

# Mémoire d'ingénieur

---

## Implémentation d'un service de liste de confiance globale basé sur la blockchain

**Yoann Raucoules**

**Année 2016–2017**

Stage de fin d'études réalisé dans l'entreprise ARHS Spikeseed  
en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de TELECOM Nancy

Maître de stage : Vincent Bouckaert

Encadrant universitaire : Olivier Festor



# Déclaration sur l'honneur de non-plagiat

**Je soussigné(e),**

**Nom, prénom : Raucoules, Yoann**

**Élève-ingénieur(e) régulièrement inscrit(e) en 3<sup>e</sup> année à TELECOM Nancy**

**Numéro de carte de l'étudiant(e) : 1205028998**

**Année universitaire : 2016–2017**

**Auteur(e) du document, mémoire, rapport ou code informatique intitulé :**

## Implémentation d'un service de liste de confiance globale basé sur la blockchain

Par la présente, je déclare m'être informé(e) sur les différentes formes de plagiat existantes et sur les techniques et normes de citation et référence.

Je déclare en outre que le travail rendu est un travail original, issu de ma réflexion personnelle, et qu'il a été rédigé entièrement par mes soins. J'affirme n'avoir ni contrefait, ni falsifié, ni copié tout ou partie de l'œuvre d'autrui, en particulier texte ou code informatique, dans le but de me l'accaparer.

Je certifie donc que toutes formulations, idées, recherches, raisonnements, analyses, programmes, schémas ou autre créations, figurant dans le document et empruntés à un tiers, sont clairement signalés comme tels, selon les usages en vigueur.

Je suis conscient(e) que le fait de ne pas citer une source ou de ne pas la citer clairement et complètement est constitutif de plagiat, que le plagiat est considéré comme une faute grave au sein de l'Université, et qu'en cas de manquement aux règles en la matière, j'encourrais des poursuites non seulement devant la commission de discipline de l'établissement mais également devant les tribunaux de la République Française.

**Fait à Luxembourg, le 11 août 2017**

**Signature :**



SIGNATUUUUUUUUUUUUUUURE



# Mémoire d'ingénieur

---

## Implémentation d'un service de liste de confiance globale basé sur la blockchain

**Yoann Raucoules**

**Année 2016–2017**

Stage de fin d'études réalisé dans l'entreprise ARHS Spikeseed  
en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de TELECOM Nancy

Yoann Raucoules  
6, rue du général Frère  
57070, METZ  
+33 (0)6 77 48 04 38  
[yoann.raucoules@telecomnancy.eu](mailto:yoann.raucoules@telecomnancy.eu)

TELECOM Nancy  
193 avenue Paul Muller,  
CS 90172, VILLERS-LÈS-NANCY  
+33 (0)3 83 68 26 00  
[contact@telecomnancy.eu](mailto:contact@telecomnancy.eu)

ARHS Spikeseed  
2B, rue Nicolas Bové  
1253, LUXEMBOURG  
+352 26 11 02 1



Maître de stage : Vincent Bouckaert

Encadrant universitaire : Olivier Festor





## Remerciements

*“Night gathers, and now my watch begins.  
It shall not end until my death.*

*I shall take no wife, hold no lands, father no children.  
I shall wear no crowns and win no glory.  
I shall live and die at my post.*

*I am the sword in the darkness.  
I am the watcher on the walls.  
I am the shield that guards the realms of men.*

*I pledge my life and honor to the Night’s Watch,  
for this night and all the nights to come.”*

– The Night’s Watch oath



## Avant-propos

Ce mémoire résulte d'un stage de fin d'études qui s'est déroulé du 3 avril 2017 au 30 septembre 2017 au sein de l'entreprise Arns SpikeSeed située au Luxembourg. Ce stage vient clôturer et valider la formation d'ingénieur du numérique de l'école TELECOM Nancy que j'ai débuté en septembre 2014. Cette formation qui s'est étendue sur une période de trois ans m'a permis d'acquérir de nombreuses compétences dans les domaines de l'informatique, des mathématiques, du management, de la gestion de projet, de la communication, de l'économie, du droit et des langues. J'ai choisi de me spécialiser en Ingénierie Logicielle au cours du cursus de par ma passion pour la programmation et l'architecture logicielle depuis que j'ai découvert l'informatique lors de mon stage de découverte professionnelle réalisé en classe de troisième.

Au cours de ce stage de fin d'études, j'ai eu le plaisir de travailler sur une technologie à laquelle je m'intéresse depuis deux ans, la blockchain. Dans le cadre d'un projet proposé par la Commission Européenne, nommé FutureTrust, j'ai pu concevoir et implémenter un service de trust list global basé sur la blockchain. Mes tâches ont été de me familiariser avec les principes de la blockchain et les concepts de cryptographie appliquée afin de les mettre en application dans le projet, d'effectuer une analyse des solutions de blockchain existantes afin de réaliser des choix d'implémentation, de concevoir l'architecture du service de liste de confiance globale, d'implémenter la solution conçue et de documenter tous les aspects techniques et fonctionnels de la solution implémentée.

Dans ce mémoire est présenté le résultat du stage de fin d'études et est mis en avant l'utilisation de la blockchain dans le cadre d'un projet de confiance numérique d'échelle mondiale. L'intérêt de ce document est dans un premier temps d'expliquer les tâches réalisées au cours du stage et dans un second temps de montrer qu'il est possible d'élargir le champ d'application de la technologie blockchain et des différents aspects qui la composent.



