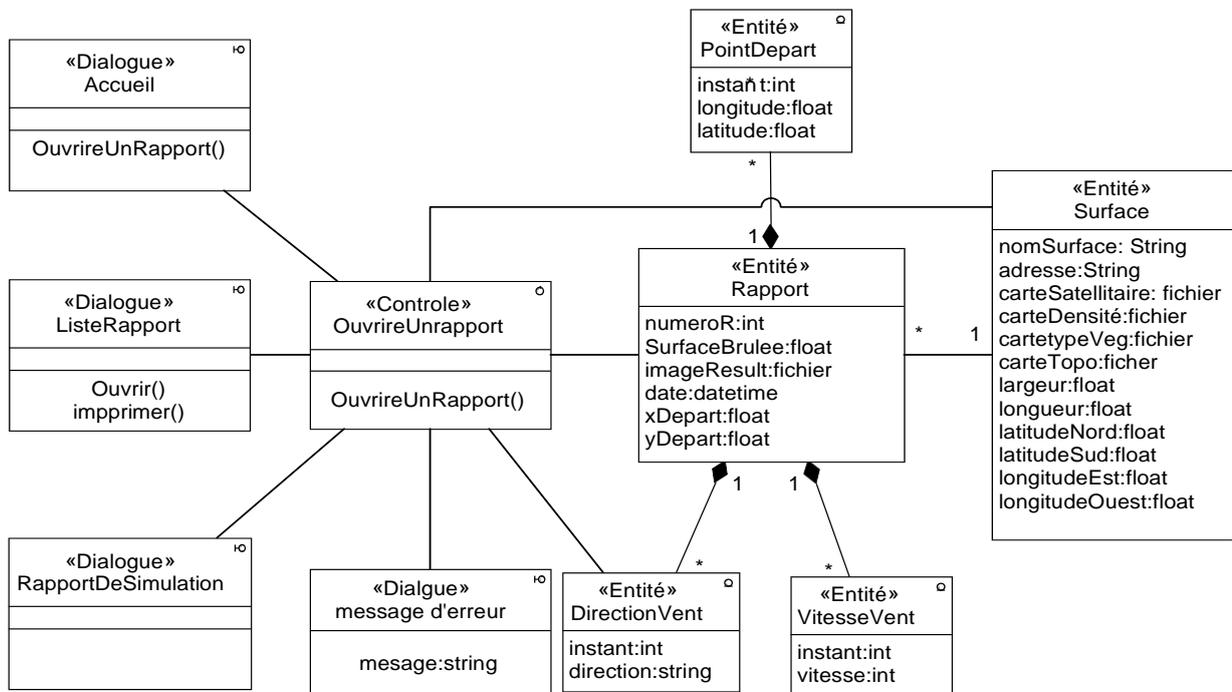


Figure 3.39. Diagramme de conception du cas d'utilisation «Ouvrir un rapport de simulation».

5.2.5. Imprimer le rapport de simulation

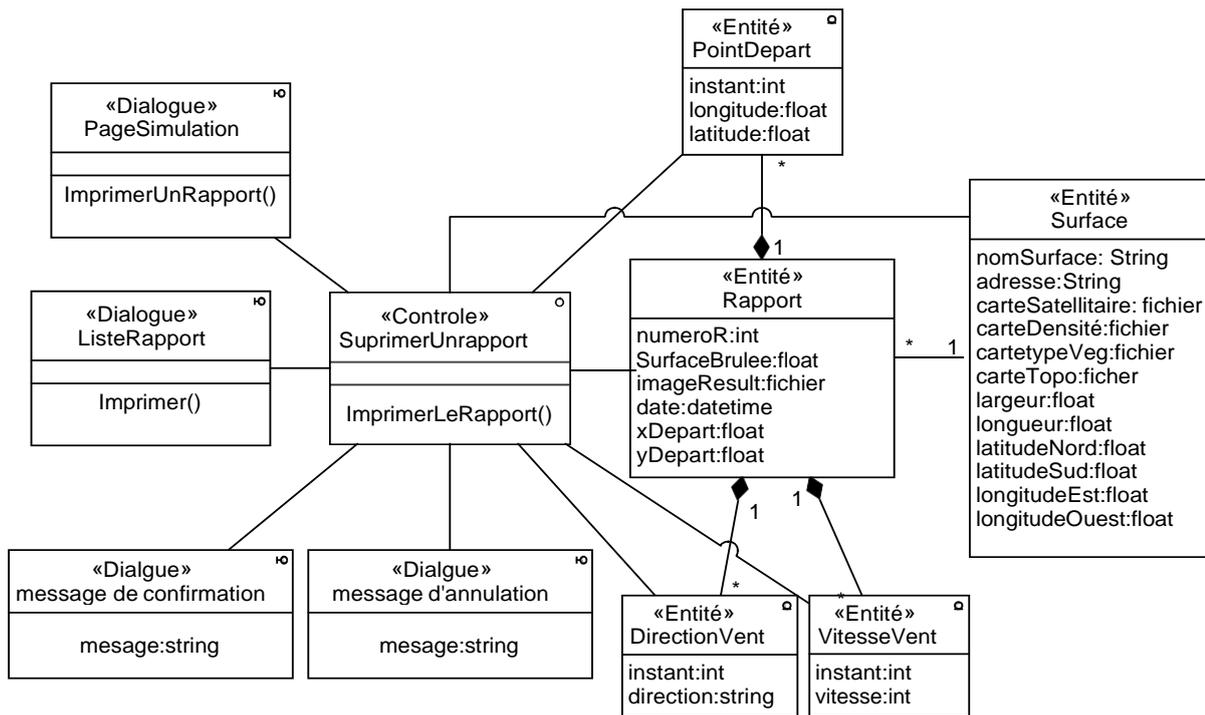


Figure 3.40. Diagramme de conception du cas d'utilisation «Imprimer le rapport de simulation».

5.2.6. Recherche des surfaces forestières

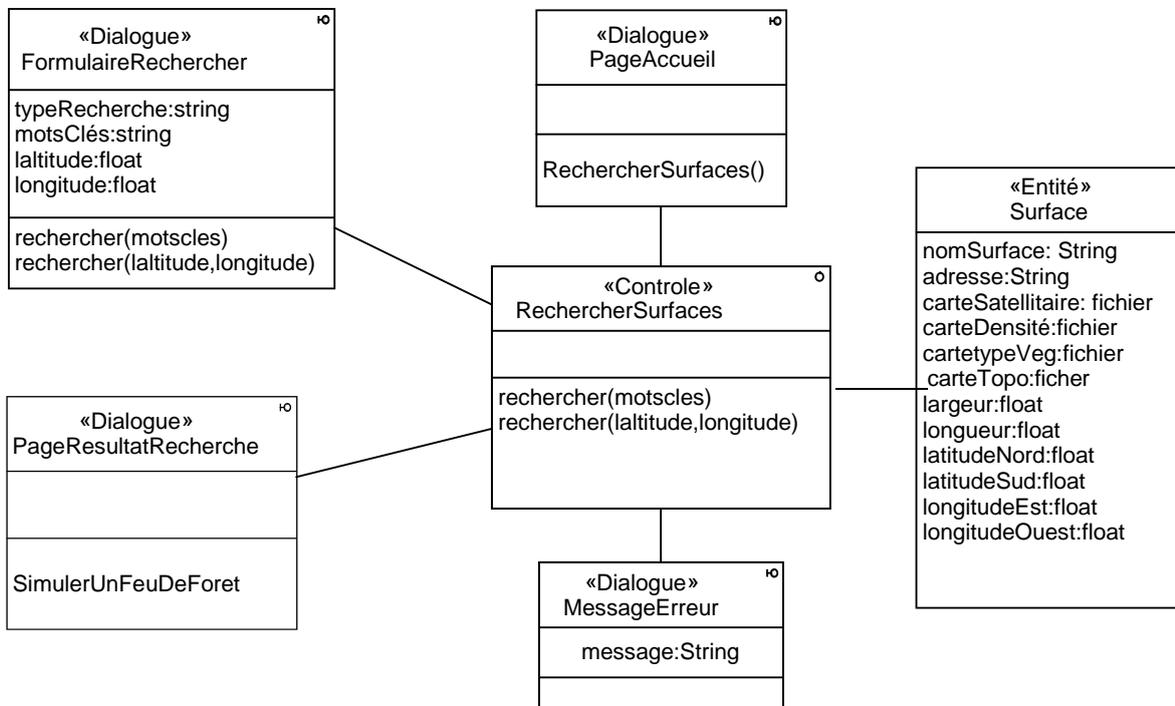


Figure 3.41. Diagramme de conception du cas d'utilisation «Rechercher des surfaces forestières».

