

République du Cameroun  
\*\*\*\*  
Paix-Travail-Patrie  
\*\*\*\*  
Ministère de l'Enseignement Supérieur  
\*\*\*\*  
Université de Maroua  
\*\*\*\*  
Ecole Nationale Supérieure  
Polytechnique de Maroua



Republic of Cameroon  
\*\*\*\*  
Peace-Work-Fatherland  
\*\*\*\*  
Ministry of Higher Education  
\*\*\*\*  
The University of Maroua  
\*\*\*\*  
The Polytechnic National Advanced  
School of Maroua

INFORMATIQUE ET TELECOMMUNICATIONS

CRYPTOGRAPHIE ET SÉCURITÉ INFORMATIQUE

---

## CONCEPTION ET DÉPLOIEMENT D'UN MODULE DE SIGNATURE ÉLECTRONIQUE BASÉ SUR LA PKI

---

Mémoire présenté et soutenu en vue de l'obtention du Diplôme  
D'INGÉNIEUR DE CONCEPTION EN CRYPTOGRAPHIE ET SÉCURITÉ  
INFORMATIQUE

Par

**OUMAR DJIMÉ RATOU**

**Matricule : 17Y402P**

Sous la Direction de :

**Dr. KALADZAVI GUIDEDI**

Chargé de Cours

Devant le jury composé de :

*Président : M. LAOUKOURA Charles*

*Rapporteur : M. LAOUKOURA Charles*

*Examineur : M. LAOUKOURA Charles*

*ANNÉE ACADÉMIQUE: 2018/2019*

# Dédicaces

# Remerciement

# Table des matières

Introduction . . . . .	1
<b>I Présentation générale</b>	<b>2</b>
<b>1 Contexte et problématique</b>	<b>3</b>
Introduction . . . . .	3
1.1 Présentation de l'entreprise . . . . .	3
1.1.1 Historique . . . . .	3
1.1.2 Organisation générale . . . . .	3
1.1.3 Missions . . . . .	3
1.1.4 Services et Produits . . . . .	4
1.1.5 Cadre de stage . . . . .	7
1.2 Contexte . . . . .	8
1.3 Problématique . . . . .	8
1.4 Objectifs . . . . .	8
1.4.1 Objectif général . . . . .	8
1.4.2 Objectif spécifique . . . . .	9
1.5 Méthodologie . . . . .	9
<b>2 le concept de la signature électronique</b>	<b>11</b>
2.1 Généralités sur la signature électronique . . . . .	11
2.1.1 Signature . . . . .	11
2.1.2 Signature électronique . . . . .	12
2.2 Cryptographie . . . . .	15
2.2.1 Cryptographie symétrique . . . . .	15
2.2.2 Cryptographie asymétrique . . . . .	15
2.3 Infrastructure à clé publique . . . . .	15
<b>II Conception, analyse et implémentation</b>	<b>16</b>
<b>3 Analyse, Conception et déploiement du module</b>	<b>17</b>
3.1 Choix du cycle de développement . . . . .	17
3.2 Orientation et faisabilité . . . . .	19

3.3	Analyse de besoins . . . . .	20
3.3.1	Cahier de charge . . . . .	20
3.4	Budgétisation . . . . .	21
3.5	Conception architecturale . . . . .	21
3.6	Conception détaillée . . . . .	22
3.6.1	Présentation de langage UML . . . . .	22
3.6.2	Modélisation avec le langage UML . . . . .	24
3.7	Codage . . . . .	43
3.7.1	Environnement de développement . . . . .	43
3.7.2	Développement du module . . . . .	43
3.7.3	Développement de l'interface utilisateur . . . . .	43
	Conclusion . . . . .	44

# Listes des abréviations

## Résumé

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

## Abstract

Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.



Keywords ou mot clé

# Liste des tableaux

- 3.1 Description contextuelle de cas d'utilisation s'authentifier . . . . . 29
- 3.2 Description contextuelle de cas d'utilisation générer certificat . . . . . 30
- 3.3 Description contextuelle de cas d'utilisation générer paire de clé . . . . . 31
- 3.4 Description contextuelle de cas d'utilisation Signer document . . . . . 32
- 3.5 Description contextuelle de cas d'utilisation Envoyer Document . . . . . 33
- 3.6 Description contextuelle de cas d'utilisation Chiffrer/Déchiffrer . . . . . 34

# Table des figures

1.1	Situation géographique du lieu de stage . . . . .	7
2.1	Représentation graphique d'une signature . . . . .	11
2.2	Schéma d'utilisation de la signature numérique . . . . .	13
3.1	Modèle de cycle en V . . . . .	18
3.2	Architecture Client Serveur . . . . .	22
3.3	différentes vues du formalisme UML . . . . .	23
3.4	Diagramme de cas d'utilisation général . . . . .	25
3.5	Diagramme de cas d'utilisation d'administrateur . . . . .	26
3.6	Diagramme de cas d'utilisation d'utilisateur . . . . .	27
3.7	Diagramme de cas d'utilisation de système externe . . . . .	28
3.8	Diagramme de classe . . . . .	35
3.9	Diagramme de packages . . . . .	36
3.10	Diagramme de séquence de cas d'utilisation s'authentifier . . . . .	37
3.11	Diagramme de séquence de cas d'utilisation générer key . . . . .	38
3.12	Diagramme de séquence de cas d'utilisation générer certificat . . . . .	39
3.13	Diagramme de séquence de cas d'utilisation signer document . . . . .	40
3.14	Diagramme de séquence de cas d'utilisation chiffrer/déchiffrer . . . . .	41
3.15	Diagramme de séquence de cas d'utilisation envoyer document . . . . .	42
3.16	Diagramme de séquence de cas d'utilisation envoyer document . . . . .	43

---

# Introduction

# Première partie

## Présentation générale

# Chapitre 1

## Contexte et problématique

### Introduction

DANS ce chapitre de la première partie, nous présentons l'entreprise où nous avons effectué notre stage académique à savoir ITS. Nous parlerons ensuite du contexte relatif à notre sujet de stage de fin d'étude, nous terminerons par une mise en évidence de la problématique liée à ce contexte et les objectifs à atteindre.

### 1.1 Présentation de l'entreprise

#### 1.1.1 Historique

ITS est une entreprise spécialisée dans la protection des systèmes d'informations, la sécurité informatique et la cryptologie de droit camerounais dont le siège générale se trouve à Yaoundé-Cameroun BP : 8570, plus précisément à Byem-Assi dans le 6<sup>me</sup> arrondissement du département de MFOUNDI. Elle commence ces services depuis 2008.

#### 1.1.2 Organisation générale

#### 1.1.3 Missions

ITS est une entreprise résolument tournée vers l'innovation et en constante croissance. La mission d'ITS est de fournir à toute les entreprises et organismes publics, quelle que soit leur taille, les solutions des outils cryptographiques, de sécurité réseaux et de sécurités de systèmes d'informations le plus performant du marché. ITS fondé en 2008, est une entreprise leader dans le domaine de cryptographie et de sécurité des systèmes d'informations au Cameroun. Les solutions apportées par ITS permettent à leurs clients d'avoir l'assurance qu'une faille de sécurité ne menacera jamais leurs activités. Ils peuvent donc consacrer totalement à leur croissance, car ces solutions les protègent efficacement contre les risques et les menaces informatiques. D'ailleurs sa réputation tient à la qualité des solutions de sécurités qu'elle met en place depuis sa création. Celles-ci intègrent les fonctionnalités essentiels suivantes :

- prévention d'intrusion (IDS),
- par-feu,
- protection antivirale et antispware,
- filtrage antispam et de contenu,
- PKI (Public Key Infrastructure),
- mobilité sécurité VPN,
- outils cryptographiques,
- etc.

Et enfin elle édifie les personnels des entreprises à travers de conférences, séminaires et webinaires et forme les intéressés dans plusieurs domaine de la sécurité informatique en vue de l'obtention de certificat à la fin de chaque formation.

#### 1.1.4 Services et Produits

Entreprise ITS renferme plusieurs services, E-services et une centre de formations :

##### SéVICES

Les services sont :

- **Sécurité des SI** : Aujourd'hui l'implémentation des technologies de l'information et de la communication engendre les problèmes de types nouveaux de sécurité des informations sensibles,des infrastructures et organisations mises en place. Ainsi le contrôle et la gestion du risque informationnel dans ces nouveaux systèmes deviennent indispensables pour le bon fonctionnement et même l'existence de ces derniers.
- **Investigation Numériques** :La cybercriminalité gagne du terrain avec la globalisation des systèmes d'information et l'intensification de leur utilisation dans tous les domaines d'activités de l'homme. La coopération internationale ne promet pas de résultats intéressants en même temps que les cybercriminels exploitent de mieux en mieux les technologies d'attaques disponibles, et ceci dans des conditions de partage d'expériences très bonnes. La police et les services de sécurité traînent le pas même si la législation permettant de combattre le fléau prend corps. La loi ne peut être efficace que si la preuve numérique du crime commis est à la disposition de la justice.
- **Audit des SI** :L'utilisation des systèmes d'information de plus en plus complexes et leur implémentation dans le contrôle et la gestion des processus sensibles imposent une normalisation visant la conformité de tous les systèmes d'information selon l'activité et le métier dans le but de mieux maitriser le risque qu'engendre le système d'information dans

le fonctionnement de toute organisation. Ainsi l'audit des systèmes d'information comme activité visant à mesurer le niveau de conformité d'un système d'information par rapport à des règles bien définies et à examiner le niveau de dérive du système par rapport à ces standards aide à anticiper sur les problèmes et à proposer les solutions pour y remédier avant même l'occurrence d'incidents.

- **Gouvernance des SI** : Toute activité nécessite un système de gouvernance solide et efficace pour s'assurer de la pérennité de cette dernière, ainsi que de l'atteinte des objectifs fixés au départ. Le système d'information ne s'aurait faire exception à cette règle, au contraire nécessite plus d'attention dans ce sens car complexe et indispensable pour toute entreprise. Les investissements faits pour son système d'information doivent se justifier non pas par un besoin simple, mais au moyen d'une étude préalable présentant le gain retour sur cet investissement par la création et l'exploitation des services liés à l'investissement en question.

## E-Services

Dans les e-services on a plusieurs catégories :

1. **Web conférences** : rencontre internationale de Yaoundé sur la gestion du secret, l'usage de la cryptographie (Science du secret) dans la protection de l'information stratégique, la maîtrise des méthodes, moyens et systèmes de protection de l'information.
2. **Web séminaires**
  - **webinaire<sup>1</sup> Protection d'informations stratégiques** : Cette formation a pour objectif, la maîtrise des techniques de sécurisation et protection des informations stratégiques, ainsi que l'étude des mécanismes de protection de données sensibles.
  - **webinaire : Audit informatique** : Le but de la formation est la maîtrise des notions et techniques d'audit des systèmes d'information, ainsi que l'étude des cas selon une démarche spécifique.
3. Web consultations
4. E-Catalogue

## Formations

Le centre de formation ITS est un centre de formation de référence spécialisé dans les modules de formation suivants :

- sécurité des systèmes d'information ;

---

<sup>1</sup>Webinaire est un mot-valise associant les mots web et séminaire, créé pour désigner toutes les formes de réunions interactives de type séminaire faites via internet généralement dans un but de travail collaboratif ou d'enseignement à distance



- investigations numériques ;
- audit des systèmes d'information ;
- gouvernance des systèmes d'information ;
- développement informatique ;
- infographie.

Les formations ont un cycle de douze mois soit neuf mois de cours et trois mois de pratique en entreprise. Le centre de formation CF-ITS est agréé par le MINEFOPE (Ministère de l'Emploi et de la Formation Professionnelle) et donc délivre les certificats de fin de formation conformément à la réglementation en vigueur. En marge des formations dans les salles.

Le centre donne l'accès gratuit et illimité aux forums et discussions via le portail web linkedin ([www.linkedin.com](http://www.linkedin.com)) avec un nombre illimité d'experts internationaux du domaine de la cybercriminalité, cybersécurité, et investigation numériques, gouvernance et audit des systèmes d'information.

## Certifications

ITS offre également des certifications suivantes :

1. Certification Professionnelle Nationale (MINEFOP)
  - Sécurité des systèmes d'Informations
  - Investigations numériques
  - Audit des systèmes d'information
  - Gouvernance des systèmes d'information
2. Certification Professionnelle Internationale (ISACA)
  - CISM - Certified Information Security Manager
  - CISA - certified Information Systems Auditor
  - CRISC - Certified in Risk and Information Systems Control
  - CGEIT-Certified in Governance of Enterprise IT
3. Certification Professionnelle Internationale (CISCO)

## Produits

L'entreprise a mis à la disposition de tout le monde des logiciels gratuits, on peut citer entre autres les logiciels suivants :

- Utilitaire de désinstallation d'antivirus **AVAST**,

- Logiciel de calcul de l’empreinte numérique des fichiers,
- Calcul du hash code des fichier par **MD5**,
- Logiciel d’**EBIOS**,
- Logiciel de stéganographie,
- **Ntop** - Logiciel de **monitoring** du réseau.

Et des logiciels payants :

- Logiciel de récupération de mots de passe,
- etc.

### 1.1.5 Cadre de stage

On a effectué notre stage au sein de la direction général de l’entreprise, elle se trouve dans le quartier **Biyem-Assi** dans la ville de Yaoundé, département de MFOUNDI plus précisément situé en plein cœur du 6e arrondissement. Leur direction se trouve dans l’**Avenue Biyem-Assi** à côté de **Pharmacie Les Béatitudes**.

#### Situation géographique

La figure ci-dessous présente l’emplacement de notre lieu de stage réalisé grâce au service du géant Google **Google Map**.