# Table des matières

<b>Remerciements</b>	<b>v</b>
<b>Avant-propos</b>	<b>vii</b>
<b>Table des matières</b>	<b>ix</b>
<b>1 Introduction</b>	<b>1</b>
1.1 Présentation de la technologie blockchain . . . . .	1
1.1.1 Avantages de la blockchain . . . . .	3
1.1.2 Inconvénients de la blockchain . . . . .	3
1.2 Définition du cadre et des objectifs du stage . . . . .	3
1.3 Mise en exergue du plan . . . . .	3
<b>2 Présentation du contexte</b>	<b>5</b>
2.1 L'entreprise Arns Spikeseed . . . . .	5
2.2 Contexte du projet . . . . .	6
<b>3 Présentation détaillée de la problématique</b>	<b>7</b>
3.1 Description du service de liste de confiance globale . . . . .	7
3.1.1 Besoins générales . . . . .	9
3.1.2 Besoins du système . . . . .	9
3.1.3 Besoins logicielles . . . . .	14
3.2 Limites de l'architecture actuelle . . . . .	14
3.3 Gestion de projet . . . . .	15
3.3.1 Méthode de gestion de projet . . . . .	15
3.3.2 Organisation du temps . . . . .	16
<b>4 État de l'art des solutions envisagées</b>	<b>20</b>
<b>5 Analyse du problème et solution élaborée</b>	<b>21</b>

<b>6</b>	<b>Réalisation, présentation et validation de la solution proposée</b>	<b>22</b>
<b>7</b>	<b>Résultats obtenus &amp; Perspectives</b>	<b>23</b>
<b>8</b>	<b>Conclusion</b>	<b>24</b>
<b>9</b>	<b>Exemples Listings</b>	<b>25</b>
<b>10</b>	<b>Autre chapitre</b>	<b>29</b>
10.1	Autre section . . . . .	29
10.1.1	Première sous-section . . . . .	29
	<b>Bibliographie / Webographie</b>	<b>31</b>
	<b>Liste des illustrations</b>	<b>33</b>
	<b>Liste des tableaux</b>	<b>35</b>
	<b>Listings</b>	<b>37</b>
	<b>Glossaire</b>	<b>39</b>
	<b>Annexes</b>	<b>42</b>
<b>A</b>	<b>Première Annexe</b>	<b>43</b>
<b>B</b>	<b>Seconde Annexe</b>	<b>45</b>
	<b>Résumé</b>	<b>47</b>
	<b>Abstract</b>	<b>47</b>

# 1 Introduction

La technologie blockchain s'est popularisée ces dernières années grâce à l'expansion de la crypto-monnaie<sup>1</sup> Bitcoin<sup>2</sup> [4] à travers le monde. En effet, cette technologie a bouleversé aussi bien le monde de l'informatique que le monde de la finance. L'investissement autour de la blockchain a mené à un engouement général pour ce concept. Le Bitcoin a réussi à remettre en cause des acteurs majeurs de notre société tels que les banques ou les géants du Web, en sécurisant des échanges d'actifs sans organe central de contrôle. La révolution qu'il a engendré amène aujourd'hui les gouvernements et autres organisations publiques à réfléchir sur la régulation de la technologie et des crypto-monnaies naissantes. Depuis son lancement en 2009, la blockchain n'a cessé d'évoluer et d'étendre son champ d'application. Bien qu'à l'origine elle a été conçue pour le transfert de crypto-monnaie, les avantages qu'elle apporte permettent d'imaginer de multiples cas d'utilisation qui dépassent son cadre initial d'échanges d'actifs. À l'heure où l'ubérisation<sup>3</sup> de notre société est en marche, la technologie blockchain amène une approche nouvelle qui permet de se détacher de toute organe central ou tierce partie. La blockchain ira-t-elle jusqu'à ubériser<sup>4</sup> Uber<sup>5</sup> ?

## 1.1 Présentation de la technologie blockchain

Une blockchain est basée sur l'échange d'actifs numériques, réalisé grâce à des transactions signées, et agit comme un registre publique distribué où toutes les transactions y sont répertoriées. Elle repose sur des principes de cryptographie afin d'assurer l'intégrité de ces transactions et sur un protocole décentralisé, dit *peer-to-peer*, qui permet à la blockchain d'avoir une disponibilité maximale et d'établir un consensus entre les participants du réseau afin de protéger contre les falsifications. La Figure 1.1 représente le processus de création et de validation d'une transaction sur la blockchain.

---

1. La crypto-monnaie aussi appelée monnaie cryptographique est une monnaie électronique basé sur les principes de la cryptographie.

2. Bitcoin est une crypto-monnaie et un système de paiement pair-à-pair

3. L'ubérisation est un phénomène économique désignant l'utilisation de services permettant aux professionnels et aux clients de se mettre en contact direct grâce à l'utilisation des nouvelles technologies