5.2.7. Supprimer un rapport de simulation

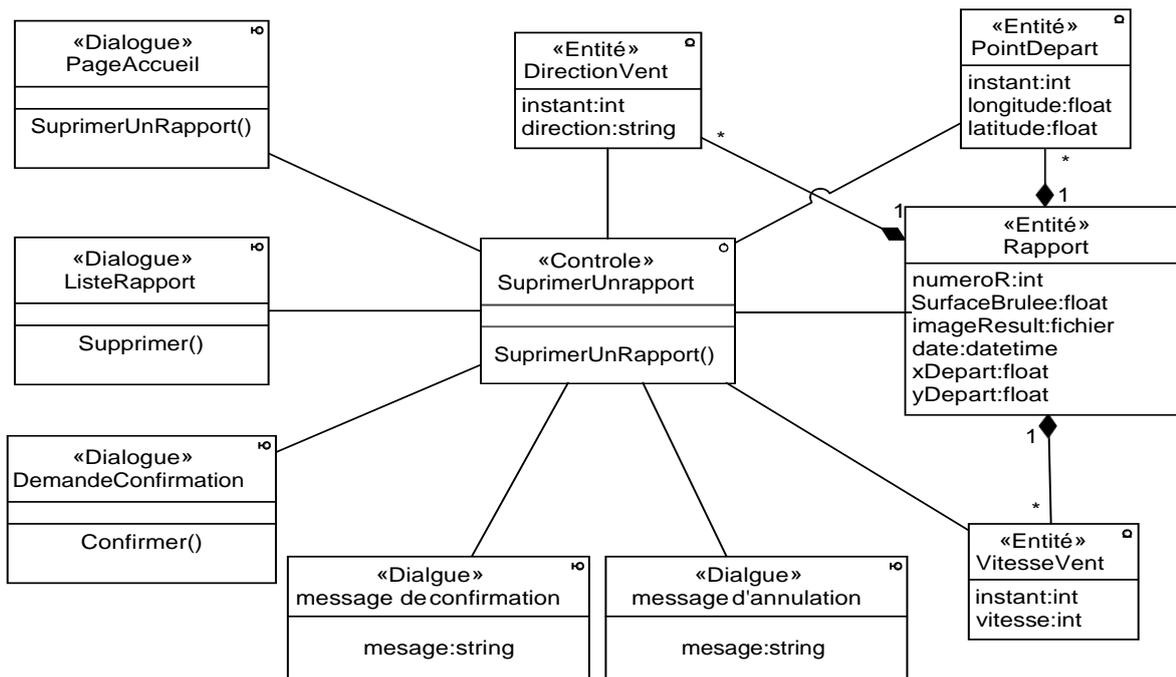


Figure 3.42. Diagramme de conception du cas d'utilisation «Supprimer un rapport de simulations ».

5.2.8. Supprimer une surface forestière

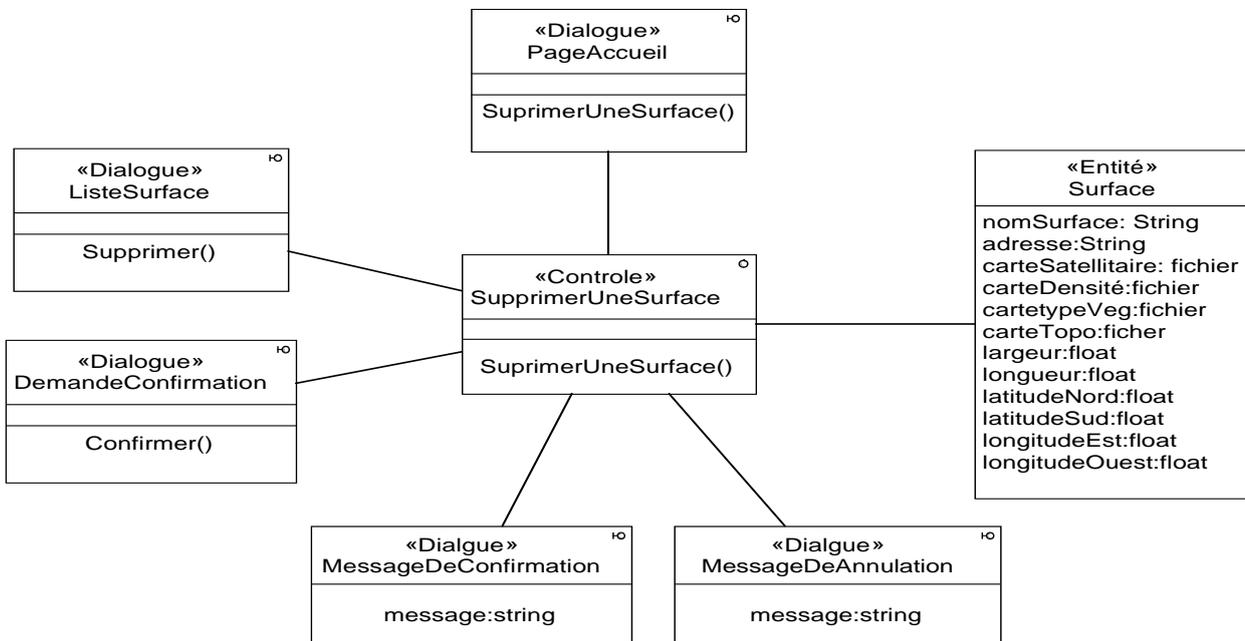


Figure 3.43. Diagramme de conception du cas d'utilisation «Supprimer une surface forestière ».

6. Conclusion

A l'issue de ce chapitre nous avons arrivé à présenter l'étude conceptuelle concernant notre application. Les diagrammes élaborés dans les différentes phases de la démarche conceptuelle fournissent une description assez détaillée de la future application, ce qui facilitera la phase d'implémentation que nous allons présenter dans le chapitre suivant.

Chapitre 04

Implémentation

1. Introduction

Après l'analyse et la conception de l'application, nous allons passer à la phase d'implémentation. Nous utilisons les résultats de la phase de conception (les diagrammes de classes de conception, et les diagrammes d'interactions) pour implémenter notre application dans un langage de programmation. Nous allons également créer une base de données en convertissant les classes entités du modèle du domaine à des tables relationnelles. Finalement, nous préparons les données nécessaires à l'exploitation du logiciel, et particulièrement les cartes des surfaces forestières. Dans ce chapitre nous allons passer en revue les outils de développement utilisés pour l'implémentation, puis, nous présentons quelques interfaces de notre application.