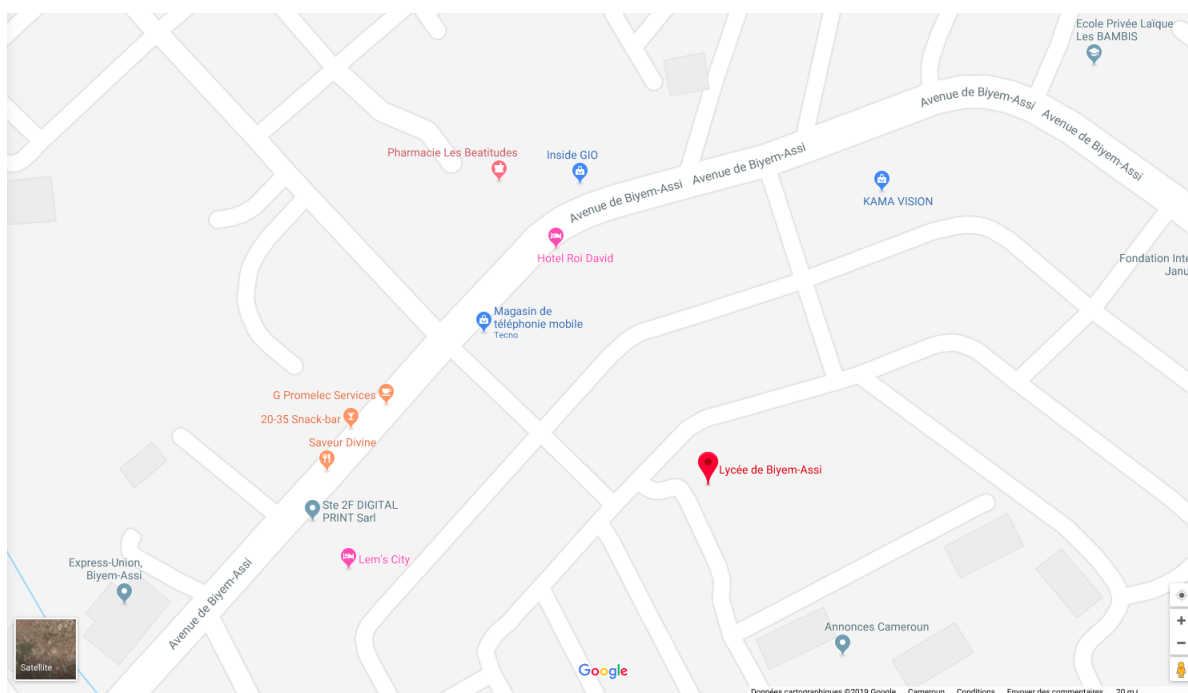


FIGURE 1.1 – Situation géographique du lieu de stage

## 1.2 Contexte

La création des signatures électroniques basé sur les infrastructures à clé publiques que sa soit avec OpenSSL ou d'autres se font soit en console, soit d'utiliser des outils propriétaires tels que :

- Word pour Microsoft,
- Adobe Reader de l'entreprise Adobe,
- DocuSign,
- Eversign,
- Yousign,

soit d'aller chez une Autorité de Certification (AC) pour générer un certificat, qui sont complexes et coûteux pour les utilisateurs et surtout à ceux qui débutent en développement des applications et en sécurité informatique. Et encore malheureusement ils sont déjà intégrés dans leurs applications complètes, donc pas des moyens de les réutiliser dans d'autres logiciels comme des modules.

Par ailleurs d'autres ne sont pas dans les systèmes d'exploitation libre(open source) comme Linux, par exemple **Word** de Microsoft et **Adobe Reader** ne fonctionnent pas sous Linux.

## 1.3 Problématique

Les problèmes qui surviennent souvent dans les entreprises en particulier et chez les développeurs en général c'est la disposition des programmes modulaires pour intégrer facilement dans leurs plates-formes en fin de gagner en temps et en l'argent (surtout pour les entreprises). Ces nécessités nous amènent à nous poser les questions suivantes :

- Comment peut-on rendre cette difficulté de signer un document de manière transparente ?
- Comment faciliter le développement d'un outil informatique au sein de l'entreprise ?
- Comment développer un module multi-plateforme ?

## 1.4 Objectifs

### 1.4.1 Objectif général

L'objectif principal de notre projet est d'offrir à l'entreprise et toute personne désirant signer un document électroniquement, un outil de signature électronique modulable.

### 1.4.2 Objectif spécifique

De façon spécifique, il sera question pour moi de gérer les problèmes spécifiques liés aux :

- Création d'une signature des documents numériques (texte, son, vidéo, PDF, etc.) en se basant sur les infrastructures à clé publique ou PKI,
- automatisation de la création des signatures numériques,
- vérification de la signature de document numérique,
- prouver l'authenticité d'un signataire,
- faciliter à l'entreprise lors d'un besoin d'un module de signature électronique,
- génération des clés et chiffrement/déchiffrement des données,
- rendre la vie facile au développeur qui ne maîtrise pas forcément la notion de cryptographie qui se cache derrière la signature numérique, d'intégrer ce module dans son plate-forme.

Ainsi les utilisateur avertis pourront juste l'importer dans leurs programmes et l'utilisé facilement. Tout ce qu'un utilisateur doit connaître c'est le nom de la méthode qu'il veut appeler avec sa signature (les paramètres de la méthode) et la méthode retournera le résultat voulu. Il y'aura une commande d'aide si l'utilisateur ne connais pas le nom de la méthode avec sa signature(paramètre) et une manuelle bien documenté avec des exemples d'utilisations.

## 1.5 Méthodologie

Pour atteindre ces objectifs, nous proposons à l'entreprise la conception et le déploiement d'un module de signature électronique basé sur l'infrastructure à clé publique (PKI). Nous allons suivre le cheminement de la conception dont les grandes étapes sont suivantes :

1. L'analyse des besoins du client qui débouchera sur l'élaboration d'un cahier de charges ;
2. La conception du système qui débouchera sur la modélisation des différentes vues du système ;
3. L'implémentation logicielle qui est le codage proprement dit des différents éléments du système ;
4. Et enfin nous procéderons au déploiement, aux tests et validation.

## Conclusion

Dans ce chapitre de la première partie nous avons présenté le contexte et la problématique liés à notre thème et les services et produits que proposent ITS. En énumérant les problèmes que rencontre l'entreprise, les développeurs et les usagés lors de la signature électronique des documents numérique que nous proposons de résoudre par la mise en place de la conception et déploiement d'un module de signature électronique en se basant sur la infrastructure à clé publique. Dans le chapitre suivant, nous présenterons les généralités liés à la signature électronique en particulier et la cryptographie en générale.

# Chapitre 2

## le concept de la signature électronique

### Introduction

Dans ce chapitre nous allons mettre en évidence les concepts générales sur la signature électronique. Ensuite nous donnerons une idée générale sur la procédure ou la mécanique de la signature électronique dans sa vue globale et les différentes méthodes peuvent intervenir pour la rendre encore plus sûre. Donc nous allons présentés premièrement les généralités sur la signature numérique en soulignant son rôle ainsi que les différents technologie qui interviennent.

### 2.1 Généralités sur la signature électronique

Pour mieux savoir ce que c'est une signature électronique, nous parlerons de ce qu'on entend par signature. **C'est quoi une signature ?**

#### 2.1.1 Signature



FIGURE 2.1 – Représentation graphique d'une signature

#### Définition

La signature est le graphisme par lequel une personne s'identifie dans un acte et, par lequel elle exprime son approbation au contenu de ce document. La validité de tout engagement

est subordonné à l'existence de cette signature manuscrite qui confère au document sa force probatoire.

La signature peut également être le révélateur d'une maladie ou d'un acte (parfois criminel) commis par un individu, dans le sens où elle permet d'identifier clairement la maladie, ou l'auteur de l'acte en question. Une signature a donc pour but de permettre une identification. Le paraphe est la marque visuelle abrégée de la signature complète.

La figure 2.1 est la représentation graphique d'une signature dite manuscrite, son utilisation est faite soit sur les documents physiques soit sur les documents numériques de façon claire c'est à dire visible à l'œil nu, c'est qui est exposé au faux, falsification etc, des signatures d'autrui.

### **Faux et usage de faux en signatures.**

Imiter la signature d'un individu sur un document, même si la signature imitée ne ressemble en rien la signature officielle de la personne lésée, peut constituer un délit de faux et usage de faux et d'usurpation d'identité, ainsi que d'autres délits répertoriés dans le code civil ou pénal : arnaque, escroquerie, vol de biens, de droits, vol d'identité, détournement de fonds, d'héritage, etc.

Même avec autorisation verbale ou procuration écrite, le signataire doit impérativement y apposer sa propre signature sans imiter celle de la personne ayant autorisé l'acte. Autrement, on parlerait d'imitation, d'usurpation de signature.

Mais le faux en signatures le plus habituelle se fait sans autorisation ni procuration, tout simplement par abus de confiance, par abus de faiblesse.

C'est le cas des contrats de crédits en ligne signés à la place et à l'écart des conjoints, les chèques bancaires signés à la place et majeurs, souvent placés sous tutelle, les documents administratifs signés à la place d'un proche pour accélérer les procédures ou le tenir à l'écart, etc.

Les procédés utilisés par les faussaires sont nombreux, étant souvent très difficiles à identifier. On peut évoquer l'imitation manuelle, plus ou moins réussie, le faux par décalquage, la photo-composition physique ou numérique, ainsi que l'imitation de fantaisie, ou le résultat ne comporte aucune ressemblance par rapport à la vraie signature de la victime.

On peut constater que les risques de falsification de signature manuscrite sont énormes, pour palier à ces problèmes on a une autre manière de signer les documents numériques de façon totalement transparente. Bien sûr il s'agit de la signature numérique.

### **2.1.2 Signature électronique**

À présent voyons voir ce que c'est une signature numérique (dite aussi électronique).

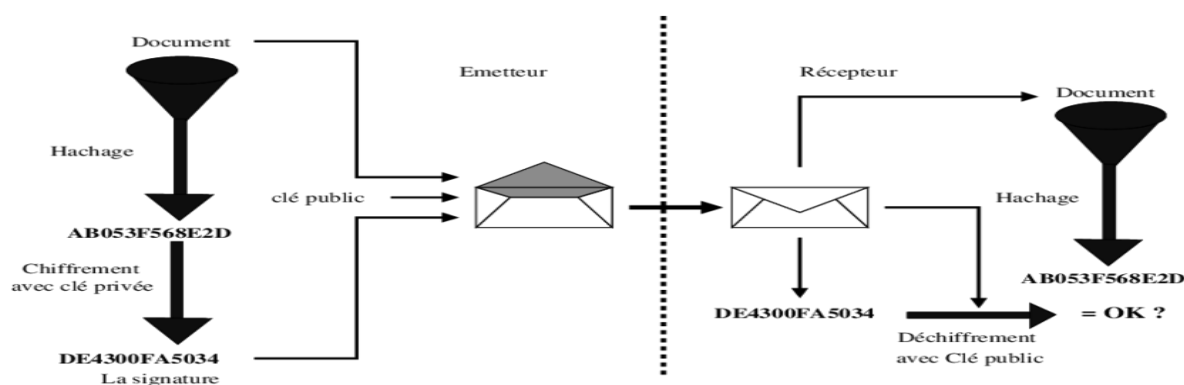


FIGURE 2.2 – Schéma d'utilisation de la signature numérique

Source d'image :<sup>1</sup>

### Qu'est-ce que la signature électronique ?

Cette question, qui semble pourtant basique, est au coeur du débat. Car avant de l'adopter, encore faut-il savoir de quoi il s'agit concrètement. Avant toute chose, il est important de comprendre ce que la signature électronique n'est pas, et surtout de couper court à certaines croyances populaires : en l'occurrence, la signature électronique n'est pas un « scan » de la signature manuscrite[?]. Ceci étant précisé, **qu'est-ce que la signature électronique alors ?**

### Définitions

La signature électronique (dite aussi signature numérique) est un processus, utilisant des mécanismes de cryptologie, permettant de garantir l'intégrité d'un document électronique et d'en authentifier l'auteur, par analogie avec la signature manuscrite d'un document papier.

La signature numérique constitue la forme de signature électronique la plus avancée et sécurisée. Vous pouvez l'utiliser pour vous conformer aux dispositions réglementaires et juridiques les plus strictes, car elle offre les niveaux de garantie les plus élevés sur l'identité des signataires et l'authenticité des documents qu'ils signent.

Les signatures numériques utilisent un identifiant numérique basé sur un certificat délivré par une autorité de certification ou un prestataire de services de confiance accrédité. Ainsi, lorsque vous signez numériquement un document, votre identité vous est associée de manière exclusive, la signature est liée au document par cryptage, et tout peut être vérifié à l'aide d'une technologie sous-jacente appelée l'infrastructure à clé publique.

En résumé, la signature électronique est un procédé technique dans lequel une personne (le signataire) appose son accord à valeur juridique sur un document électronique. Dans un cas (électronique) comme dans l'autre (manuscrite), il y a donc réunion de 3 items : le document, le signataire et l'outil de signature[?].



Ce dernier point représente généralement la plus grande difficulté de compréhension au non-initié. Car si l'outil nécessaire à la signature manuscrite n'est ni plus ni moins qu'un stylo, les outils de signature électronique sont multiples, autant que les moyens techniques nécessaires à leur réalisation. Concrètement, il s'agit dans la majorité des cas d'un certificat numérique porté sur différents supports (carte à puce, clé USB, carte d'identité, PC, smartphone, etc.) et qui a pour fonction d'identifier le signataire d'une part, et de sceller le document pour en garantir l'intégrité d'autre part.

### **La signature numérique a-t-elle la même valeur juridique que la signature manuscrite ?**

La signature électronique a été introduite dans le droit français par la loi du 13 mars 2000[?]. Elle dispose des mêmes prérogatives et engage le consentement du signataire de la même façon que la signature manuscrite, sous réserve de « l'usage d'un procédé fiable d'identification garantissant son lien avec l'acte auquel elle s'attache », selon l'article 1367 du Code Civil.