4. Ubériser est le verbe issu du substantif ubériser

5. Uber est l'entreprise qui déclencha ce qu'on appelle l'ubérisation

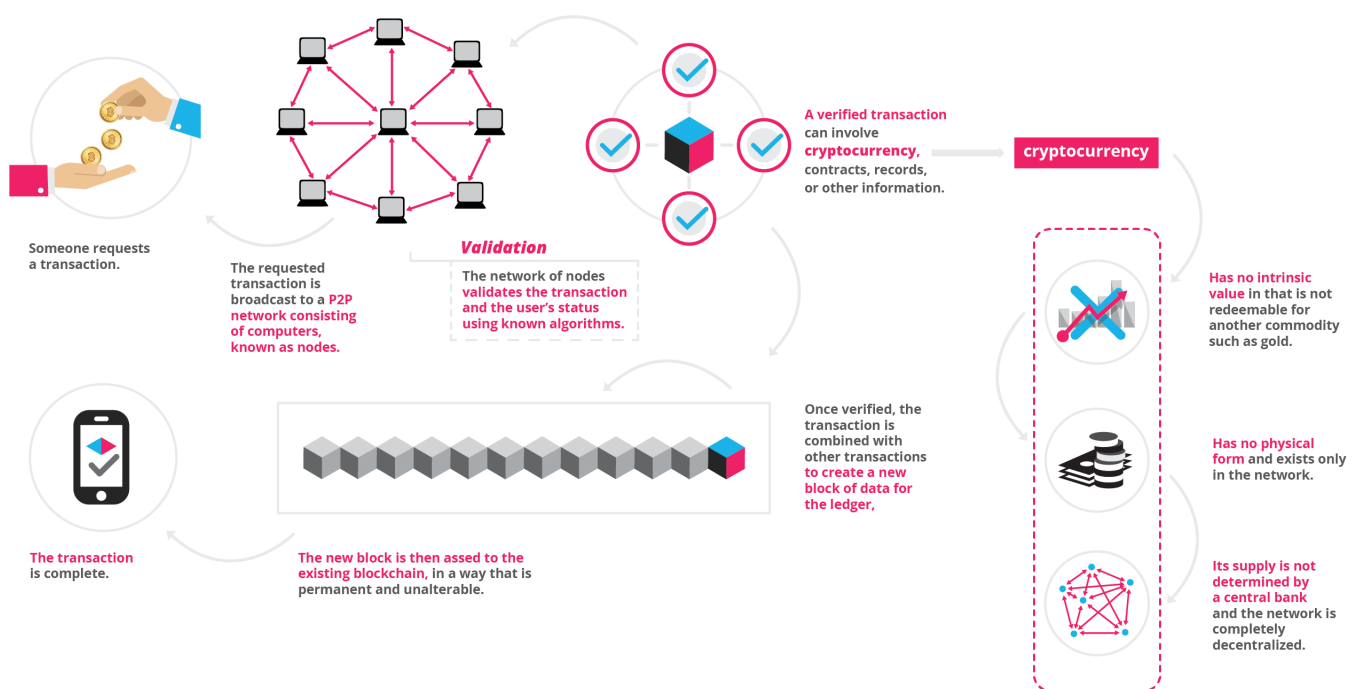


FIGURE 1.1 – A TRADUIRE ET A REFAIRE FORMAT A4!!! Processus de création et de validation d'une transaction sur la blockchain



### 1.1.1 Avantages de la blockchain

Si cette technologie connaît un tel succès c'est parce qu'elle apporte de nombreux avantages :

- la décentralisation, qui signifie que son architecture ne repose pas sur une entité centrale et permet d'enregistrer des données dans un réseau distribué ;
- la transparence, puisque l'état des données conservées est consultable publiquement par tout le monde ;
- l'autonomie, puisqu'elle est basée sur un consensus dans lequel chaque partie prenante peut transférer des données de manière sécurisée et autonome ;
- l'immutabilité, en effet toute transaction est persistée définitivement et donc ne peut être effacée ;
- l'anonymat, car toute personne est anonyme dans le sens où elle n'est pas désignée par son identité mais uniquement par une clé publique <sup>6</sup>.

### 1.1.2 Inconvénients de la blockchain

PRIIX ?

## 1.2 Définition du cadre et des objectifs du stage

Dans ce contexte, un stage ingénieur a été réalisé sur une période de 6 mois au sein de la société Arns SpikeSeed située au Luxembourg. Le stage a été réalisé dans les locaux de l'entreprise, la langue officielle du projet pour les communications avec les autres membres du consortium (mails, documents, conférence téléphonique) est l'anglais, il en est de même pour la langue utilisée au sein de l'équipe puisque c'est une équipe multinationale. Les documents produits, et présentés dans ce mémoire, ont donc été rédigés en anglais. Ce stage de fin d'études a pour objectif d'intégrer la technologie blockchain au sein d'un processus de gestion de listes de services de confiance dans le cadre d'un règlement européen. La finalité est d'utiliser cette technologie afin de conserver des données publiques relatives à la confiance électronique de manière sécurisée et décentralisée en utilisant une blockchain en tant que registre. Cela a pour but d'assurer la disponibilité et l'intégrité des informations, puisque les données sont distribuées à travers les nœuds du réseau et sécurisées à l'aide de transactions signées et vérifiées par une preuve mathématique.

## 1.3 Mise en exergue du plan

### ÉDIT EN FONCTION DU PLAN DÉFINITIF

*Ce mémoire vise à montrer que le champ d'application de la technologie blockchain dépasse son cadre initial et que son utilisation permet de pallier aux problèmes d'architecture et de sécurité des modèles actuels. Dans un premier temps, le contexte du projet sera défini, puis la problématique, qui détaillera les limites des architectures actuelles, sera exposée. Ensuite, sera établi un état de l'art afin de comparer les outils existants et de justifier les choix opérés durant le stage. Après cela, la réalisation*

---

6. Une clé publique est un encodage rendu public dans le cadre d'un échange d'informations utilisant le principe de la cryptographie asymétrique

*du projet sera développée en expliquant : le choix de l'architecture mise en place; l'avantage de persister des données dans un système de fichiers décentralisé; l'intérêt de gérer l'authentification des utilisateurs par la mise en place d'un consensus; l'implémentation d'un système de contrôle de versions et d'un moteur de recherche sur des données stockées dans un réseau décentralisé et distribué. Enfin, les résultats obtenus et les perspectives du projet seront détaillés.*

## 2 Présentation du contexte

### 2.1 L'entreprise Arņs Spikeseed

Arņs Spikeseed est une entité du groupe Arņs qui est une entreprise de services du numérique (ESN) fondée en 2003 par Jourdan Serderidis. Le groupe est divisé en sociétés réparties au Luxembourg, en Belgique, en Grèce et depuis cette année en Italie. Le groupe Arņs possède cinq axes de compétences qui sont présentés dans la Figure 2.1.