2. Outils de développement

2.1. Langage java et IDE NetBeans

Pour réaliser notre application nous avons utilisé le langage Java, ce choix est dû aux avantages qu'il offre, entre autres, sa simplicité et la richesse de sa bibliothèque, ce qui a facilité le codage de l'application, aussi, java est un langage portable, ce qui facilitera d'éventuel adaptation de l'application à d'autres plates-formes (e.g. sur des tablette Android qui peuvent être utilisées par des pompiers durant la lutte contre les feux de forêts). Aussi, java est un langage orienté objet, ce qui a facilité le codage du modèle de simulation, celui-ci est composé de cellules qui possèdent leurs propres états et leur propre comportements. Ainsi, les cellules de l'automate sont implémentées sous forme d'objets, chacun possède ses propres caractéristiques (type de végétation, densité de végétation, etc.), et son propre état (combustible, non combustible, en feu, ou en cendre).

Concernant l'environnement de développement, nous avons opté pour l'IDE Netbeans. NetBeans est un environnement de développement intégré (IDE) pour Java, placé en open source par Sun en juin 2000 sous licence CDDL (Common Développement and Distribution License). Il comprend toutes les caractéristiques d'un IDE moderne, entre autres, un éditeur en couleur, et un éditeur graphique d'interfaces. Ces caractéristiques ont permet de faciliter considérablement le codage et la conception de l'interface graphique de l'application.

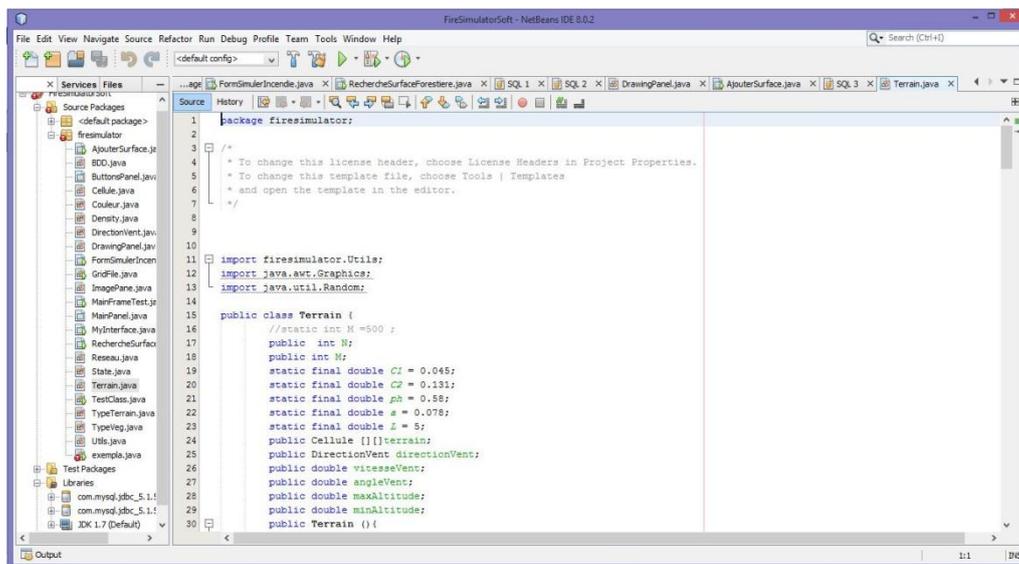


Figure 4.1. Environnement NetBeans

2.2. SGBDRMySQL

Pour créer la base de données de notre application, nous avons utilisé le **SGBDRMySQL**. MySQL est l'un des systèmes de gestion de base de données relationnelle (SGBDR). C'est un logiciel libre et open source, et fait partie des SGBDS les plus utilisés au monde, autant par le grand public que par les professionnels. MySQL fonctionne sur de nombreux systèmes d'exploitation, incluant Linux, Mac OS X, Solaris, Windows 9x, NT, XP et Vista. MySQL est très facile à administrer. Il prend en charge les API (Application Programming Interface) clients de nombreux langages de programmation (par exemple java) ce qui permet d'écrire facilement les programmes clients qui doivent accéder aux données d'une base MySQL.

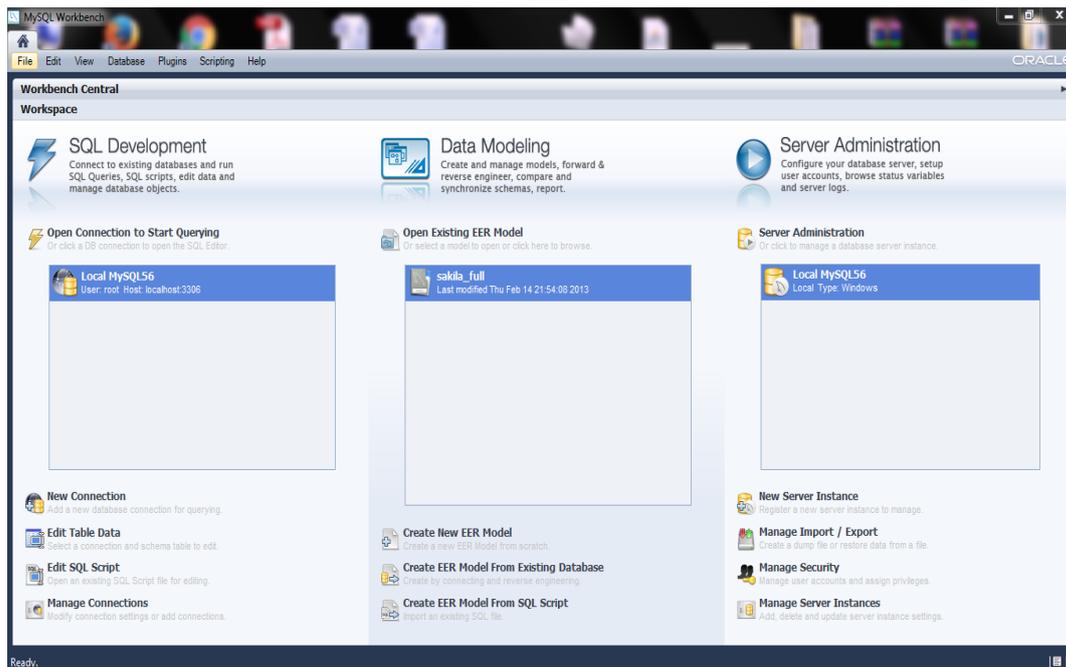


Figure 4.2. Environment MySQL.

2.3. Google Earth Pro

Pour avoir les images satellitaires des surfaces forestières, et qui sévront pour l'élaboration des cartes de densités et de types de végétations, nous nous sommes servis de l'application Google Earth Pro. Google Earth Pro est un logiciel, propriété de la société Google, permettant d'importer des images satellitaires de la terre de haute résolution, ce qui facilite l'élaboration des cartes de densités et de types de végétation.

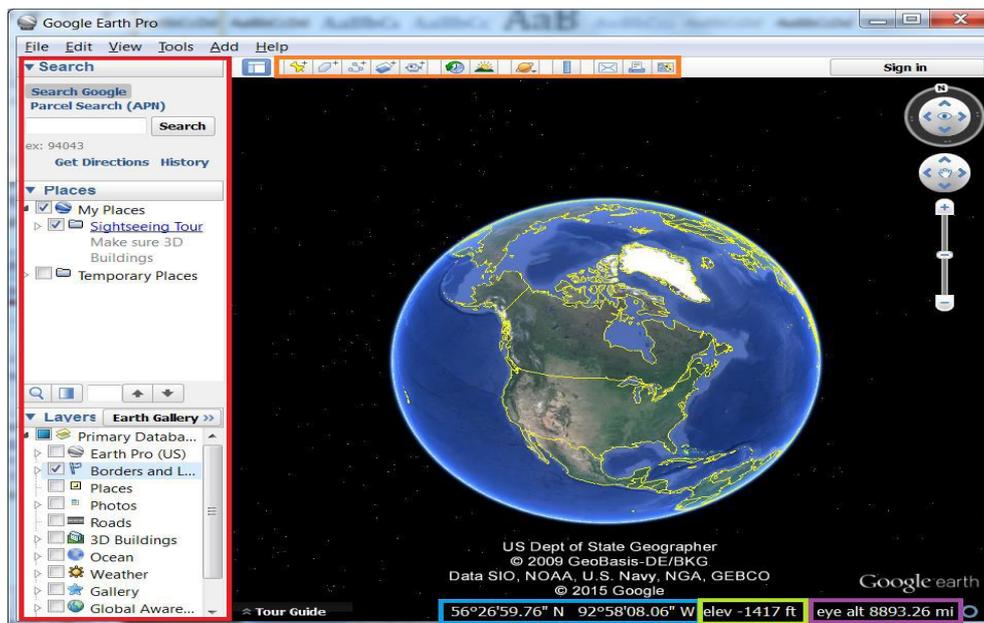


Figure 4.3. Interface du logiciel Google Earth Pro.