Mais elle va encore plus loin que la signature manuscrite : en scellant l'ensemble du document lors de son apposition, elle en garantit l'intégrité, c'est-à-dire l'état précis, au moment de l'engagement du consentement par le signataire. Un peu comme si l'on paraphait chaque lettre ou chaque ponctuation d'un document papier ! En d'autres termes, la signature électronique profite non seulement de la même valeur juridique que la signature manuscrite, mais elle est aussi beaucoup plus sécurisante pour toutes les parties.

### **Rôle de signature électronique**

Typiquement, dans un monde où n'importe quel cybercriminel<sup>2</sup> peut usurper l'adresse email d'un contact et envoyer des courriers malveillants et des documents infectés en son nom, la signature électronique joue un rôle clé dans la sécurisation des échanges. Si un contact signe systématiquement tous les courriers qu'il envoie, la réception d'un courrier non signé de sa part est un signe d'usurpation. D'une façon similaire, signer un document permet d'en assurer l'authenticité et l'origine puisque l'opération est datée, que le créateur est authentifié et que la non-répudiation ne permet pas d'en modifier l'origine.

Mais la signature d'un document ne cherche pas uniquement à authentifier son créateur ou son expéditeur. Elle garantit aussi l'intégrité de ce document. Et cette garantie devient de plus en plus nécessaire dans un monde connecté où les malwares<sup>3</sup> peuvent modifier des documents et où des cybercriminels peuvent être payés, par des concurrents par exemple, pour venir altérer à votre insu des documents et vous mettre en situation délicate.

Les signes de validation apposés sur un document existent depuis des millénaires (exemple :

---

<sup>2</sup>Homme qui commet un crime à l'aide d'outils informatiques, notamment en piratant des données existantes sur Internet afin d'obtenir illégalement de l'argent ou un quelconque profit.

<sup>3</sup>Le malware est la contraction des termes anglais malicious et software. Il désigne un logiciel malveillant s'attaquant aux ordinateurs, terminaux mobiles et objets connectés

les sceaux). En France, c'est une ordonnance royale de 1554 qui a institué l'apposition de la marque autographe du nom propre sur les actes notariés[?].

La signature est présentée comme indispensable pour authentifier un document. Elle permet au lecteur d'identifier la personne et l'organisme qui l'a émis. Elle apporte de la confiance dans l'environnement numérique, la confiance dans le signataire et dans le contenu de l'information.

La signature électronique est un mécanisme permettant de garantir l'intégrité d'un document électronique et d'en authentifier l'auteur, par analogie avec la signature manuscrite d'un document papier.

Cependant elle se différencie de la signature écrite par le fait qu'elle n'est pas visuelle : l'identification ne repose sur aucun élément graphique.

## 2.2 Cryptographie

### 2.2.1 Cryptographie symétrique

### 2.2.2 Cryptographie asymétrique

## 2.3 Infrastructure à clé publique

## Conclusion

## Deuxième partie

### Conception, analyse et implémentation

# Chapitre 3

## Analyse, Conception et déploiement du module

### Introduction

Une fois que la présentation des concepts liée à notre projet est faite, nous allons effectuer l'analyse et la conception de notre module de signature électronique. Pour cela, nous effectuerons premièrement le choix de cycle de vie de développement d'un logiciel qui nous convient, deuxièmement nous procéderons à l'analyse de besoins, ensuite nous ferons la conception proprement dite et enfin nous terminerons par l'implémentation du système.

### 3.1 Choix du cycle de développement

Le cycle de vie d'un logiciel indique les étapes par lesquelles doit passer un logiciel de sa conception jusqu'à sa mort. Ce cycle de vie permet de détecter les erreurs tout au long du processus de réalisation et ainsi les corriger pour produire un logiciel de qualité, maîtriser les délais de sa réalisation et les coûts associés. Le cycle de vie d'un logiciel comprend généralement les étapes suivantes :

1. **Pré-étude** : Cette étape permet de définir les objectifs du projet de définir le domaine d'activité. Les questions posées sont : **Quoi ?**, **Combien ?** et **Quoi ?**

*En entrée, on a les besoins et en sortie on a un cahier de charges.*

2. **Analyse** : Cette consiste à recueillir les informations et formaliser les besoins du client, de définir les contraintes et d'estimer la faisabilité de ces besoins. La question à poser est : **que fait le système ?**

*En entrée, on a le cahier de charge et en sortie on a le dossier d'analyse.*

3. **Conception** : Cette étape permet d'élaborer la structure générale du système et de définir chaque sous-ensemble de logiciel à produire. La question à poser est : **comment faire ce qu'il est demandé de faire ?**

*En entrée, on a le dossier d'analyse et en sortie on a un dossier de conception.*

4. **Codage** : Cette étape consiste à coder ou à programmer les fonctionnalités définies dans la phase de conception.

*En entrée, on a le dossier de conception en sortie on a des programmes.*

5. **Tests** : Cette étape permet de tester le logiciel conformément aux spécifications (fonctionnelle ou non fonctionnelle). Il existe quatre types de tests à savoir : **le test unitaire, le test d'intégration, le test fonctionnel et le test de validation.**

6. **Réception** : Cette étape permet au client de vérifier la conformité de logiciel avec les spécifications initiales.

*En entrée on a un logiciel plus un cahier de charge et en sortie on a un procès verbal de réception (acceptation ou refus du livrable).*

7. **Maintenance** : Cette étape permet de prendre en charge les actions collectives du système (Maintenance collective et évolutive).

*En entrée on a un logiciel et en sortie on a un logiciel modifié.*

Nous avons vu quelles sont les étapes clés dans le cycle de vie d'une application. Afin d'obtenir un résultat optimal, il est conseillé de suivre cette démarche qui peut subir des améliorations[?]. Il existe plusieurs modèles de cycle de vie à savoir : le cycle en cascade, le cycle en V, le cycle en spirale, le cycle semi-itératif mais dans notre cas on a décidé de suivre le modèle du cycle en V.

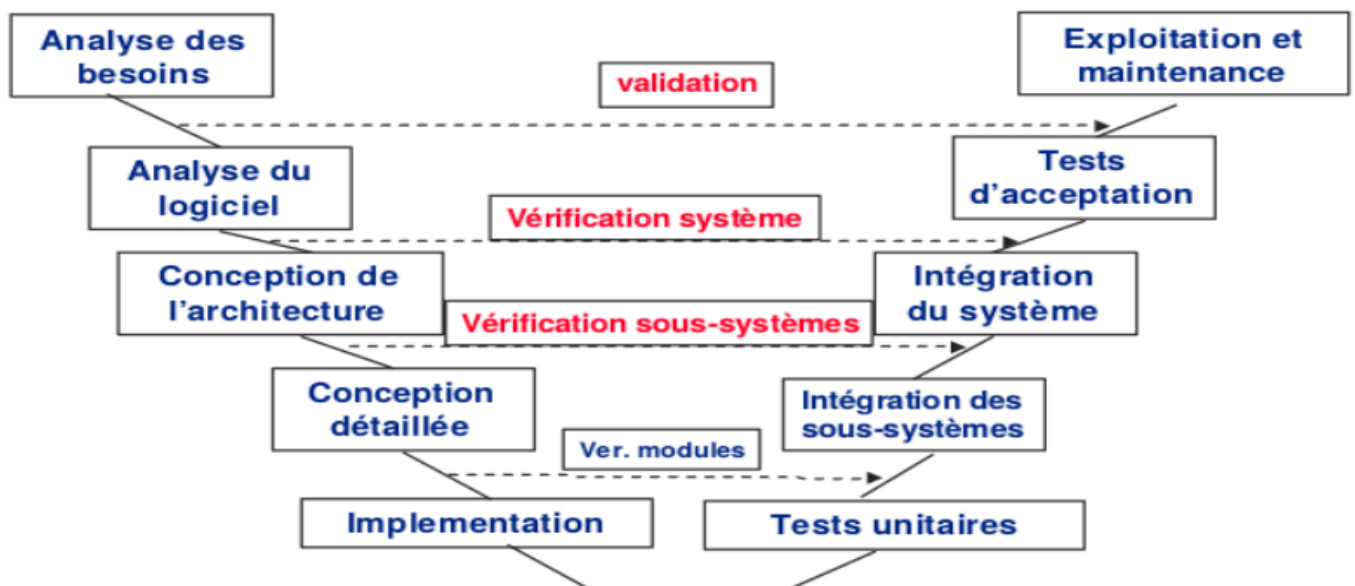


FIGURE 3.1 – Modèle de cycle en V

### Pourquoi cycle en V ?

Il est introduit en 1997. La version actuelle est désignée de **V-Modell XT** (depuis février 2005). Cette méthode consiste en un modèle pour la planification et le développement de logiciel[?]. Le

modèle V répond à quatre requête importantes de développement : **Who ? What ? When ? How ?**

L'on peut poser la question comme suit : **Who has to do what, when, and how within a project ? Qui doit faire quoi, quand et comment dans un projet ?** Cette question est capital lors de la construction d'un logiciel.

Par ailleurs, dans le modèle V, le fond réalise l'implémentation. La branche gauche définit les différentes spécifications. La branche droite crée des corrélations avec la partie gauche à savoir la validation du système, la vérification système et du logiciel.

L'accent est mis sur la réduction des erreurs. La branche droite permet en général la détection rapide des erreurs et des anomalies présents dans la partie gauche et entreprend des mesures adéquates pour les corriger. Et en plus, la finalité de cycle de vie en V consiste à parvenir sans incident à livrer un logiciel totalement conforme au cahier des charges[?]. Voilà pourquoi nous avons choisi le modèle V.

## 3.2 Orientation et faisabilité

Le projet intitulé « Conception et déploiement d'un module de signature numérique basé sur l'architecture à clé publique » est né du fait que l'entreprise ITS a constaté qu'il n'y a pas un module de signature électronique disponible pour les développeurs pour intégrer dans leurs plate-formes en général et un système de complet de signature électronique libre et transparent en particulier.

Par ailleurs, bien qu'ils existent des tels systèmes tels que Word de Microsoft et Adobe Reader mais ne sont pas dans les systèmes d'exploitation libre(open source) comme Linux.

Les problèmes qui surviennent souvent dans les entreprises en particulier et chez les développeurs en général c'est la disposition des programmes modulaires pour intégrer facilement dans leurs plates-formes en fin de gagner en temps et en l'argent (surtout pour les entreprises).

L'environnement dans lequel nous nous trouvons est favorable au projet puisqu'un tel système existe certes mais sous une licence payante et non modulable. Sa mise en œuvre sera une innovation importante dans l'évolution numérique au sein de l'entreprise et dans le monde de open source.

L'utilisation du système bénéficiera à ITS de :

- Signer désormais ces documents numériques,
- Utiliser le module dans un projet de même thématique facilement,
- permet d'avoir son propre outil de signature électronique.

Ce projet d'inscrit donc largement dans le cadre de la sécurité de système d'information qui est aujourd'hui très capital tant pour les entreprises que les utilisateurs.

### 3.3 Analyse de besoins

Dans cette section, nous allons recueillir les besoins du demandeur (le client) et l'ensemble des contraintes liés au système à mettre sur pied.

#### 3.3.1 Cahier de charge

Le cahier de charge a pour but de présenter notre projet su la signature électronique basé sur l'architecture à clé publique des documents numériques de l'entreprise ITS et autres tel que spécifié dans la section précédente.

##### Besoins fonctionnels

Il est question ici de présenter toutes les fonctionnalités du système. Ce sont les besoins spécifiant un comportement d'entré/sortie du système. Le système doit permettre à :

1. l'Administrateur de :

- gérer les comptes (supprimer, modifier, bloquer etc),
- générer une paire de clé(publique et privée),
- signer un document numérique à l'aide de la clé privée,
- générer un certificat (auto-signé, puisque le signé est payant),
- vérifier la signature d'un document numérique à l'aide de la clé publique,
- chiffrer/déchiffrer un document,
- générer un Hash du document numérique.

Il faut noter que l'administrateur ne pourra effectuer ces fonctionnalités que s'il est authentifier avec son compte administrateur, question de sécurité.

2. l'Utilisateur de :

- générer une paire de clé(publique et privée),
- signer un document numérique à l'aide de la clé privée,
- générer un certificat (auto-signé, puisque le signé est payant),
- vérifier la signature d'un document numérique à l'aide de la clé publique,
- chiffrer/déchiffrer un document,
- générer un Hash du document numérique.

3. au système externe de :

- générer une paire de clé(publique et privée),
- signer un document numérique à l'aide de la clé privée,

- générer un certificat (auto-signé, puisque le signé est payant),
- vérifier la signature d'un document numérique à l'aide de la clé publique,
- chiffrer/déchiffrer un document,
- générer un Hash du document numérique.

### Besoins non fonctionnels

A part les besoins fondamentaux, notre système doit répondre aux critères suivants :

- la rapidité de traitement : En effet, vu le nombre important des transactions quotidiennes, il est impérativement nécessaire que la durée d'exécution des traitements s'approche le plus possible du temps réel ;
- la performance : Un logiciel doit être avant tout performant c'est-à-dire à travers ses fonctionnalités, répond à toutes les exigences des usagers d'une manière optimale ;
- La convivialité : Le futur logiciel doit être facile à utiliser. En effet, les interfaces utilisateurs doivent être conviviales c'est-à-dire simples, ergonomiques et adaptées à l'utilisateur.

Elle devra aussi être capable de :

- tourner en réseaux pour qu'il soit accessible de tous,
- être compatible avec n'importe quel système d'exploitation, smartphone, tablette et OS.

Il faut aussi souligner que l'application devra être hautement sécurisée car les informations ne devront pas être accessibles de tous, sauf pour les légitimes.