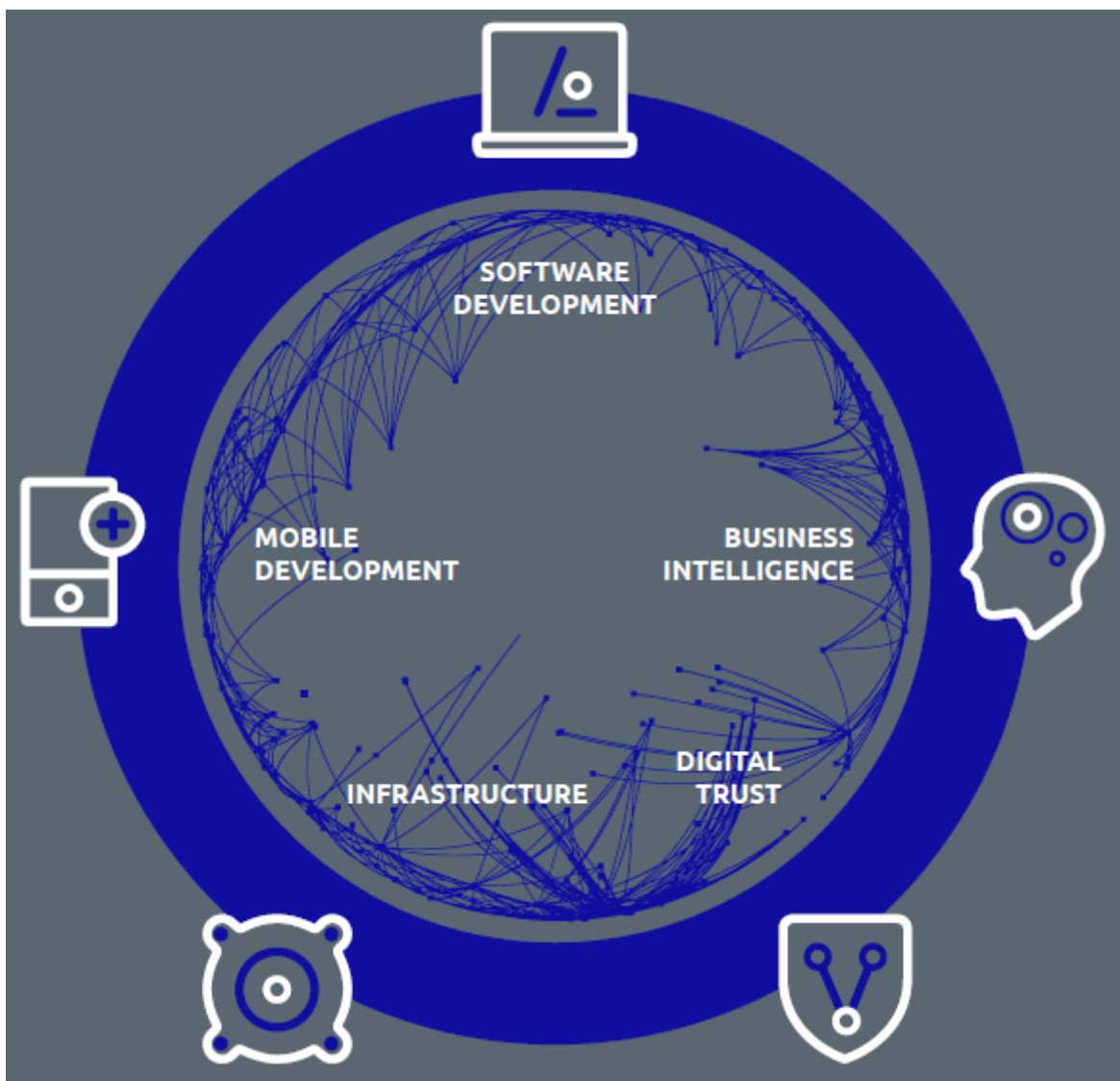


FIGURE 2.1 – Axes de compétences du groupe Arņs [1]

Comme toutes les autres entités du groupe, Arns Spikeseed vise à délivrer des solutions numériques complexes. Elle a la particularité de réaliser principalement des projets de recherche et développement en s'appuyant sur les pratiques agiles et des technologies de pointe. De plus, Arns Spikeseed est compétente afin de mettre en œuvre : des solutions liées à la confiance numérique ; des systèmes engageant des masses de données grâce à des technologies innovantes et efficaces comme le Web sémantique ou la Business intelligence ; des applications destinées aux mobiles et aux objets connectés.

## **2.2 Contexte du projet**

Dans le cadre d'un règlement de l'Union Européenne (UE) sur l'identification électronique (eID) et les services de confiance pour les transactions électroniques sécurisées au sein de l'UE (eIDAS), la Commission Européenne (CE) a émis un appel à projet qui a pour visée de supporter la mise en œuvre technique de ce règlement européen. Ce projet de recherche et développement appelé FutureTrust rassemble un consortium de seize partenaires, dont Arns Spikeseed, engagé dans la réalisation et la mise en application du règlement européen. Le projet FutureTrust répondra au besoin de solutions globales et interopérables, en fournissant des logiciels libres qui faciliteront l'utilisation de l'identification et de la signature électronique. Il vise à étendre l'infrastructure de la liste européenne de services de confiance existante vers une liste mondiale des services de confiance, nommée Global Trust Service Status List (gTSL), à développer un service de validation ainsi qu'un service d'archivage pour les signatures et les sceaux électroniques, et à fournir des composants pour les certificats qualifiés et pour la création de signatures et de sceaux dans un environnement mobile.

Ce stage de fin d'études a porté sur l'intégration la technologie blockchain dans le cadre du projet FutureTrust et plus particulièrement sur son intégration dans le module de gTSL. Les autres modules du projet ne seront pas détaillés dans ce document.

## 3 Présentation détaillée de la problématique

Les architectures logicielles évoluent en suivant les innovations technologiques. Aujourd'hui, le domaine de la recherche apporte des nouvelles technologies ou des améliorations aux concepts existants à une vitesse exponentielle, si bien que le temps de réalisation d'un projet le rend obsolète lors de sa livraison. Le meilleur exemple de ce phénomène est le framework Angular, initié par Google, qui est passé de la version 2 à la version 5 en moins d'une année. C'est la réalité actuelle de l'univers technologique poussé par l'innovation, un monde où les acteurs doivent s'adapter en permanence aux changements. La technologie blockchain s'inscrit dans ces innovations récentes issues de la recherche. Elle amène une nouvelle vision d'un Internet décentralisé sans organe central de contrôle, qui va probablement révolutionner la conception des systèmes d'information dans les prochaines années. Dans ce contexte, l'utilisation de la blockchain a été proposée dans le cadre du projet FutureTrust.