2.4. Le site Global Data Explorer (GDEx)

Pour obtenir les cartes topographiques des surfaces forestières, i.e. les cartes numériques d'élévation du sol, nous nous sommes servis du site l'outil Global Data Explorer (GDEx). GDEx est un effort collaboratif entre la NASA LP DAAC (Land Processes Distributed Active Archive Center) et le Centre des Sciences et systèmes d'information spatiale à l'Université George Mason [GDEx].

2.5. eCognition

Pour avoir les cartes de densités et de types de végétations des surfaces forestières, nous avons réalisé des traitements des images importées de Google Earth Pro. Le traitement d'images a été réalisé avec le logiciel Trimble eCognition. Trimble eCognition est le logiciel de traitement d'images géospatiales créé par la société allemande Définies [eCognition,2014]. L'analyse des images satellitaires avec eCognition se fait en deux étapes :

Etape 1:La segmentation : consiste à réduire l'image en segments, qui servent de blocs de construction pour une analyse plus approfondie (Figure 3.47.).eCognition donnent à l'utilisateur le choix entre plusieurs algorithmes de segmentation. Après avoir testé de nombreux algorithmes, nous avons opté pour l'algorithme multi-résolution. L'algorithme multi-résolution fusionne consécutivement des pixels ou des objets d'images existants. C'est une segmentation ascendante basée sur une technique de fusion de région par paire. La segmentation multi-résolution est une procédure d'optimisation qui pour un nombre donné d'objets d'image, minimise l'hétérogénéité moyenne et maximise leur homogénéité respective. [eCognition,2014].

Etape 2: La classification : consiste à créer des classes qui seront utilisées pour étiqueter les segments en fonction de leurs attributs. Pour les cartes de densités de végétations, nous avons créé 3 classes : clairsemé, normal et dense. Tandis que pour les cartes de types de végétation nous

avons créé les classes : Agricultural, Pin d'Alep et broussaille (Figure 4.4.). Parmi les algorithmes de classification proposés par eCognition nous avons utilisé l'algorithme du plus proche voisin : Il s'agit également d'un algorithme de classification par échantillonnage. Basé sur des échantillons définis par l'utilisateur, l'algorithme du plus proche voisin combiné avec des paramètres prédéfinis, les caractéristiques sont utilisées pour attribuer des objets aux classes. [eCognition,2014]

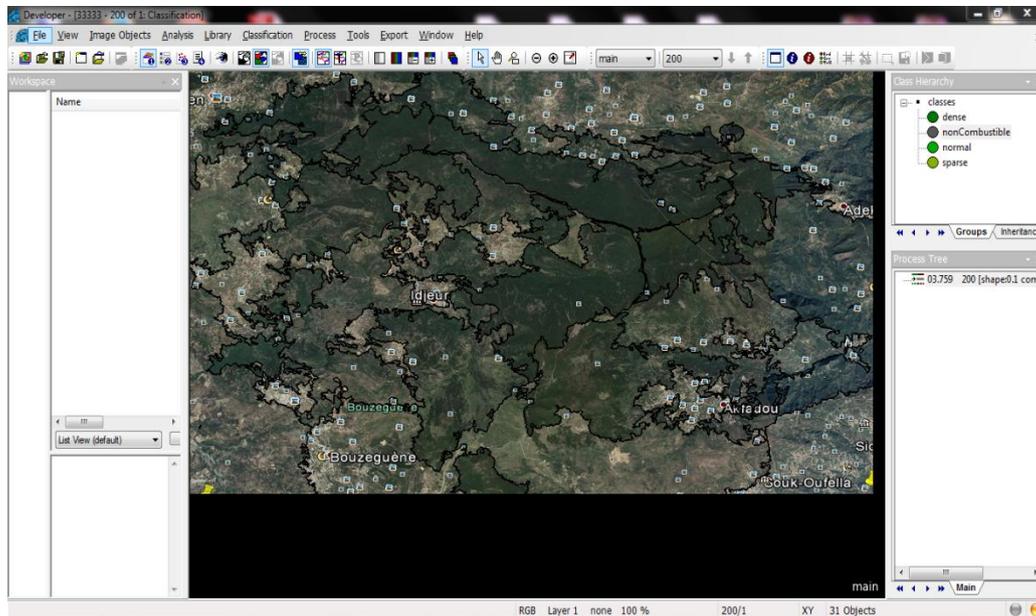


Figure 4.4. La segmentation d'une image satellitaire avec l'algorithme multi-résolution.

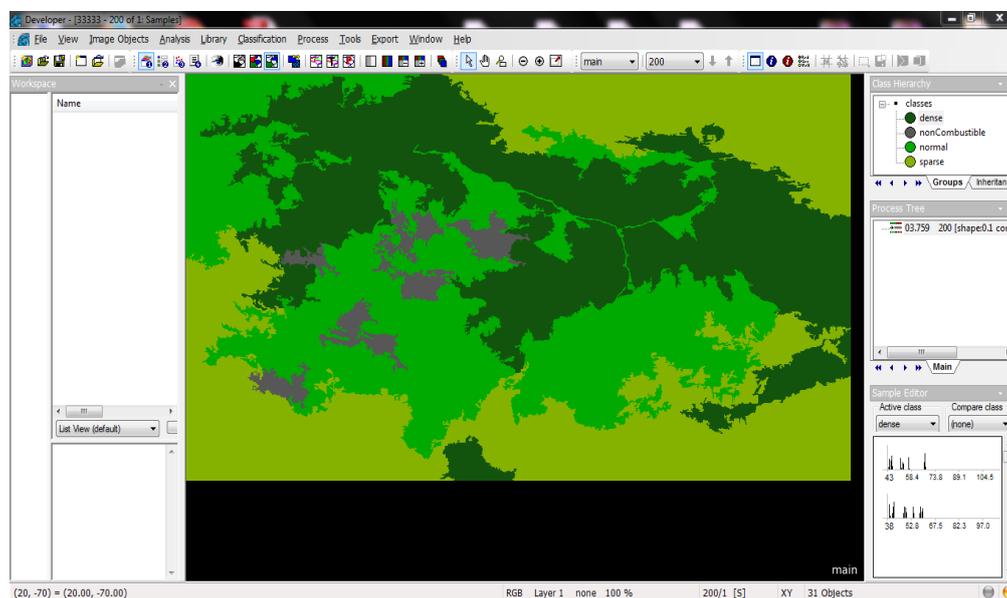


Figure 3.5. La classification avec l'algorithme du plus proche voisin.

3. Passage du diagramme de classes au modèle relationnel

Les classes entités et leurs associations du modèle du domaine seront traduit à une base de données relationnelle, qui sera sollicitée par l'application pour consultation et mise à jour. Pour ce faire nous avons appliqué les règles suivantes :

3.1. Les règles de passage

Le passage au du modèle relationnel se fait en respectant un certain nombre de règles [Audibert, 2007]:

R1: Chaque classe devient une relation. Les attributs de la classe deviennent des attributs de la relation. Si la classe possède un identifiant, il devient la clé primaire de la relation, sinon, il faut ajouter une clé primaire arbitraire.