## 3.4 Budgétisation

Ressources	Noms	Quantité	Prix unitaire	Total
Tétraèdre	4	6	4	$4+4-6=2$
Cube	8	12	6	$8+6-12=2$

## 3.5 Conception architecturale

Nous élaborons les spécifications de notre architecture générale de notre système. Nous optons pour une architecture client serveur centralisée. L'environnement client/serveur désigne un mode de communication organisé par l'intermédiaire d'un réseau et d'une interface Web entre plusieurs ordinateurs . « cela signifie que des machines clientes (machines faisant partie du réseau) contactent un serveur, une machine généralement très puissante en terme de capacités d'entrées-sorties , qui leur fournit des services. Lesquels services sont exploités par des programmes ,appelés programmes clients, s'exécutant sur les machines clientes. »



Puisqu'il existe plusieurs environnements client/serveur (Architecture "**Peer to Peer**", Architecture à 2 niveaux, Architecture à 3 niveaux, etc), plus précisément nous optons pour une architecture client/serveur Peer to Peer. Le réseau est dit pair à pair (peer-to-peer en anglais, ou P2P), lorsque chaque terminal connecté au réseau est susceptible de jouer tour à tour le rôle de client et celui de serveur.

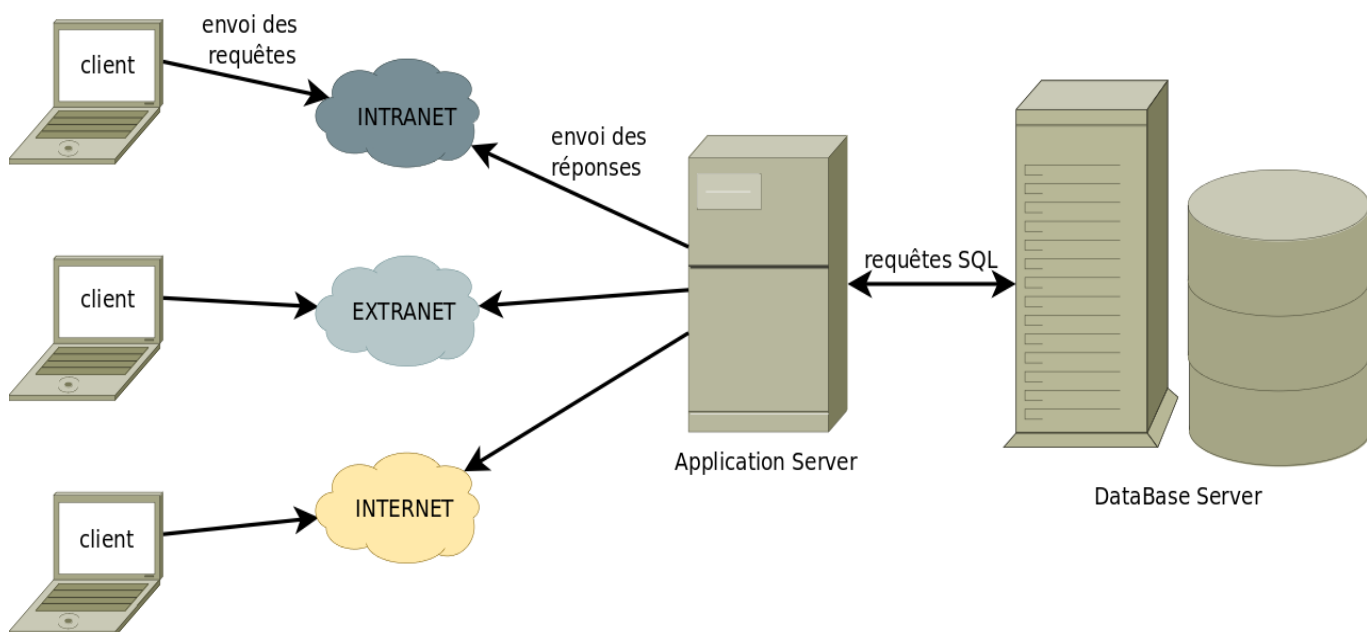


FIGURE 3.2 – Architecture Client Serveur

## 3.6 Conception détaillée

Pour réaliser la conception détaillée de notre système nous utiliserons le langage de modélisation UML (Unified Modeling Language).

### 3.6.1 Présentation de langage UML

L'UML (pour Unified Modeling Language, ou "langage de modélisation unifié" en français) est un langage permettant de modéliser nos classes et leurs interactions. Autrement c'est un ensemble de notations graphiques s'appuyant sur des diagrammes et permettant de spécifier, visualiser et de documenter les systèmes logiciels orientés-objet. UML utilise des diagrammes pour modéliser un système. Il ne s'agit pas d'une simple notation graphique car les concepts

transmis par un diagramme ont une sémantique[?].

En ce qui concerne la structure du formalisme UML, il peut être vu comme nous montre la figure suivante :

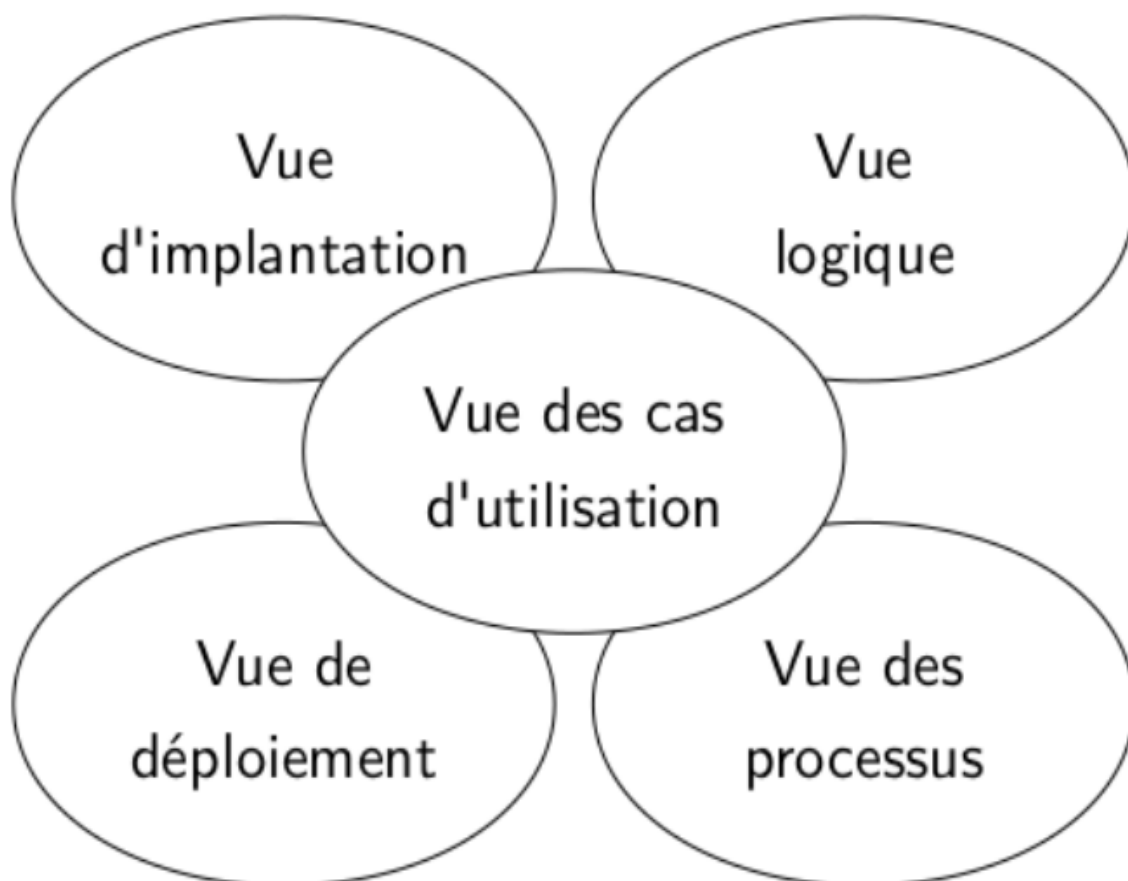


FIGURE 3.3 – différentes vues du formalisme UML

A chaque vue est associée certains diagramme :

- **Vue de cas d'utilisation[?]** : S'applique à l'ensemble des cas d'utilisation qui décrivent ensemble le comportement d'un système donné vu par ses acteurs. Cette vue indique les forces internes et externes qui forment l'architecture du système. Elle définit les besoins des clients du système et centre la définition de l'architecture du système sur la réalisation de ces besoins ; elle conduit à la définition d'un modèle d'architecture pertinent et cohérent en se basant sur les scénarios décrits dans les cas d'utilisation.  
Elle motive les choix, permet d'identifier les interfaces critiques et force à se concentrer sur les problèmes importants.
- **Vue logique** : a pour but d'identifier les éléments du domaine, les relations et interactions entre ces éléments. Cette vue organise les éléments du domaine en « catégories ». Deux diagrammes peuvent être utilisés pour cette vue : diagramme de classes et diagramme des objets.

- **Vue des processus** : Démonstre la décomposition système en processus et actions, les interactions entre les processus, la synchronisation et la communication des activités parallèles. Elle s'appuie sur plusieurs diagrammes : diagramme de séquence, diagramme d'activité, diagramme de collaboration etc.
- **Vue de déploiement** : décrit les ressources matérielles et la répartition des parties du logiciel sur ces éléments. Il contient un diagramme : le diagramme de déploiement.
- **Vue d'implémentation** : Décrit l'ensemble des algorithmes utilisés et le code source[?].

### 3.6.2 Modélisation avec le langage UML

Pour modéliser notre système avec le langage UML, nous allons utiliser les outils suivants :

1. Astah-pro, version d'évaluation,
2. Umbrello,
3. GIMP 2.10.

#### Diagramme de cas d'utilisation

Le diagramme des cas d'utilisation est une notation très simple et compréhensible par tous et qui permet de structurer les besoins (cahier des charges) et le reste du développement. Un diagramme de cas d'utilisation décrit les acteurs<sup>1</sup>, les cas d'utilisation<sup>2</sup> et le système. Un modèle de cas utilisation peut être formé de plusieurs diagrammes de cas d'utilisation, de descriptions textuelles, de diagrammes de séquences. Un cas d'utilisation (CU) décrit une manière d'utiliser le système en une suite d'interactions entre un acteur et le système.

##### 1. Diagramme de cas d'utilisation général :

---

<sup>1</sup>Un acteur est un utilisateur, humain ou non, du système qui est doté d'un nom qui correspond à son rôle.

<sup>2</sup>Un cas d'utilisation est une manière spécifique d'utiliser le système.