### 3.1 Description du service de liste de confiance globale

- *Détail du sujet*
- *(design document 4. Requirements)*
- *(schéma page 15 ETSI 119 612 : Structure d'une TSL)*

Les États membres de l'UE et d'autres pays européens maintiennent généralement des listes d'autorités de certification et d'autres fournisseurs de services de confiance, désignés Trust Service Providers (TSP), dans un ou plusieurs registres à l'échelle nationale. La liste de confiance des États membres de l'UE comprend des informations relatives aux TSPs qualifiés qui sont supervisés par l'État membre compétent, ainsi que des informations relatives aux services de confiance, désignés Trust Services (TS), qu'ils fournissent, conformément aux dispositions prévues par le règlement eIDAS. Les listes de confiance sont des éléments essentiels dans la mise en place de la confiance numérique pour les opérateurs du marché électronique, en permettant aux utilisateurs de déterminer le statut qualifié des TSPs et de leurs TSs. En vertu du règlement eIDAS, les listes nationales de confiance ont un effet constitutif. En d'autres termes, un fournisseur ou un service ne sera qualifié que s'il apparaît dans les listes de confiance. Par conséquent, les utilisateurs (citoyens, entreprises ou administrations publiques) bénéficieront de l'effet juridique associé à un service de confiance qualifié donné uniquement si ce dernier est répertorié (comme qualifié) dans les listes de confiance. Les États membres peuvent inclure dans les listes de confiance des informations sur les fournisseurs de services de confiance non qualifiés et sur d'autres services de confiance définis au niveau national.

La structure d'une liste de confiance est présentée dans la Figure 3.1.

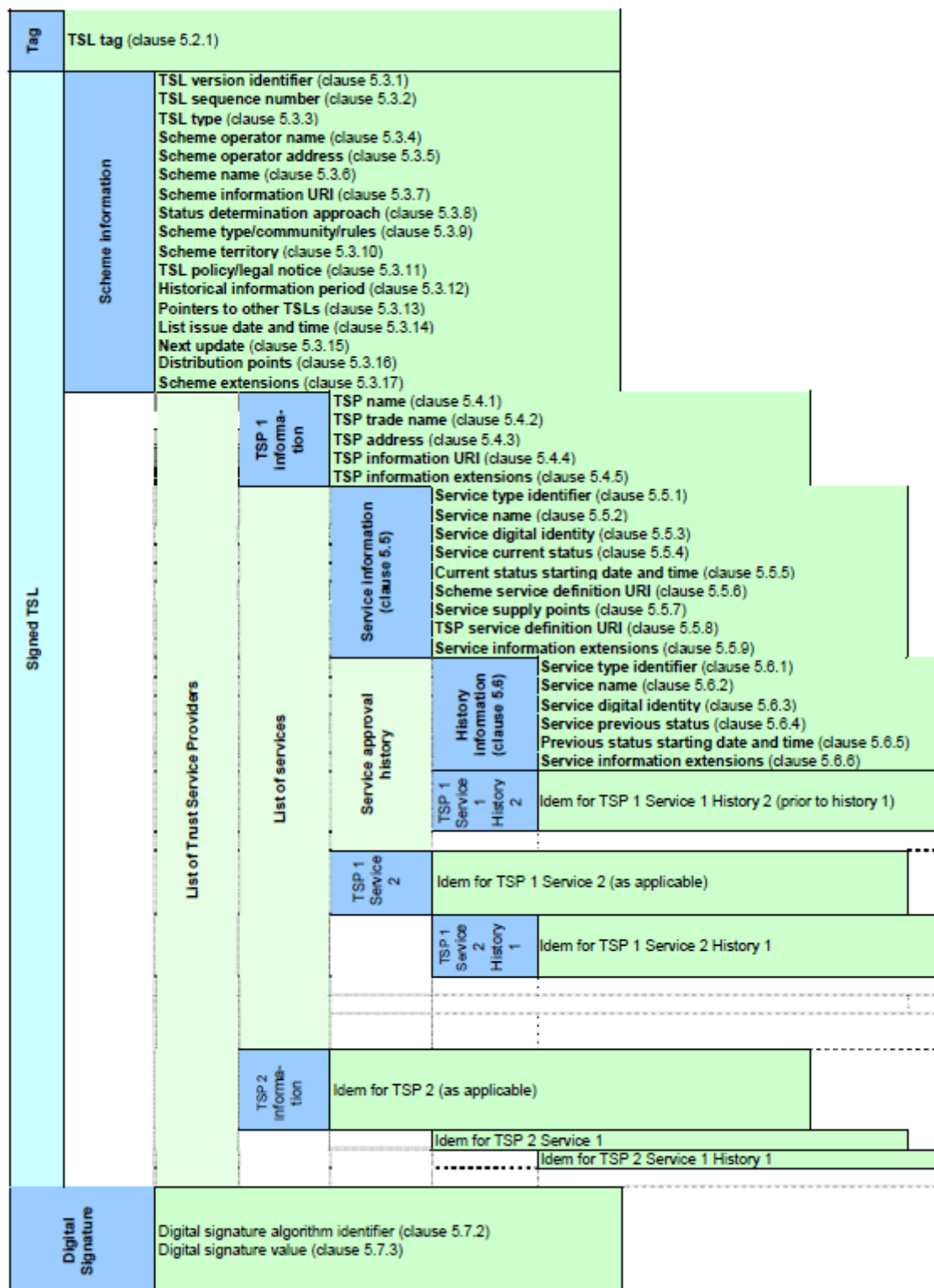


FIGURE 3.1 – REFAIRE CE SCHEMA!!!! gTSL – Structure d’une liste de confiance

### 3.1.1 Besoins générales

#### Intérêt du projet

L'intérêt d'un service de gTSL est de favoriser l'établissement de relations de confiance entre les opérateurs du marché en Europe et au-delà. À ce titre, elle étend le schéma actuel de la liste des services de confiance, dont la portée est uniquement européenne. Cette liste a pour but de répertorier les TSPs, ayant un statut qualifié ou non. On entend par statut qualifié que le TSP ait été accrédité par un organisme compétent au sein de l'État membre dans lequel le TSP est déclaré. Le service permet aux utilisateurs finaux de vérifier le statut de ces TSPs et d'accéder à l'ensemble des informations concernant les services de confiance.