R2: Une association 1 vers 1 (1..1) se traduit par le transfert de la clé primaire de l'une des relations dans l'autre relation où il doit figurer comme clé étrangère.

R3: Pour une association 1 vers plusieurs (1..*), on procède comme pour une association 1 vers 1, excepté que c'est forcément la relation du côté plusieurs qui reçoit comme clé étrangère la clé primaire de la relation du côté 1.

R4: Pour représenter une association du type plusieurs vers plusieurs (*..*), il faut introduire une nouvelle relation dont les attributs sont les clés primaires des relations en association et dont la clé primaire est la concaténation de ces deux attributs.

R5: Pour une classe-association plusieurs vers plusieurs, le cas est proche de celui d'une association plusieurs vers plusieurs, les attributs de la classe-association étant ajoutés à la troisième relation qui représente, cette fois-ci, la classe-association elle-même.

4. Tables de la base de données

En se basant sur les règles précédentes, nous avons converti les classes entités et leurs associations, à tables relationnelles suivantes:

Rapport

(idrapport, nom, adresse, nomSurface, adresseSurface, VitesseVent, DirectionVent, surfaceBrule, date , xDepart, yDepart, imageResultat, pdfRapport)

Surface(nomSurface, adresseSurface, cartesatellite, carteTypeVeg, carteDensité, carteTopographique, largeur, longueur, latitudeNord, longitudeOuest, latitudeSud, longitudeEst)

VitesseVent (idVitesseVent, instant, vitesse, idrapport)

DirectionVent (idDirectionVent, instant, direction, idrapport)

PointDepart (idPointDepart, instant, latitude, longitude, idrapport)

5. Présentation de l'application

L'application que nous avons développée possède pratiquement toutes les fonctionnalités décrites dans le cahier des charges (à l'exception de l'évaluation du risque). L'application est dotée

d'une interface graphique composée de fenêtres, permettant à l'utilisateur d'accéder aux différents services d'une façon conviviale. Dans ce qui suit, nous passons en revue les différentes fenêtres de notre application :

5.1. Page «Accueil»

La page d'accueil permet à l'utilisateur d'accéder à différentes fonctionnalités de l'application en cliquant sur le bouton correspondant.

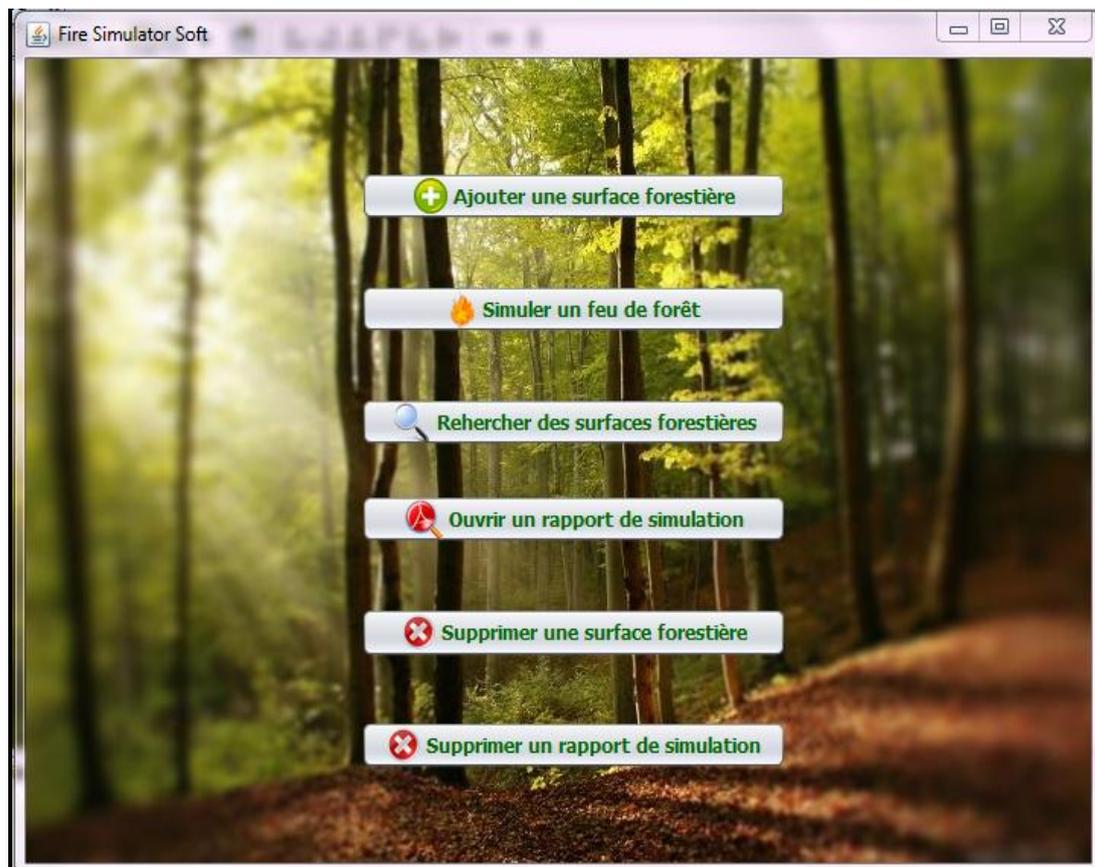


Figure 4.6. Page « Accueil » de l'application.

5.2. Page «Ajouter une Surface forestière»

Ce formulaire permet d'ajouter à la base de données les informations nécessaires pour la simulation d'un feu de forêt sur une surface forestière (adresse, coordonnées géographiques, cartes de densités et de types de la végétation, carte topographique, et carte satellitaires, etc).



Figure 4.7. Page « Ajouter une surface forestière ».

5.3. Page « Simuler un feu de forêt »

Cette page permet à l'expert d'exécuter des simulations du feu de forêt sur une surface forestière. Durant le déroulement de la simulation l'expert peut changer la direction et/ou la vitesse du vent, ou bien, la carte de visualisation (carte satellitaire, types de végétations ou densités de végétations). A la fin de la simulation, il est possible de sauvegarder le rapport de simulation dans la base de données.