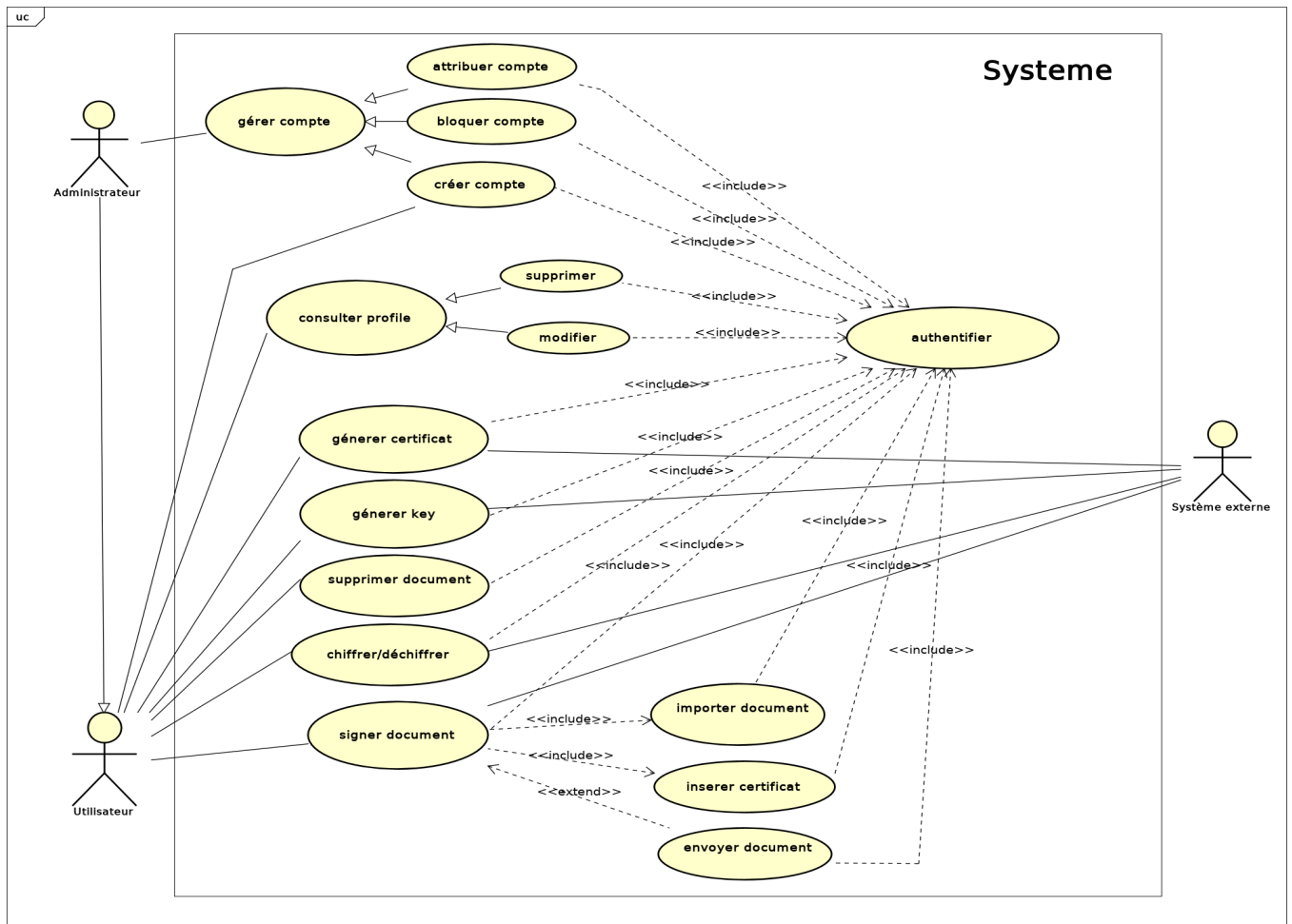


FIGURE 3.4 – Diagramme de cas d'utilisation général

## 2. Diagramme de cas d'utilisation de l'administrateur :

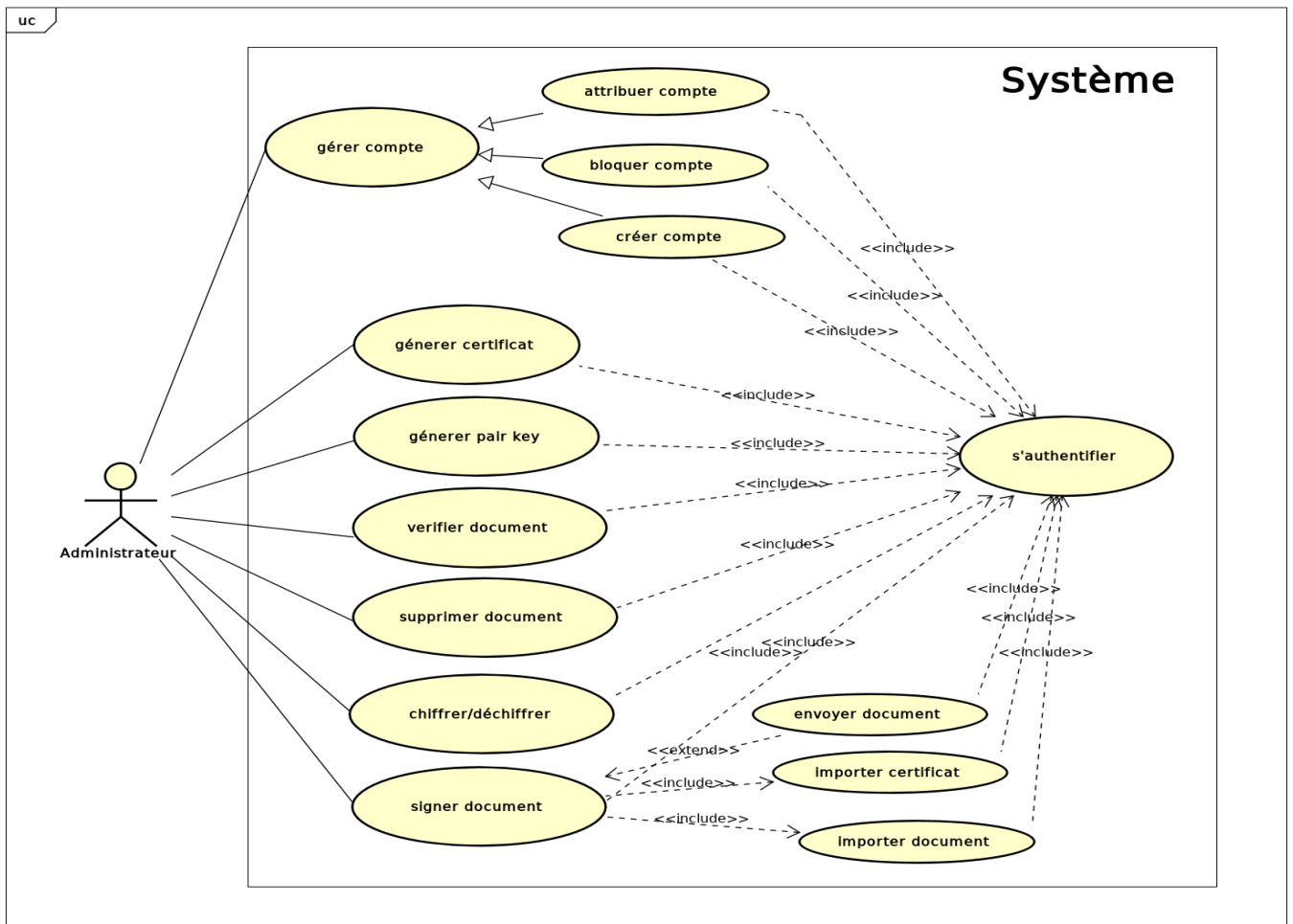


FIGURE 3.5 – Diagramme de cas d'utilisation d'administrateur

### 3. Diagramme de cas d'utilisation de l'utilisateur :

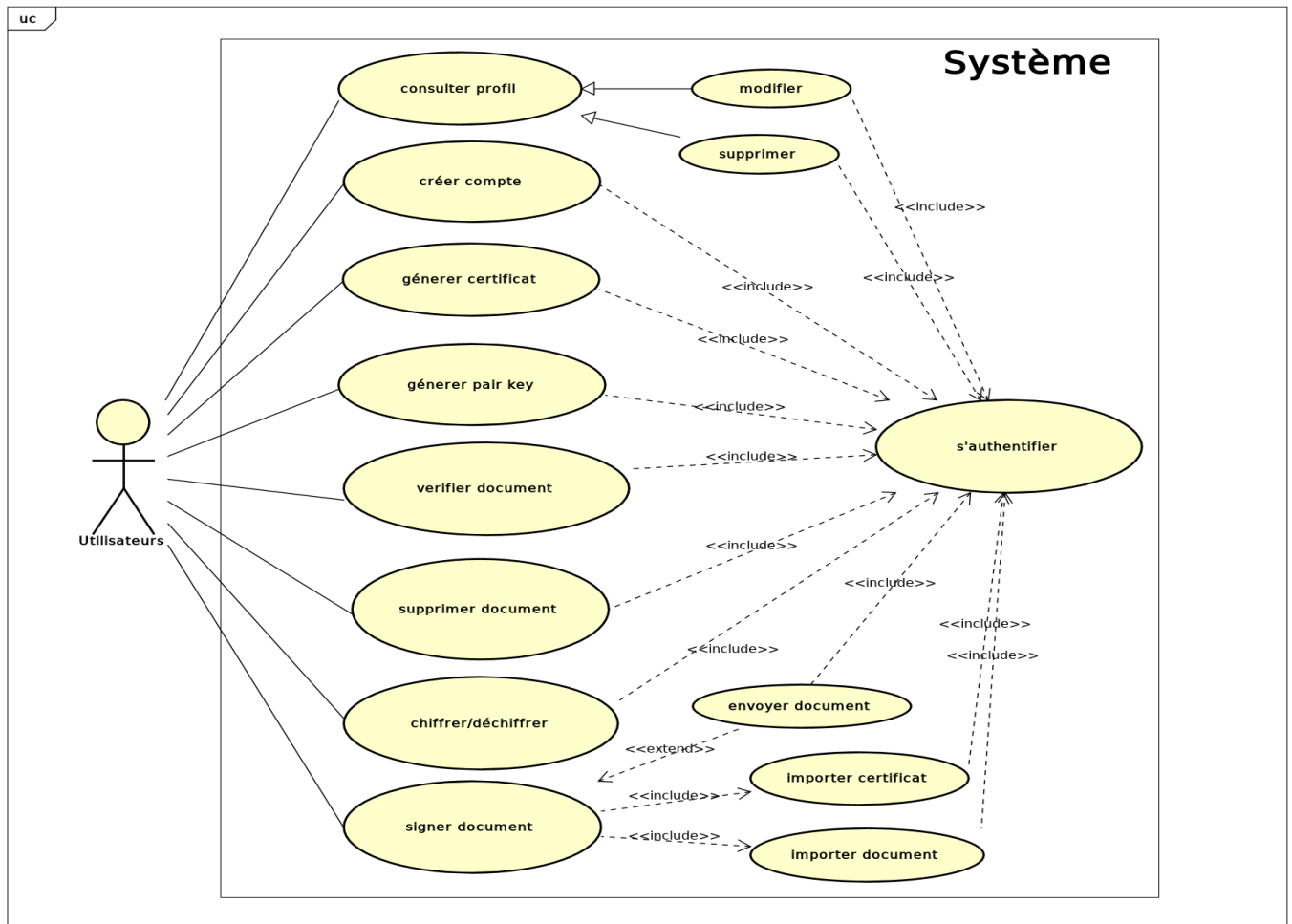


FIGURE 3.6 – Diagramme de cas d'utilisation d'utilisateur

#### 4. Diagramme de cas d'utilisation de système externe :

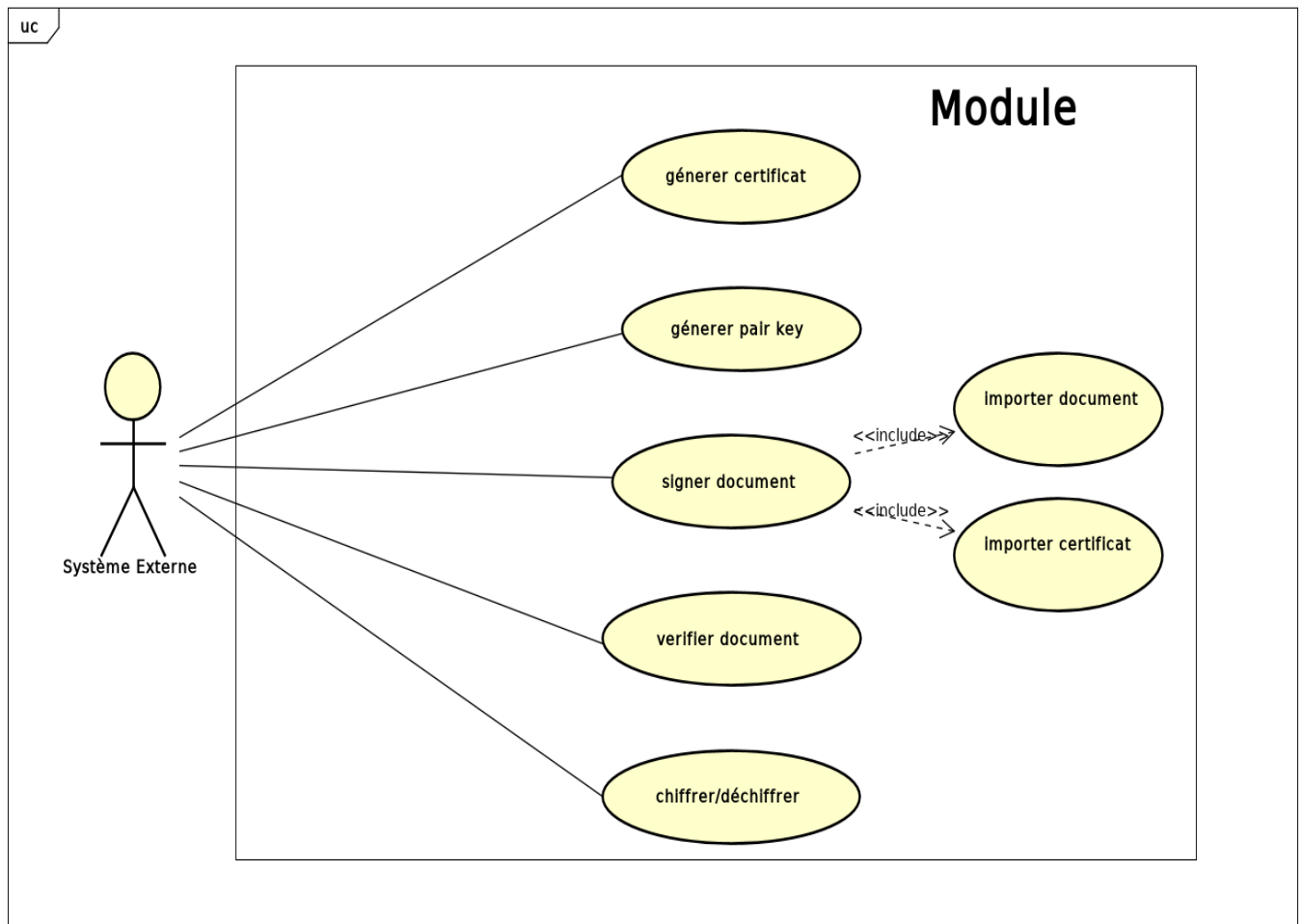


FIGURE 3.7 – Diagramme de cas d'utilisation de système externe

### Description textuelle

1. Description textuelle de cas d'utilisation : **S'authentifier**

TABLE 3.1 – Description contextuelle de cas d'utilisation s'authentifier

<b>Titre</b>	S'authentifier
<b>Résumé</b>	Ce cas d'utilisation permet d'accéder au tableau de bord de l'utilisateur
<b>Acteur</b>	Administrateur, utilisateur
<b>Pré-condition</b>	l'application doit être lancer(page d'accueil)
<b>Scénario nominal</b>	1) l'utilisateur fait une demande l'accès au système en cliquant sur le bouton connexion, 2) le système lui renvoi le formulaire de connexion 3) l'utilisateur introduit son username et password 4) le système vérifie que sont username et password corrects 5) le système ouvre une session de l'utilisateur
<b>Enchaînement Alternatif</b>	le username et le password sont corrects., l'enchaînement commence au point 3 du scénario nominal. le message affiche un message d'erreur, aller au point 2.
<b>Enchaînement d'Erreur</b>	E1 : Si l'étape 2 de scénario nominal n'est pas vérifié un message d'erreur sera affiché.
<b>Post condition</b>	ouverture d'une session, accès au compte

## 2. Description textuelle de cas d'utilisation : **Générer certificat**



TABLE 3.2 – Description contextuelle de cas d'utilisation générer certificat

<b>Titre</b>	Générer Certificat
<b>Résumé</b>	Ce cas d'utilisation permet de générer des certificats aux utilisateurs
<b>Acteur</b>	Autorité de certification Administrateur, Système externe
<b>Pré-condition</b>	l'application doit être lancée (page d'accueil)
<b>Scénario nominal</b>	1) un AC peut générer un certificat en cliquant sur le bouton genererCertificat, 2) le système lui renvoie le formulaire à remplir 3) on introduit la clé publique de l'utilisateur 4) on renseigne le nom et le prénom de l'utilisateur 5) la date de validité (début et fin) 6) numéro de version 7) numéro de série.
<b>Enchaînement Alternatif</b>	la clé publique n'est pas correcte. l'enchaînement commence au point 2 du scénario nominal.
<b>Enchaînement d'Erreur</b>	E1 : Si l'étape 2 de scénario nominal n'est pas vérifiée un message d'erreur sera affiché.
<b>Post condition</b>	création de certificat avec succès.