#### Parties prenantes

Les acteurs principaux de la gTSL sont :

- les États membres de l'UE, qui doivent établir, maintenir et publier les listes de confiance, incluant les informations relatives aux TSPs de services déclarés au sein de leur État ;
- les fournisseurs de services de confiance, qui sont destinés à s'appuyer sur le service de gTSL dans lequel sont publiés leur statut qualifié et leurs informations publiques ;
- les opérateurs de liste de confiance ne faisant pas partie d'un État membre de l'UE, qui souhaitent intégrer leur liste dans la gTSL ;
- les citoyens de l'UE et non UE, qui sont destinés à utiliser le service afin d'accéder aux statuts et aux informations des différents TSPs répertoriés dans la gTSL.

#### Objectif du projet

L'objectif principal de la gTSL est de gérer et de fournir les informations relatives aux TSPs qualifiés au sein de l'Union Européenne et au-delà, en étendant le modèle actuel de la liste européenne de services de confiance. De plus, cette réorganisation de l'architecture vise à gérer la gTSL de manière décentralisée dans le but d'en améliorer sa résilience ainsi que sa gestion.

### 3.1.2 Besoins du système

#### Objectif du système

En s'appuyant sur la norme de listes de confiance définie dans ETSI TS 119 612 [3], la gTSL vise à résoudre les imperfections actuelles du schéma de liste de confiance lorsqu'il est considéré dans un contexte globalisé. À l'heure actuelle, la Commission européenne publie une liste signée de pointeurs, nommée European List of the Lists (LoTL), dans laquelle chaque pointeur désigne un point de distribution pour une liste nationale de TSPs. Ces listes nationales contiennent des informations sur les TSPs qualifiés et non qualifiés ainsi que sur les services qualifiés ou non qualifiés qu'ils proposent. Avec le modèle actuel, les modifications apportées au contenu d'une liste nationale induisent la nécessité de republier toute la liste nationale. De plus, toutes modifications apportées sur l'URL<sup>1</sup> à laquelle la liste est distribuée ou sur le certificat utilisé pour signer

---

1. Une URL (acronyme anglais de Uniform Resource Locator) est couramment appelé adresse web.

la liste, induisent la nécessité de republier à la fois la liste nationale et la liste européenne. Le caractère centralisé du système de distribution des listes de confiance actuel contient des potentiels problèmes qui doivent être résolus dans le cadre de la globalisation des listes de services de confiance :

- les lites des États membres sont uniquement récupérable en basant sur la LoTL, le schéma actuel est donc sujet à un point individuel de défaillance<sup>2</sup> ;
- des problèmes de performance et de latence peuvent être rencontrés puisqu'il est nécessaire de télécharger et valider l'ensemble des informations qui sont réparties sur différents points de distribution ;
- l'architecture actuelle nécessite que l'ensemble des nœuds de distribution des États membres soit actifs car dans le cas contraire les informations des TSPs des États membres dont le nœud n'est pas actif ne sont plus disponibles ;
- le schéma actuel ne conserve pas l'historique des modifications, c'est-à-dire qu'une nouvelle publication d'une liste remplace totalement la précédente, ce qui ne permet pas de conserver une trace des modifications mises en œuvre entre les versions.

## Portée du système

La portée de la gTSL concerne la définition de services de confiance qualifiés et de fournisseurs de services de confiance. À ce titre, elle fournira les fonctions nécessaires à la création, à la mise à jour et à la distribution des fournisseurs de services de confiance et des informations concernant leurs services de confiance.

## Présentation du système

Afin d'atteindre ses objectifs, le gTSL s'appuiera sur deux principaux composants open source :

- Global Trust Service Lifecycle Manager<sup>3</sup>
- Global Trust Service Responder<sup>4</sup>

De plus, la gTSL s'appuiera sur une interface d'administration afin de présenter les fonctions de gestion des listes de confiance aux utilisateurs. Ces composants et leurs interactions sont illustrés dans la Figure 3.2.

L'objectif du Global Trust Service Responder est de permettre aux applications externes et aux utilisateurs d'interroger la gTSL afin de récupérer les informations relatives aux TSPs, dans le but de vérifier leur statut à un moment donné. Il fournira donc les fonctions nécessaires pour répondre aux demandes d'information sur les statuts de confiance. L'objectif du Global Trust Service Lifecycle Manager est de faciliter la gestion de la hiérarchie des services de confiance, et de permettre la mise à jour du statut des TSPs. Il fournira les fonctions nécessaires à la création, à la mise à jour et à la distribution des informations relatives aux statuts de confiance.

D'un point de vue architectural, le gTSL s'appuiera sur une architecture à 3 couches :

- La couche de services externes exposera les interfaces externes du système, i.e. le Global Trust Service Responder et l'interface d'administration ;
- La couche métier sera composée du Global Trust List Service Lifecycle Manager ;

---

2. Un point individuel de défaillance (single point of failure ou SPOF en anglais) est un point d'un système informatique dont le reste du système est dépendant et dont une panne entraîne l'arrêt complet du système

3. en français, Gestionnaire du cycle de vie

4. en français, Répondeur (dans le sens où il répond aux requêtes des utilisateurs)