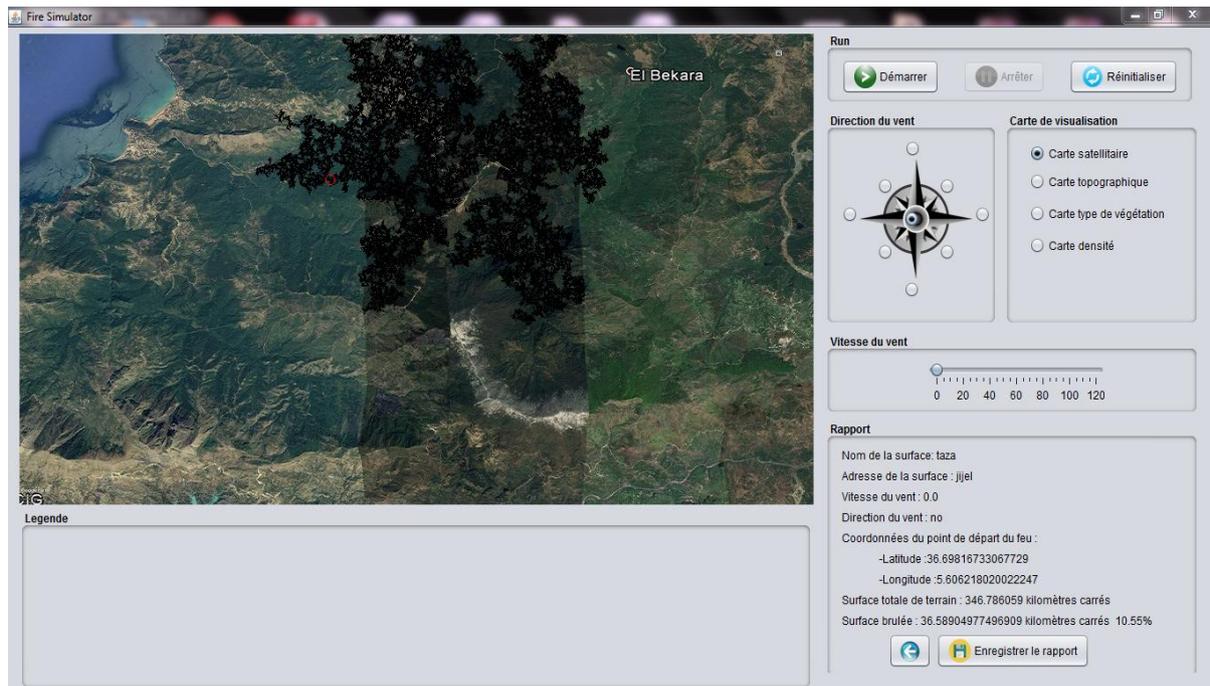


Figure 4.8. Page «Simuler un feu de forêt» : Visualisation sur la carte satellitaire.

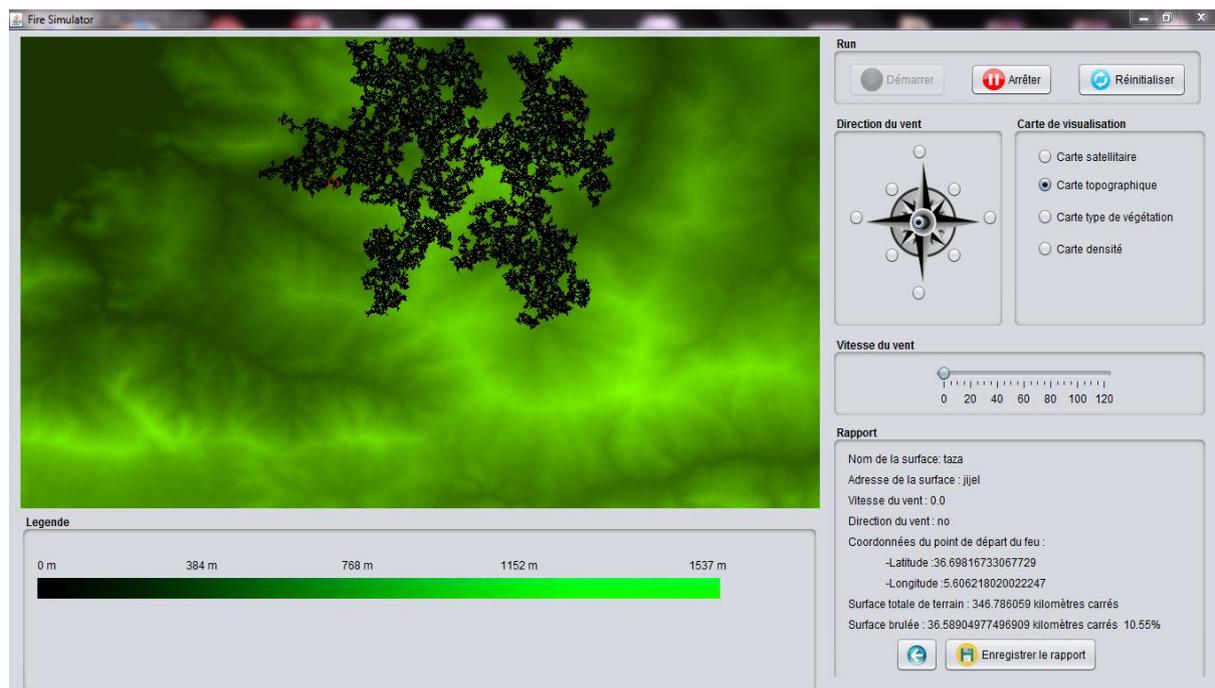


Figure 4.9. Page «Simuler un feu de forêt» : Visualisation sur la carte topographique.

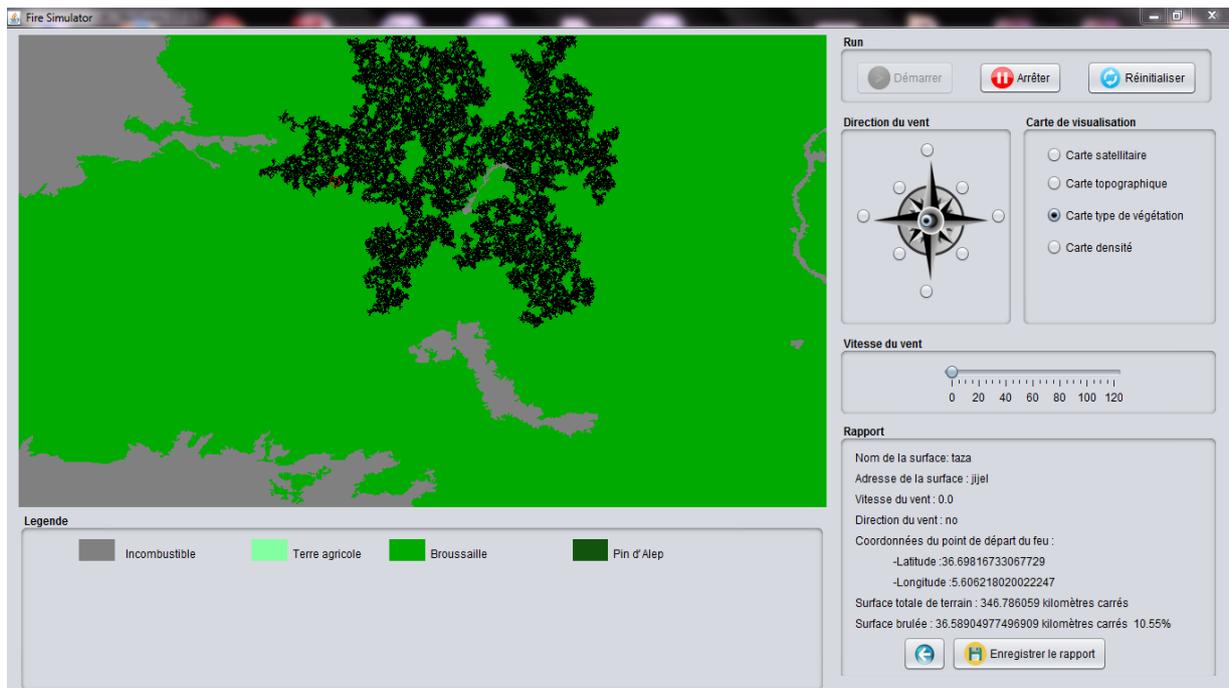


Figure 4.10. Page «Simulation» : Visualisation sur la carte type végétation.