### 3. Description textuelle de cas d'utilisation : **Générer Paire de Clé**

TABLE 3.3 – Description contextuelle de cas d'utilisation générer paire de clé

<b>Titre</b>	Générer Paire de clé
<b>Résumé</b>	Ce cas d'utilisation permet de générer des paires de clé aux utilisateurs
<b>Acteur</b>	Autorité de certification, Administrateur, Système externe, Utilisateur
<b>Pré-condition</b>	l'application doit être lancée (page d'accueil) et l'utilisateur est authentifié
<b>Scénario nominal</b>	1) un utilisateur peut générer une paire en cliquant sur le bouton genererPaireKey, 2) le système lui renvoie le formulaire à remplir 3) il introduit le cryptosystème à utiliser (ex. RSA) 4) ensuite il introduit la taille de clé (ex.4096) 5) il valide en cliquant sur le bouton générer
<b>Enchaînement Alternatif</b>	l'algorithme ou la taille de clé est incorrect. l'enchaînement commence au point 2 du scénario nominal.
<b>Enchaînement d'Erreur</b>	E1 : Si l'étape 3 de scénario nominal est incorrect, un message d'erreur sera affiché. Si l'étape 4 de scénario nominal est incorrect, un message d'erreur sera affiché.
<b>Post condition</b>	génération de paire de clé avec succès.

4. Description textuelle de cas d'utilisation : **Signer document**

TABLE 3.4 – Description contextuelle de cas d'utilisation Signer document

<b>Titre</b>	Signer document
<b>Résumé</b>	Ce cas d'utilisation permet aux utilisateurs de signer leurs documents
<b>Acteur</b>	Autorité de certification, Administrateur, Système externe, Utilisateur
<b>Pré-condition</b>	l'application doit être lancée (page d'accueil) et l'utilisateur est authentifié
<b>Scénario nominal</b>	1) un utilisateur peut signer son document en cliquant simplement sur le bouton Signer document, 2) le système lui renvoie le formulaire à remplir 3) il téléverse son fichier(txt, docs, pdf,etc) 4) ensuite il téléverse sa clé publique 5) il sélectionne la fonction de hachage (ex. SHA1, SHA256 ...) 6) il valide en cliquant sur le bouton Signer document
<b>Enchaînement Alternatif</b>	l'algorithme est incorrect. l'enchaînement commence au point 2 du scénario nominal.
<b>Enchaînement d'Erreur</b>	E1 : Si l'étape 3 de scénario nominal est incorrect, un message d'erreur sera affiché. Si l'étape 4 de scénario nominal est incorrect, un message d'erreur sera affiché.
<b>Post condition</b>	La signature est effectuée avec succès.

5. Description textuelle de cas d'utilisation : **Envoyer Document**

TABLE 3.5 – Description contextuelle de cas d'utilisation Envoyer Document

<b>Titre</b>	Envoyer Document
<b>Résumé</b>	Ce cas d'utilisation permet aux utilisateurs d'envoyer leurs document signer
<b>Acteur</b>	Administrateur, Utilisateur
<b>Pré-condition</b>	l'application doit être lancer (page d'accueil) et l'utilisateur est authentifié
<b>Scénario nominal</b>	1) un utilisateur peut envoyer un document en cliquant sur l'onglet message <b>Envoyer document</b> 2) le système lui renvoi le formulaire à remplir 3) il téléverse son document 4) il téléverse son certificat 5) ensuite il choisit un destinataire 6) enfin il valide en cliquant sur le bouton <b>Envoyer</b> .
<b>Enchaînement Alternatif</b>	l'adresse E-mail est incorrect. l'enchaînement commence au point 2 du scénario nominal.
<b>Enchaînement d'Erreur</b>	E1 : Si l'étape 5 de scénario nominal est incorrect, un message d'erreur sera affiché.
<b>Post condition</b>	L'envoi est effectué avec succès.

6. Description textuelle de cas d'utilisation : **Chiffrer/Déchiffrer**

TABLE 3.6 – Description contextuelle de cas d'utilisation Chiffrer/Déchiffrer

<b>Titre</b>	Chiffrer/Déchiffrer
<b>Résumé</b>	Ce cas d'utilisation permet aux utilisateurs chiffrer/déchiffrer leurs documents
<b>Acteur</b>	Administrateur, Utilisateur et système externe
<b>Pré-condition</b>	l'application doit être lancée (page d'accueil) et l'utilisateur est authentifié
<b>Scenario nominal</b>	1) un utilisateur peut chiffrer/déchiffrer un document en cliquant sur le bouton <b>chiffrer/déchiffrer</b> 2) le système lui renvoie le formulaire à remplir 3) il téléverse son document 4) il téléverse sa clé publique 5) il choisit l'algorithme et la taille 6) enfin il valide en cliquant sur le bouton <b>chiffrer/déchiffrer</b> .
<b>Enchaînement Alternatif</b>	l'algorithme est incorrect. l'enchaînement commence au point 2 du scénario nominal.
<b>Enchaînement d'Erreur</b>	E1 : Si l'étape 5 de scénario nominal est incorrect, un message d'erreur sera affiché.
<b>Post condition</b>	Le chiffrement/déchiffrement est effectué avec succès.

### Diagramme de classes

Diagramme de classe est considéré comme le plus important de la modélisation orienté objet, il est le seul obligatoire lors d'une telle modélisation. Il permet de fournir une représentation abstraite des objets du système qui vont interagir pour réaliser les cas d'utilisation. Le diagramme de classe modélise les concepts du domaine d'application ainsi que les concepts internes créés de toutes pièces dans le cadre de l'implémentation d'une application. Les principaux éléments de cette vue statique sont les classes et leurs relations : associations, généralisations et plusieurs types de dépendances, telles que la relation et l'utilisation.

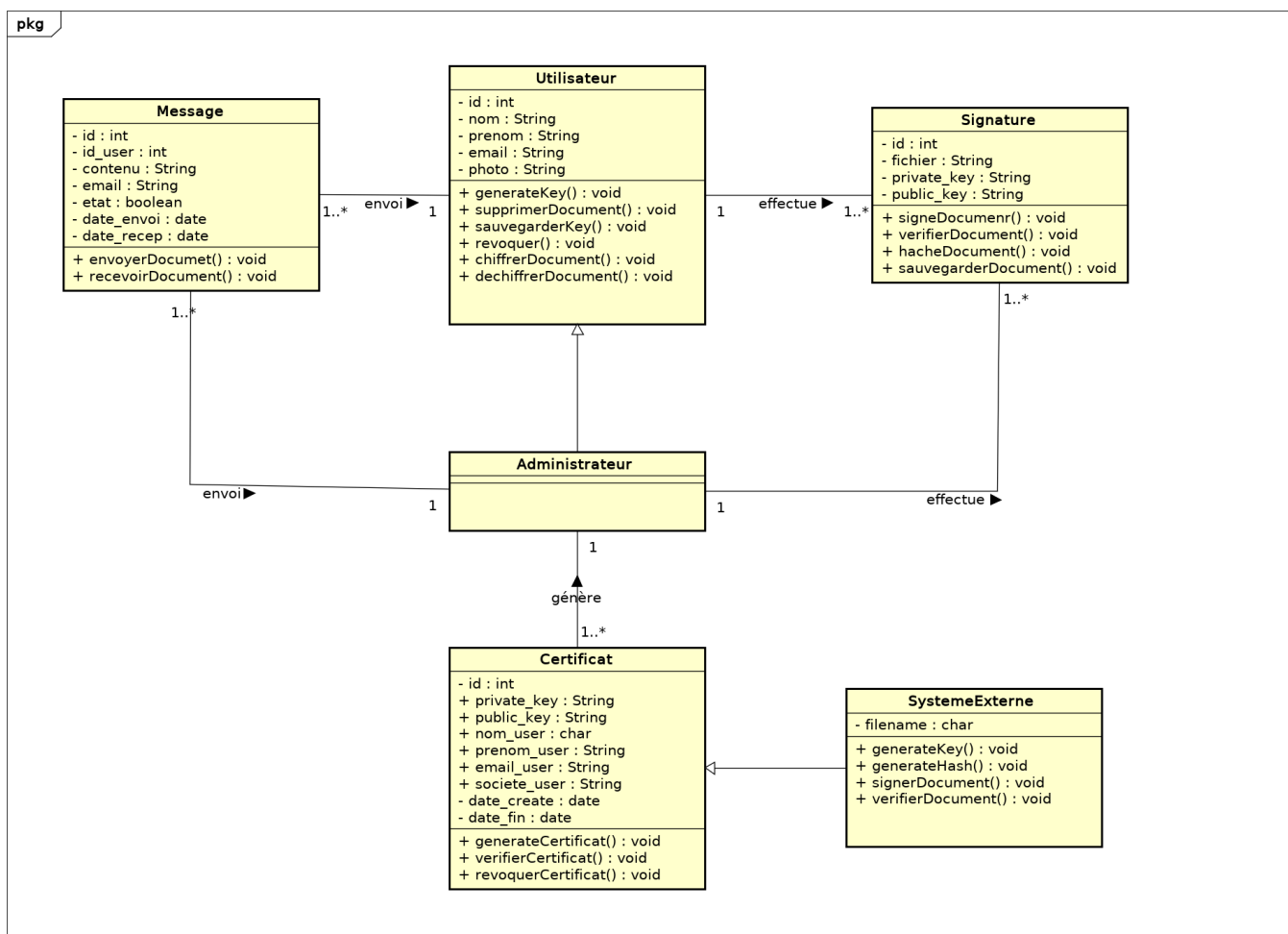


FIGURE 3.8 – Diagramme de classe

### Diagramme de packages

Lorsque nous sommes en présence d'un système de grande taille, il peut être intéressant de le décomposer en plusieurs parties (appelées paquetage). Un paquetage est donc un regroupement de différents éléments d'un système (regroupement de classes, diagrammes, fonctions, interfaces...). Cela permet de clarifier le modèle en l'organisant. Il est représenté par un dossier avec son nom à l'intérieur.

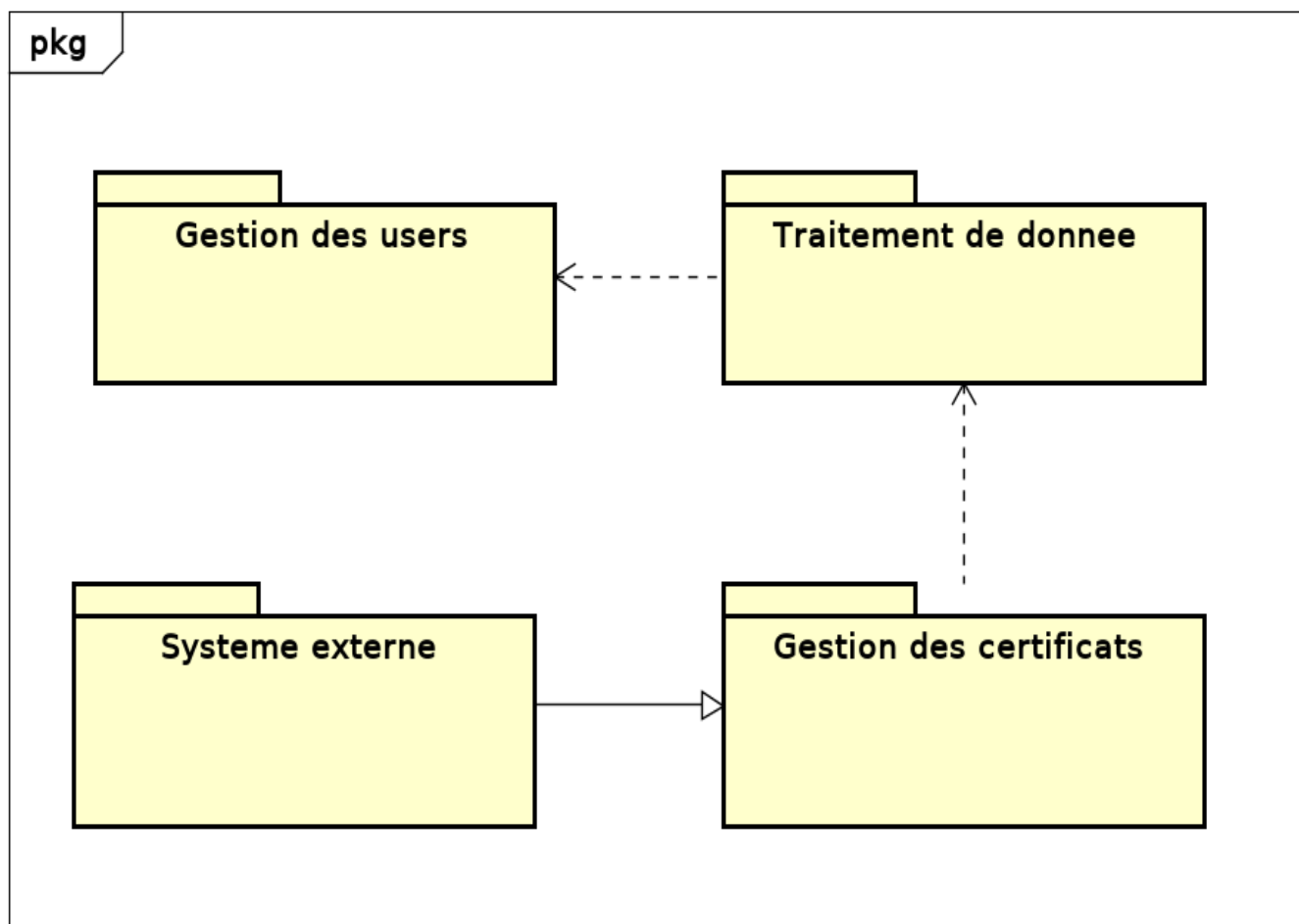


FIGURE 3.9 – Diagramme de packages

### Diagramme de séquences

Pour décrire un scénario, UML propose un diagramme de séquences qui permet de décrire une séquence des messages échangés entre différents objets. Les diagrammes de séquences permettent de décrire comment les éléments du système interagissent entre eux et avec les acteurs. Les objets d'un système interagissent en s'échangeant des messages. Les acteurs interagissent avec le système au moyen d'interfaces homme-machine[?] .