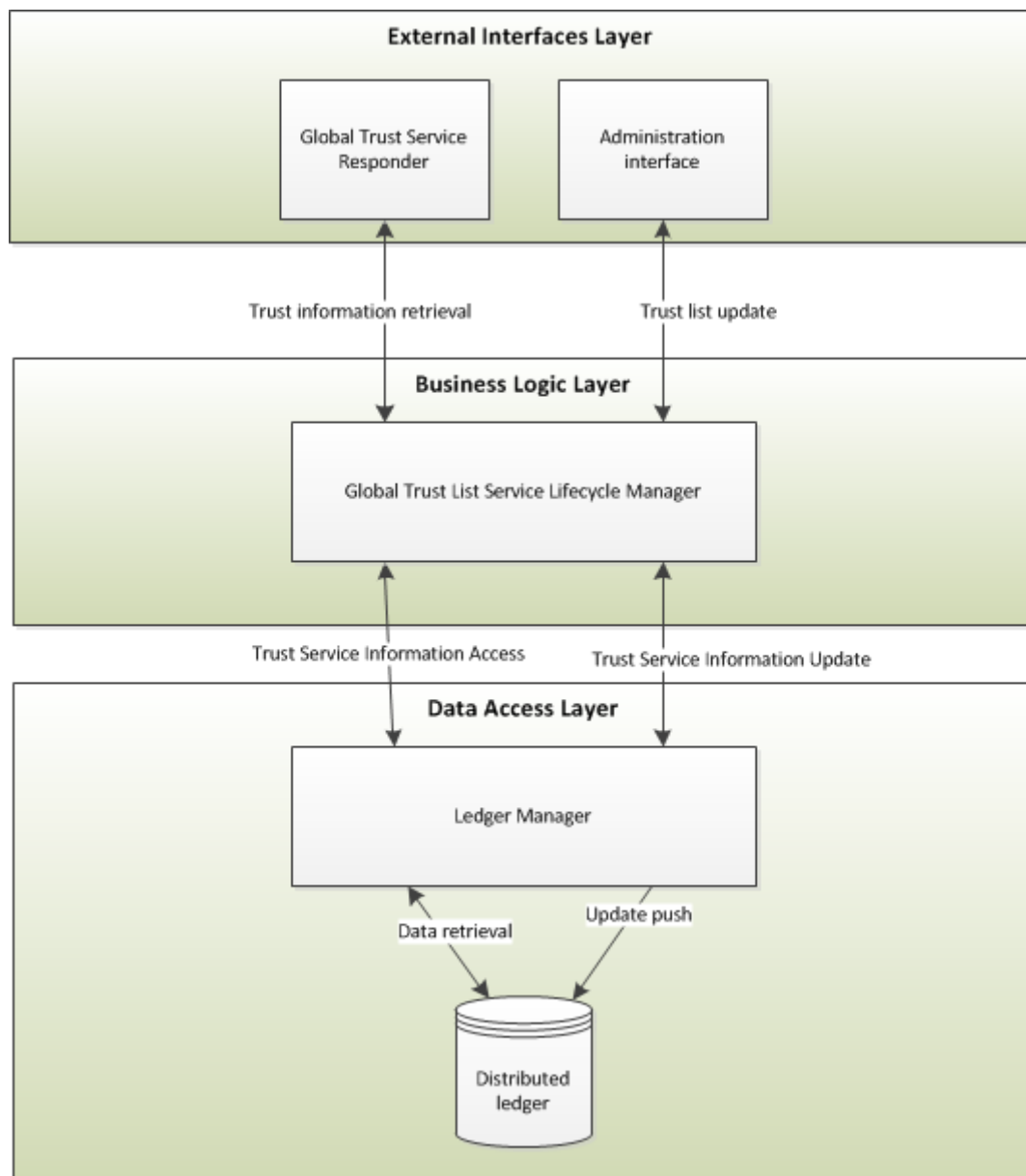


FIGURE 3.2 – gTSL – Architecture 3-Tier [2]

- La couche de données correspondra aux interfaces et aux composants qui permettent de connecter le gTSL à une solution de stockage de données.

L'un des objectifs de la gTSL est de s'appuyer sur le modèle de distribution centralisé actuel et de l'adapter à un nouveau modèle décentralisé. L'émergence récente du concept de blockchain et les développements qui l'accompagnent dans les solutions de stockage de données basé sur cette technologie apportent un ensemble de solutions potentielles à cet objectif de décentralisation.

La Section 4 présente les différentes implémentations de blockchain et de système de stockage de données décentralisé pouvant s'interfacer avec une blockchain qui ont été considérées et décrit les interfaces définies pour la couche de données.

## Contexte du système

La Figure 3.3 fournit une description de haut niveau des interactions du système avec des entités externes.

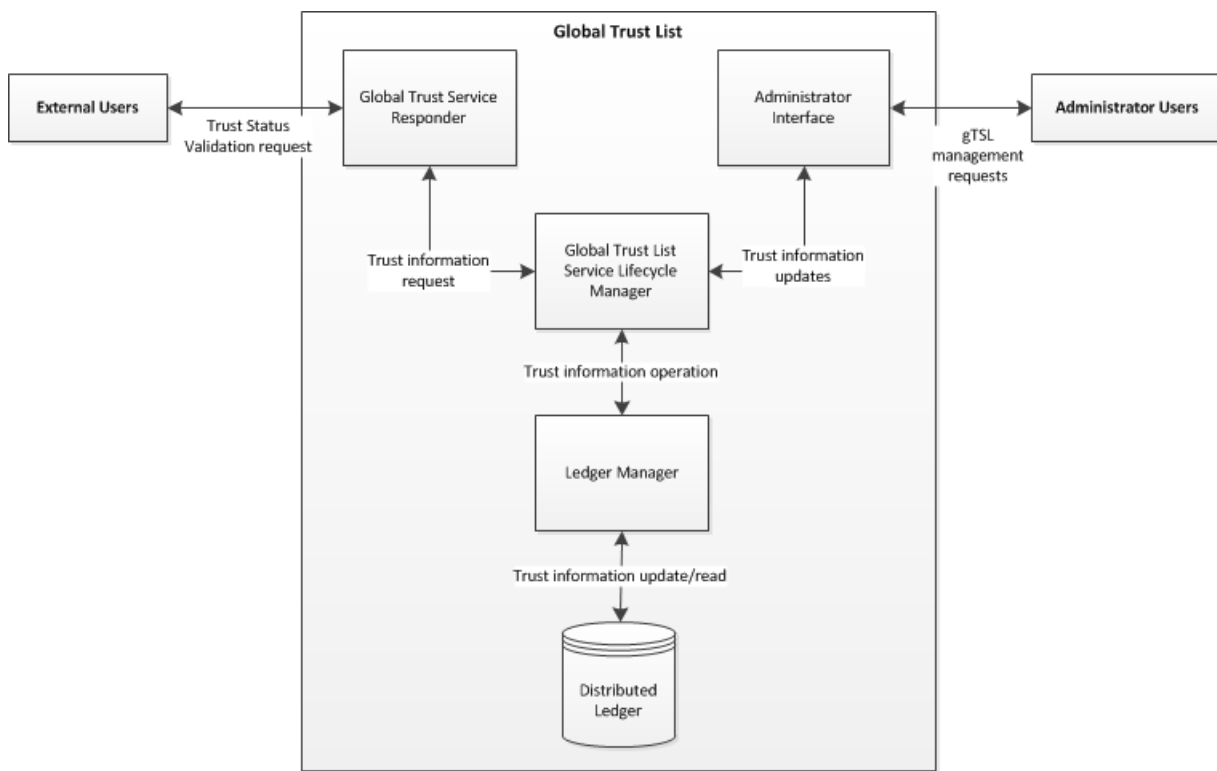


FIGURE 3.3 – gTSL - Schéma du contexte du système [2]