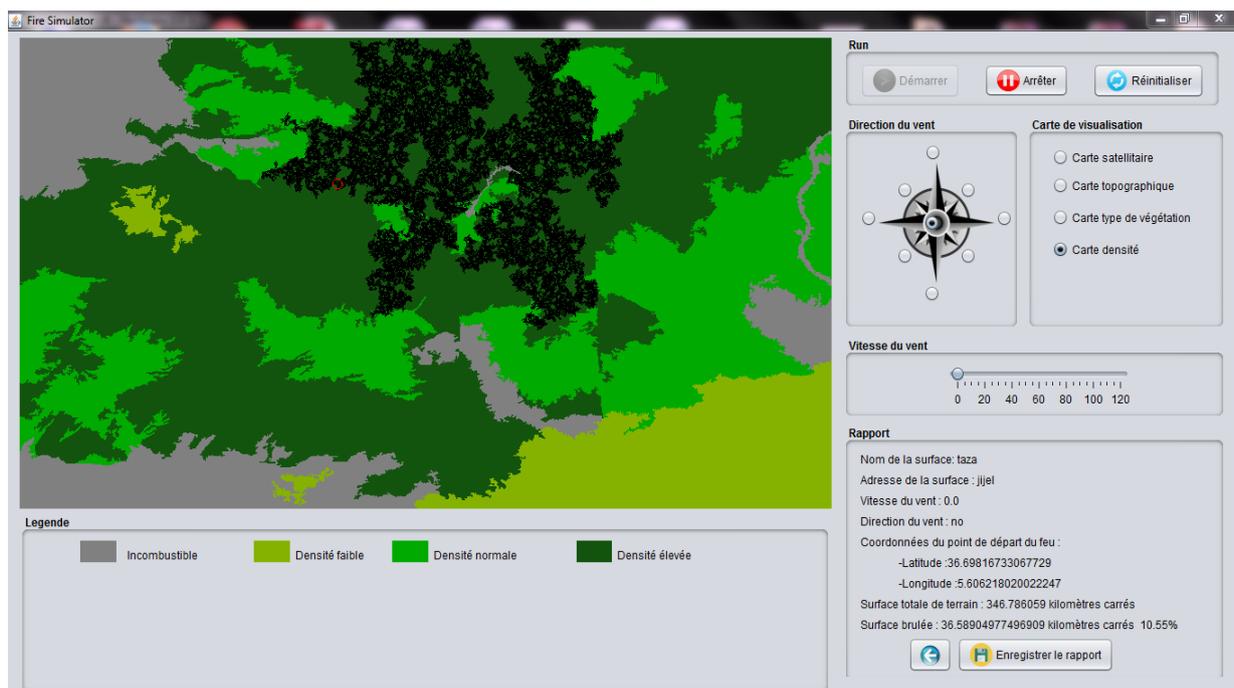


Figure 4.11. Page «Simuler un feu de forêt» : Visualisation sur la carte densité.

5.4. Page «Rechercher des surfaces forestières»

Sur cette page, l'utilisateur peut effectuer des recherches des surfaces forestières avec des mots clés ou des coordonnées géographiques.

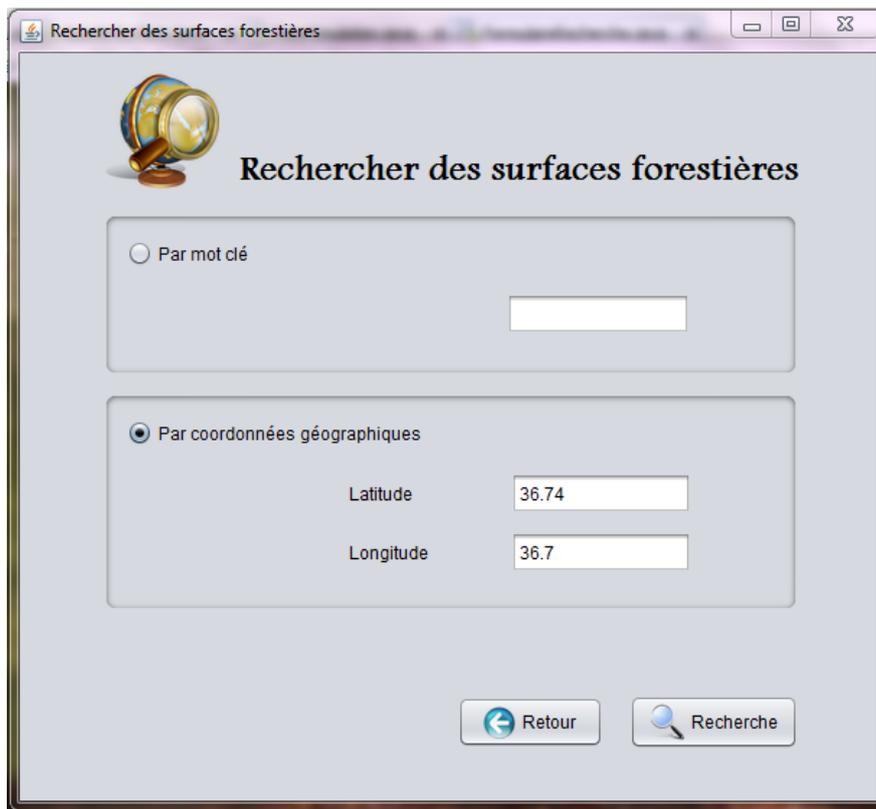


Figure 4.12. Page «Rechercher des surfaces forestières».

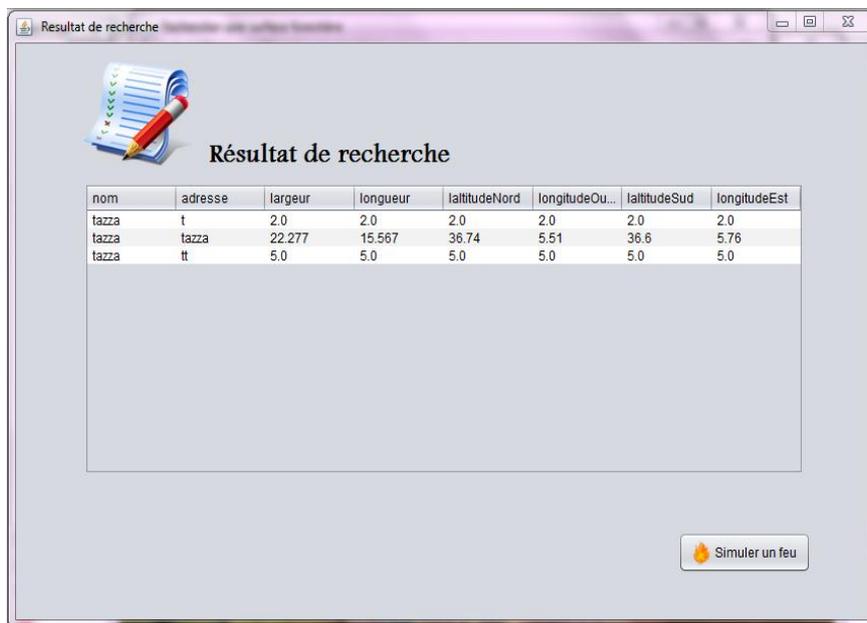


Figure 4.13. Page «Résultat de la recherche».

A partir des résultats de recherche, l'utilisateur peut sélectionner une surface et lancer une simulation.

5.5. Page «Suppression des rapports»

Permet à l'utilisateur la suppression des rapports de simulation qu'il considère inutiles. Après la suppression, un message de confirmation s'affiche.

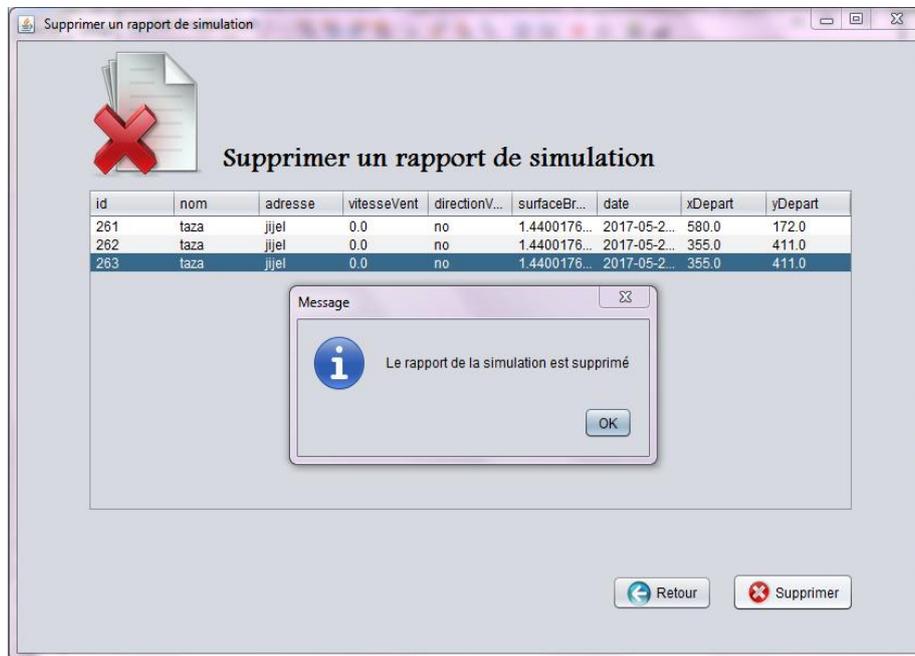


Figure 4.14. Page «Suppression de rapport».