#### 1. Diagramme de séquence de cas d'utilisation s'authentifier :

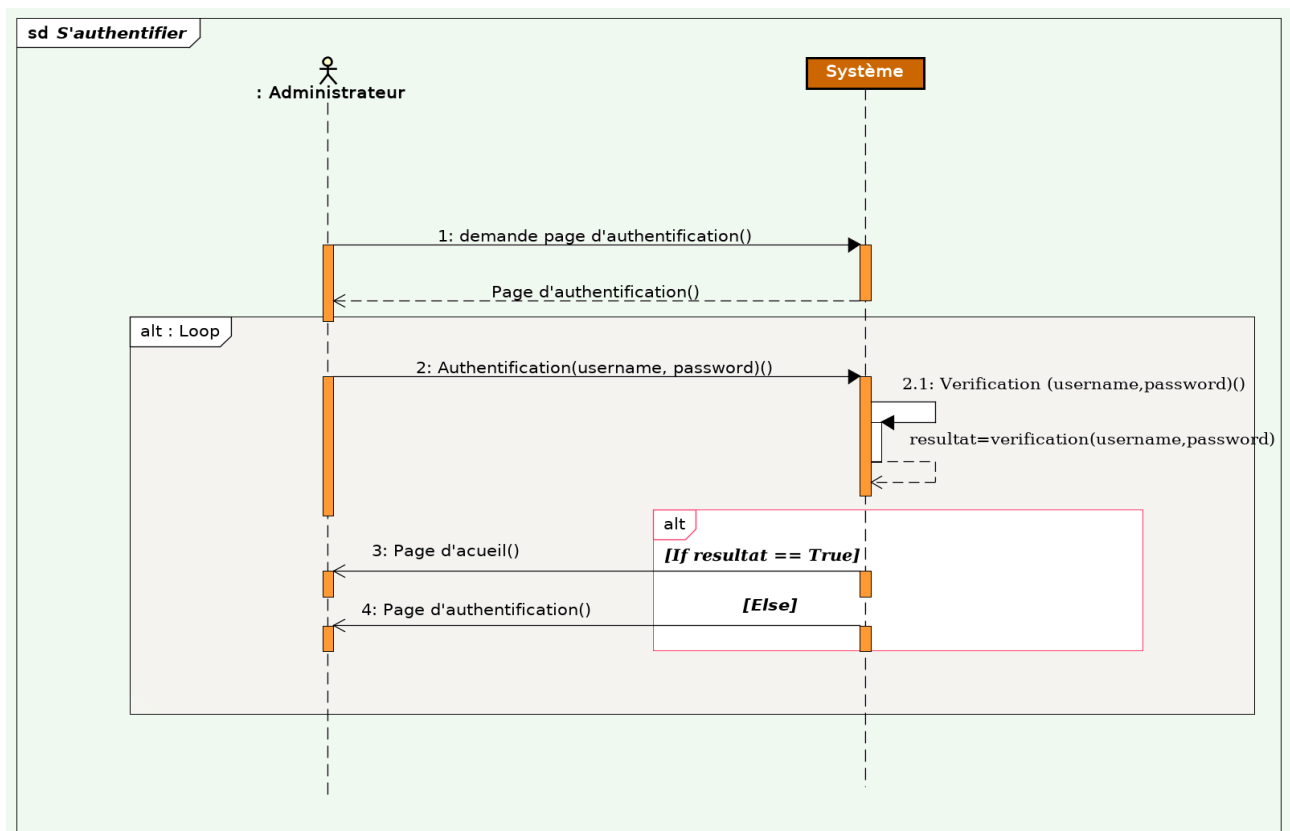


FIGURE 3.10 – Diagramme de séquence de cas d'utilisation s'authentifier

## 2. Diagramme de séquence de cas d'utilisation générer key :



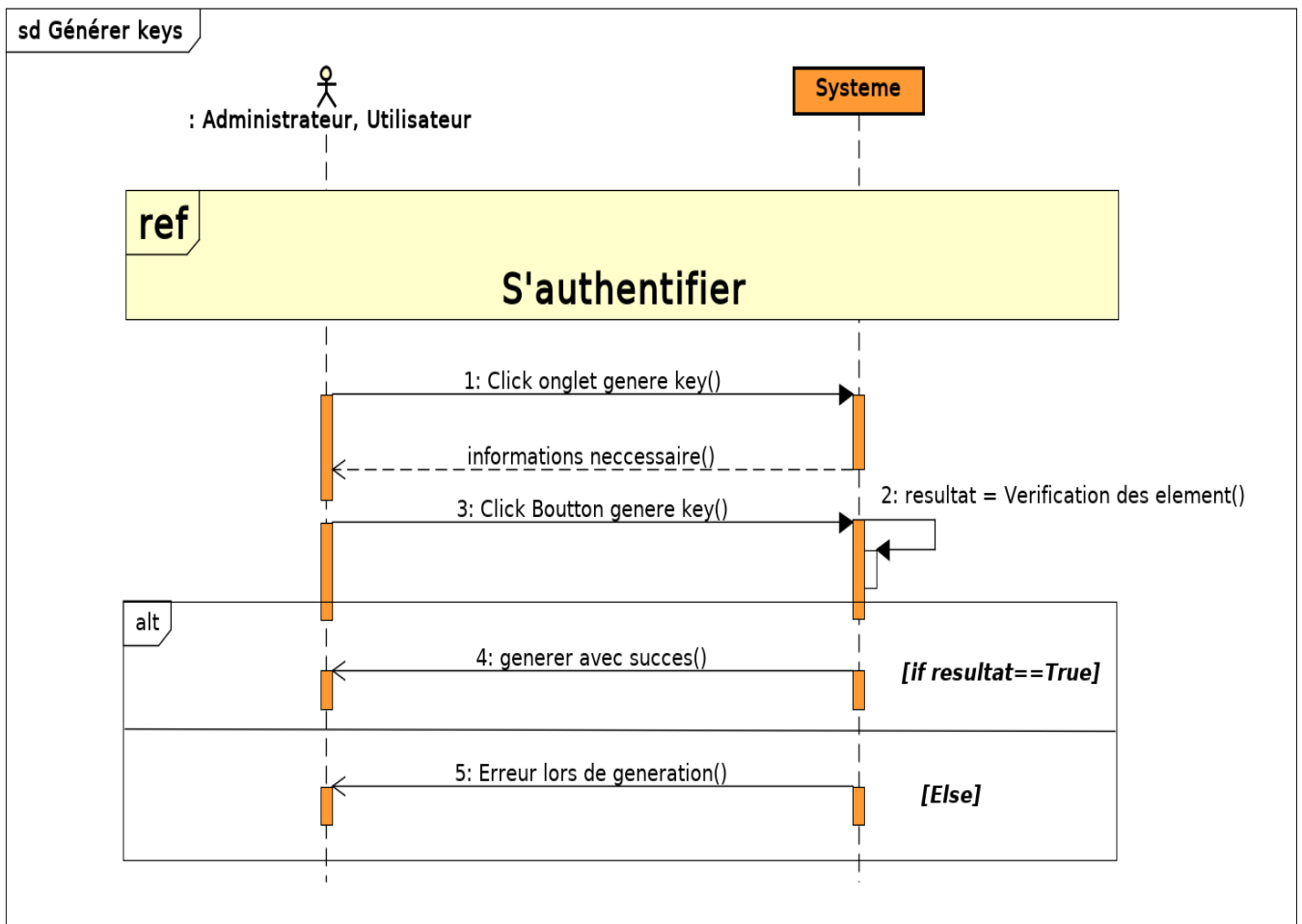


FIGURE 3.11 – Diagramme de séquence de cas d'utilisation générer key

## 3. Diagramme de séquence de cas d'utilisation certificat

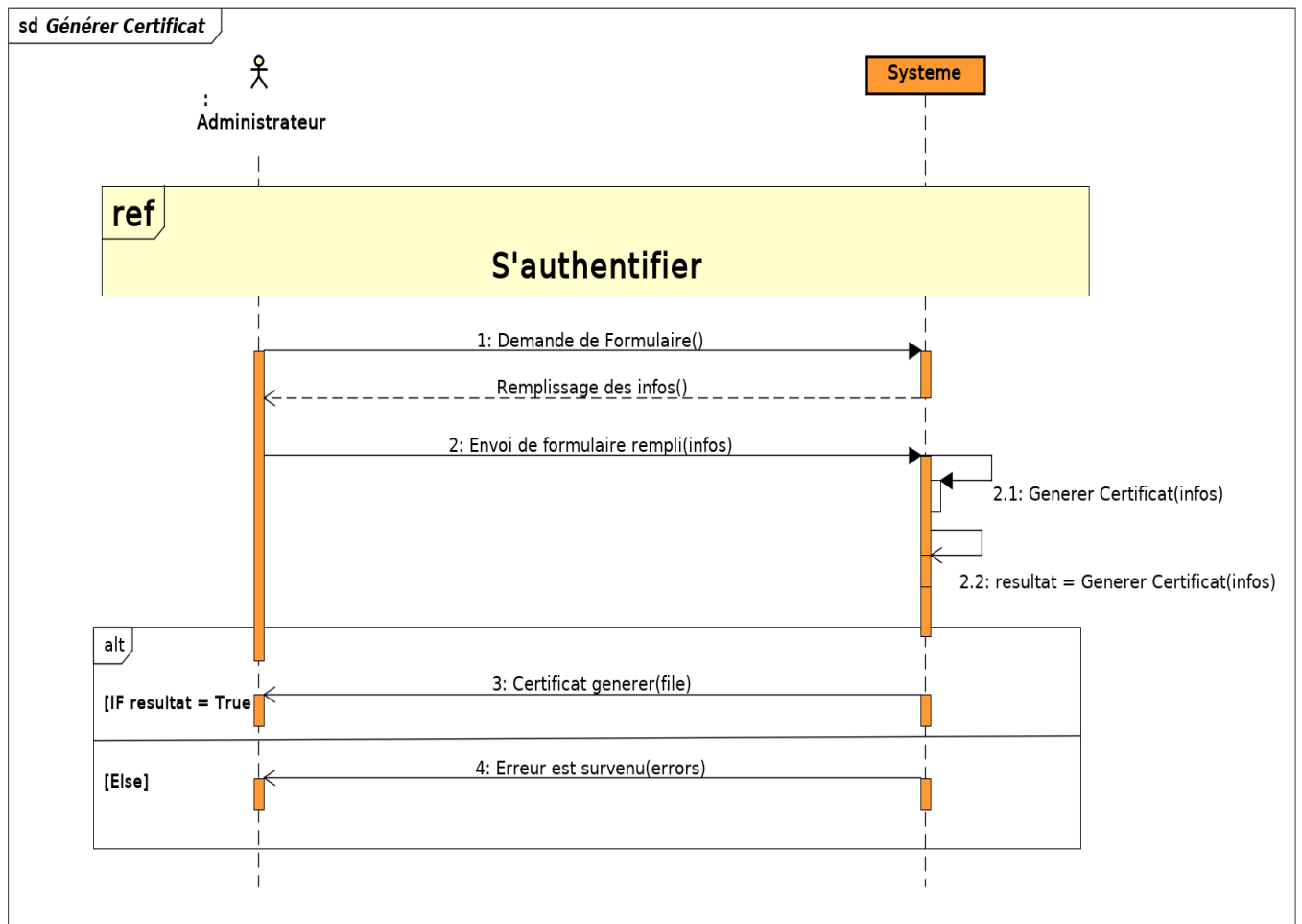


FIGURE 3.12 – Diagramme de séquence de cas d'utilisation générer certificat

#### 4. Diagramme de séquence de cas d'utilisation signer document :

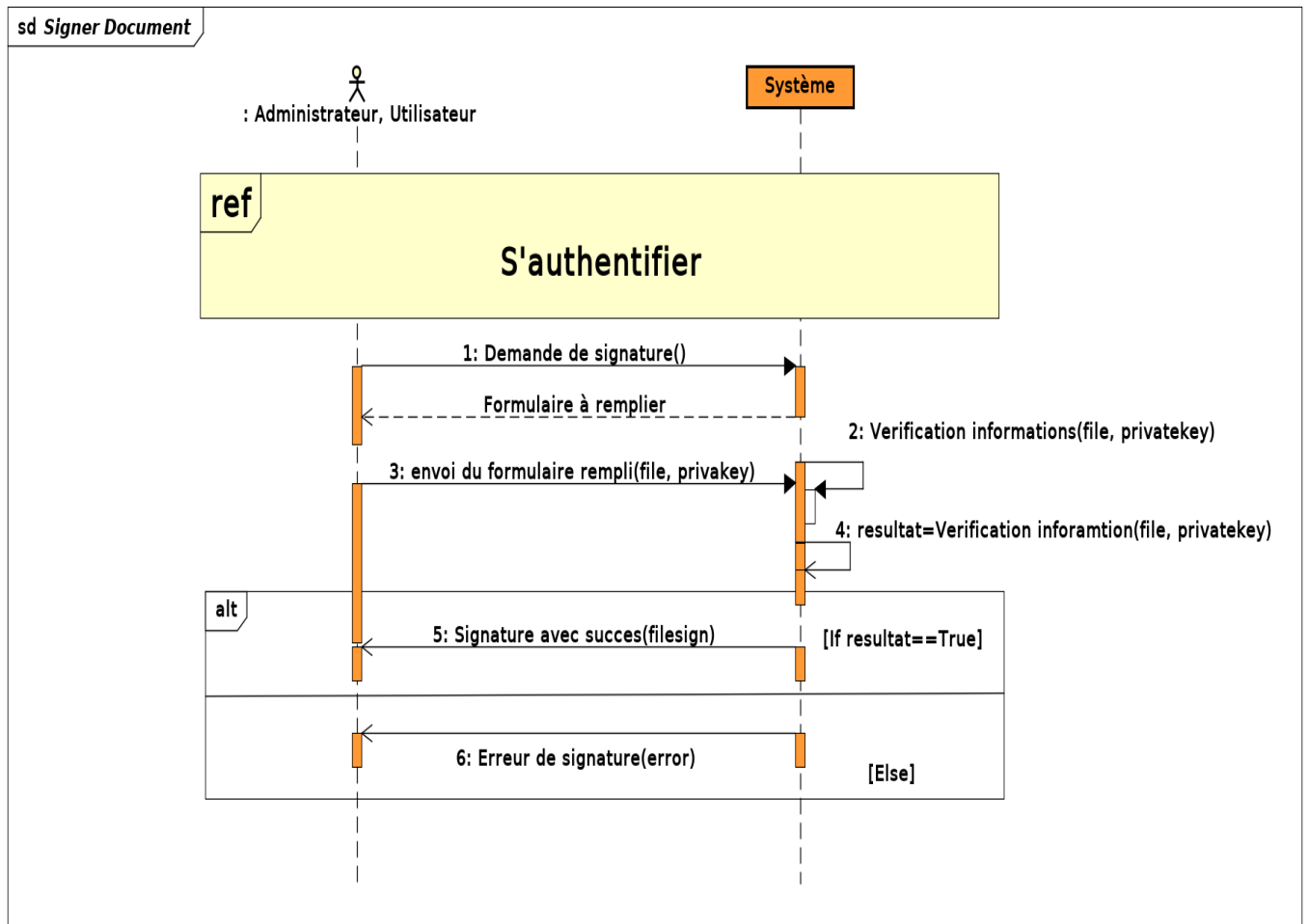


FIGURE 3.13 – Diagramme de séquence de cas d'utilisation signer document

##### 5. Diagramme de séquence de cas d'utilisation chiffrer/déchiffrer :

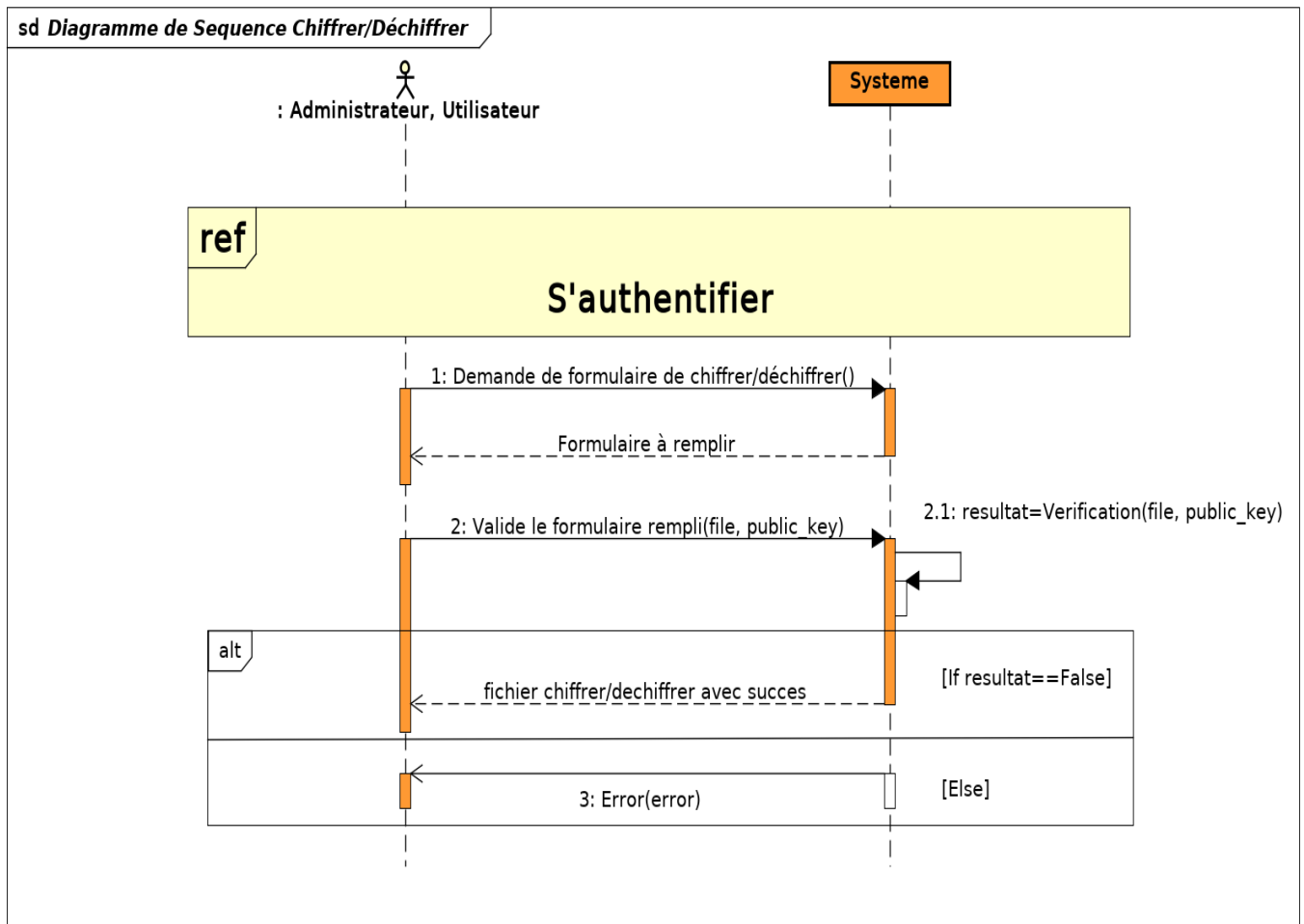


FIGURE 3.14 – Diagramme de séquence de cas d'utilisation chiffrer/déchiffrer

#### 6. Diagramme de séquence de cas d'utilisation envoyer document :

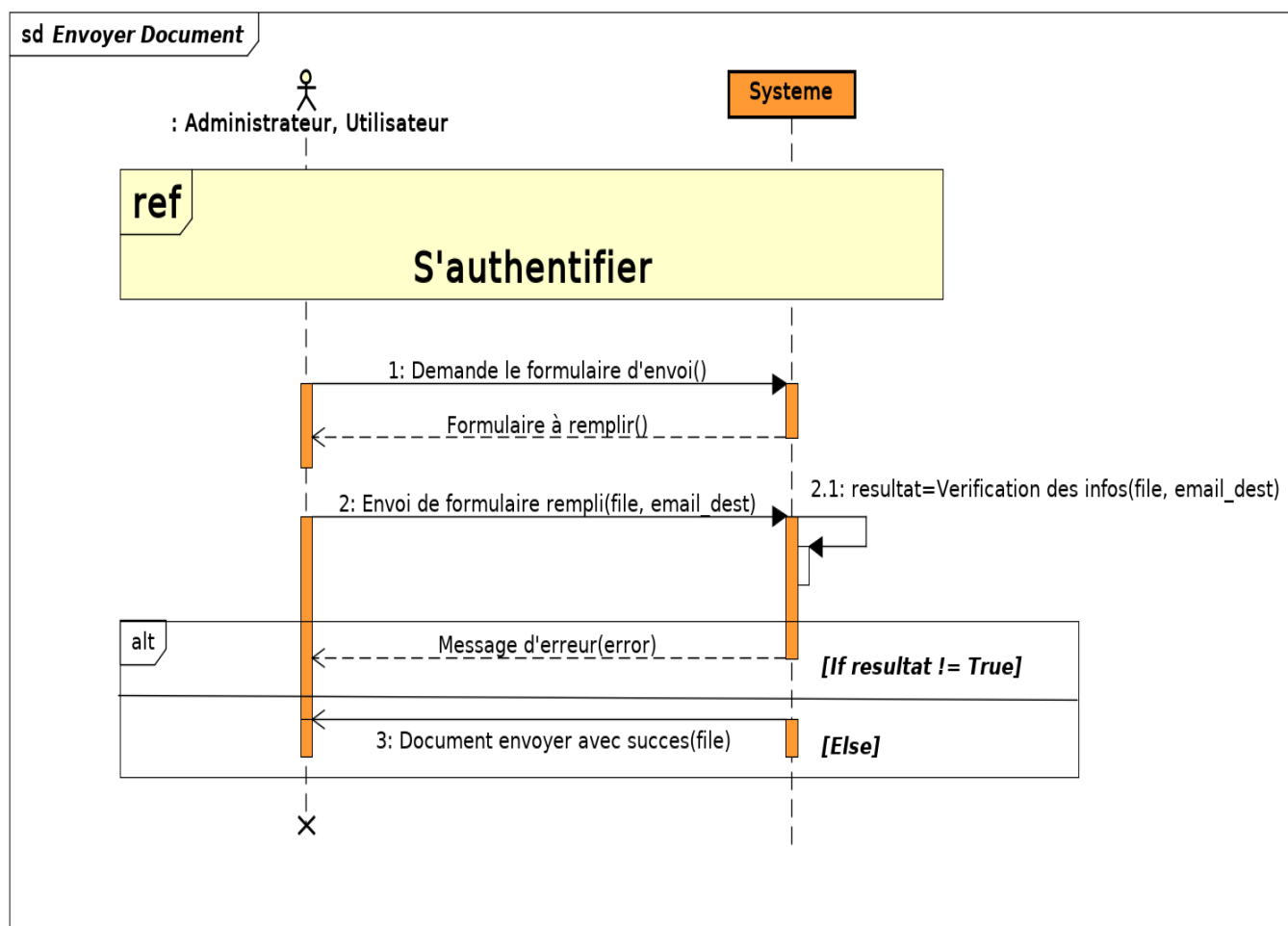


FIGURE 3.15 – Diagramme de séquence de cas d'utilisation envoyer document

### Diagramme de déploiement

Dans le contexte du langage de modélisation unifié (UML), un diagramme de déploiement fait partie de la catégorie des diagrammes structurels, car il décrit un aspect du système même. Dans le cas présent, le diagramme de déploiement décrit le déploiement physique des informations générées par le logiciel sur des composants matériels. On appelle artefact l'information qui est générée par le logiciel[?].

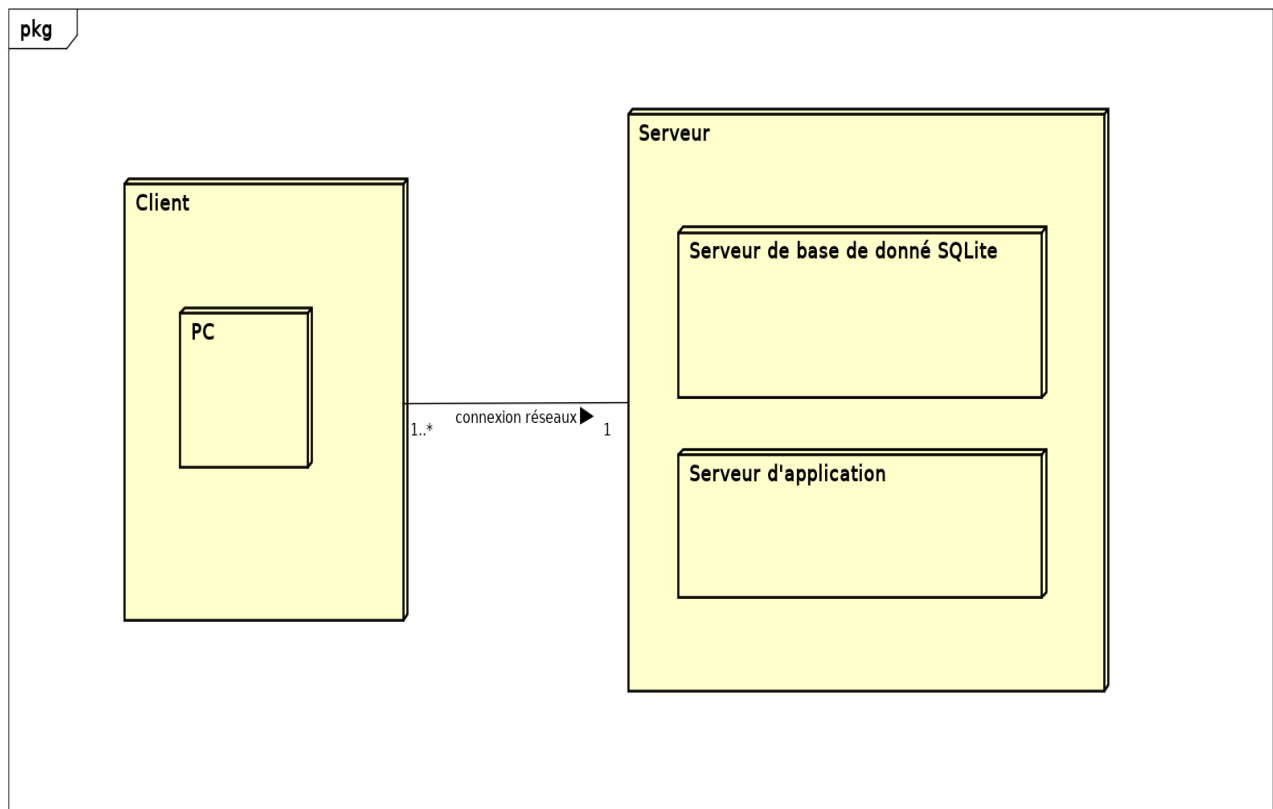


FIGURE 3.16 – Diagramme de séquence de cas d'utilisation envoyer document

## Processus d'acquisition de certificat

Description...

## 3.7 Codage

### 3.7.1 Environnement de développement

### 3.7.2 Développement du module

### 3.7.3 Développement de l'interface utilisateur

## Conclusion

## Conclusion