5.6. Page «Suppression de surface forestière»

Permet à l'utilisateur la suppression de surfaces forestières de la base de données. Après la suppression, un message de confirmation s'affiche.

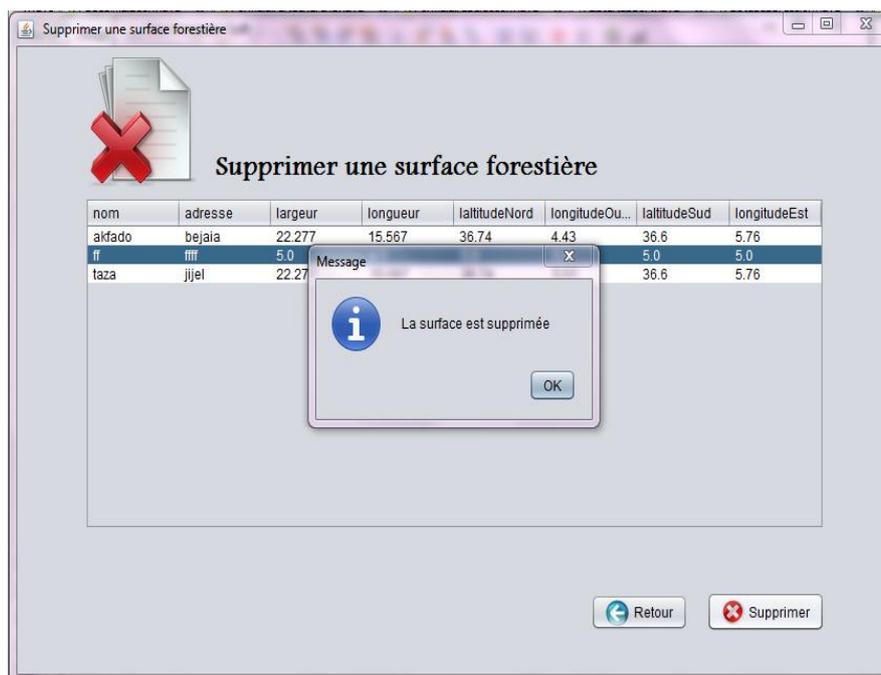


Figure 4.15. Page «Suppression de surface forestière».

6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents langages et outils que nous avons utilisés pour réaliser notre application, puis, nous avons présenté quelques interfaces de l'application réalisée. La phase implémentation nous a permis de matérialiser les résultats des phases précédentes. Cette phase nous a permis aussi d'apprendre des langages et des outils utiles pour un développeur, particulièrement dans ce domaine.

Conclusion générale

Au cours de notre projet de fin d'étude, nous avons conçu et implémenté un simulateur de feux de forêt basée sur un modèle d'automate cellulaire. Dans ce contexte, nous avons cherché à développer une application performante, riche en fonctionnalités, dotée d'une interface conviviale, et d'une visualisation animée des simulations de feux de forêts, où l'utilisateur peut facilement changer la carte de visualisation, ce qui lui permet de mieux analyser et appréhender les résultats.

Nous avons pu produire une application qui peut offrir à ce stade la plupart des fonctionnalités spécifiées dans le cahier des charges. L'application n'est pas encore à sa phase finale, mais l'essentiel a été fait, et elle reste ouverte à toute évolution. La période passée au développement de notre application, nous a été d'un apport considérable. En effet, c'est une expérience qui nous a permis d'enrichir nos connaissances dans de domaines très variés, entre autres: La modélisation et la simulation, les automates cellulaires, le langage UML et le processus UP, l'Orienté Objet et le langage Java, Le SGBD MYSQL, et le traitement d'images satellitaires avec le logiciel eCognition.

Perspectives

La fonction de l'évaluation des risques mentionnées dans le cahier des charges n'a pas été implémentée. Il est possible d'implémenter cette fonctionnalité qui permettra de calculer le risque des dégâts pour chaque zone (cellule), et ainsi, construire, une carte de risques pour une surface forestière donnée. Une autre perspective possible consiste à adapter l'application à la plate-forme Android, et ceci, pour qu'elle puisse être utilisée sur des tablettes et/ou des Smartphones par les pompiers durant la l'extinction des feux.

Références

- [Abibi, 2013] Abibi, L. (2013). Modélisation et simulation d'incendie de forêt par automate cellulaire. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 1(2), 52-63.
- [Alexandridis, 2008] Alexandridis, A., Vakalis, D., Siettos, C. I., & Bafas, G. V. (2008). A cellular automata model for forest fire spread prediction: The case of the wildfire that swept through Spetses Island in 1990. *Applied Mathematics and Computation*, 204(1), 191-201.
- [Khalil, 2011] Ali Khalil & Ali Saad (2011-2012) Simulation numérique du comportement des feux de forêt par le logiciel FARSITE.
- [Banks, 2005] Banks, J., CARSON II, J. S., & Barry, L. (2005). *Discrete-event system simulation fourth edition*. Pearson.
- [Bousquet, 2002] Bousquet, F., Le Page, C., & Müller, J. P. (2002). Modélisation et simulation multi-agent. *Deuxièmes assises du GDRI3*.
- [Colin, P., 2001] Colin, P. Y. (2001). *Protection des forêts contre l'incendie: fiches techniques pour les pays du bassin méditerranéen (Vol. 36)*. Food & Agriculture Org.
- [Conway, 1970] Conway, J. (1970). The game of life. *Scientific American*, 223(4), 4.
- [eCognition, 2014] eCognition Developer, T. (2014). *9.0 User Guide*. Trimble Germany GmbH: Munich, Germany.
- [Fontanili, 1999] Fontanili, F. (1999). *Intégration d'outils de simulation et d'optimisation pour le pilotage d'une ligne d'assemblage multi produit à transfert asynchrone (Doctoral dissertation)*.
- [GDex] <http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>
- [Jean-Pierre, 2008] Jean-Pierre, Drogoul, Alexis, y Zucker, Jean-Daniel. (2008). *Modélisation et simulation à base d'agents*. Paris: Dunod.
- [Neumann, 1966] Von Neumann, J., & Burks, A. W. (1966). Theory of self-reproducing automata. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 5(1), 3-14..
- [Pichel, 2003] Pichel, D., Dontaine, A., Iassinovski, S., Artiba, A., & Fagnart, C. (2003). *ALIX: une méthode de modélisation des flux d'un système de production*.
- [Roques, 2008] Roques, P. (2008). *UML 2: Modéliser une application web*. Editions Eyrolles.

[Yassemi, , 2008] Yassemi, S., Dragičević, S., & Schmidt, M. (2008). Design and implementation of an integrated GIS-based cellular automata model to characterize forest fire behaviour. *ecological modelling*, 210(1), 71-84.

[Zuse, 1969] Zuse K. (1969). *RechnenderRaum*, tome 1 de *ScriftenzurDatenverarbeitung* Friedrich Vieweg&Sohn, Braunschweig