L'entité External Users<sup>5</sup> représente tous les utilisateurs externes qui souhaitent interagir avec le système sans privilèges spécifiques, dans le but de récupérer des informations relatives à la gTSL. Le Validation Service<sup>6</sup> développé dans le cadre du projet FutureTrust est un des ces utilisateurs externes. L'entité Administrator Users<sup>7</sup> représente tous les utilisateurs externes qui sont autorisés à effectuer des opérations de gestion sur la gTSL, comme par exemple mettre à jour les informations d'un TSP.

## Caractéristiques des utilisateurs

Deux types différents d'utilisateurs ont été identifiés concernant la gTSL :

- Utilisateurs d'administration, i.e. les administrateurs de plates-formes, qui peuvent agir au nom d'un État membre de l'UE et qui sont chargés de la maintenance quotidienne et de la gestion des listes de confiance ;
- Utilisateurs externes, i.e. les personnes et les applications externes qui souhaitent obtenir des informations concernant les statuts de confiance pour un TSP, un TS ou un État membre donné.

Ces utilisateurs auront accès au système à travers des interfaces dédiées :

---

5. en français, utilisateurs externes

6. en français, service de validation

7. en français, utilisateurs d'administration

- Utilisateurs d’administration auront accès à une plateforme de gestion de la gTSL, qui exposera sans ambiguïté les différentes fonctionnalités d’administration auxquelles les utilisateurs doivent avoir accès ;
- Utilisateurs externes auront accès à la fois à une interface graphique et à une seconde interface de web services <sup>8</sup>, qui permettra la récupération d’informations concernant les statuts des services de confiance sur base de certificats électroniques fournis par l’utilisateur ainsi que des informations générales concernant les TSPs.

## **Besoins fonctionnelles**

Les besoins fonctionnelles identifiés pour la gTSL sont :

- La gTSL doit permettre la gestion des *Trust Anchors and Meta-data of Identity Providers* ;
- La gTSL doit supporter l’internationalisation (non-UE) du règlement eIDAS. À ce titre, la gTSL doit permettre l’ajout de TSPs déclarés dans un pays qui n’est pas membre de l’UE, qu’ils soient qualifiés ou non.

## **Besoins d’utilisation**

Les besoins d’utilisation identifiés pour la gTSL sont :

- La gTSL doit offrir une interface permettant la récupération ainsi que la publication d’informations relatives aux TSPs. Au minimum, afin d’assurer la conformité avec le standard ETSI TS 119 612 [3], la gTSL doit être disponible via le protocole HTTP.

## **Besoins de performance**

Les besoins de performance identifiés pour la gTSL sont :

- la gTSL doit apporter un stockage interne efficace pour stocker les informations de statut sur les TSPs.
- la gTSL doit être hautement scalable afin de gérer efficacement de nombreuses quantités de demandes parallèles.

## **Interfaces du système**

La gTSL doit exposer, grâce à une interface de web services, les fonctionnalités permettant la récupération d’informations concernant les statuts des services de confiance.

## **Interfaces utilisateurs**

Les fonctionnalités de gestion de la gTSL doivent être fournies à travers une interface web cohérente et intuitive, permettant aux utilisateurs de l’utiliser sans ambiguïté. Les interfaces utilisateur doivent rester cohérentes avec les interfaces utilisateur de l’application TL-Manager actuelle tout en ne montrant aucune ambiguïté en termes de hiérarchie visuelle et de contenu.

---

8. Un web service correspond à l’implémentation d’une ressource identifiée par une URL

## Fiabilité du système

La gTSL doit être disponible sur une base de 24 heures par jour et 7 jours par semaine. Plus particulièrement, dans le but d'être conforme avec le standard ETSI TS 119 612 [3], le Global Trust Service Responder doit être disponible sur une base de 24 heures par jour et 7 jours par semaine, avec une disponibilité annuelle minimum de 99.9%.

## Sécurité du système

En raison de la nature sensible des données gérées par la gTSL, et de la haute disponibilité requise, les besoins en terme de sécurité doivent garantir que ces données ne peuvent être et ne sont pas compromises et que la gestion des services de confiance et des fournisseurs de services de confiance est clairement limitée aux personnes autorisées. La gTSL ne doit pas permettre à des personnes non autorisées de créer, modifier ou supprimer des informations relatives à des services de confiance ou des fournisseurs de services de confiance. La gTSL doit assurer l'intégrité des données qu'elle traite.

### 3.1.3 Besoins logicielles

#### Conformité au standard

La gTSL doit être conforme avec le standard ETSI TS 119 612 [3]. À ce titre, la gTSL doit respecter :

- le format et la sémantique d'une liste de confiance ;
- les mécanismes à utiliser pour aider les parties prenantes à localiser, à accéder et à authentifier les listes de confiance.

#### Rétrocompatibilité

La gTSL doit pouvoir s'intégrer au schéma existant basé sur la LoTL. Cela signifie qu'elle est capable d'importer l'ensemble des listes de confiance actuellement référencées dans la LoTL, mettre en évidence les changements au fur et à mesure qu'ils se produisent grâce à un historique et permettre d'ajouter d'autres TSPs hors UE.

## 3.2 Limites de l'architecture actuelle

*Détailler l'architecture existante : "La finalité du stage est de d'effectuer une refonte de l'architecture actuelle qui a montré ses limites en y apportant des technologies innovantes."*

- *décentralisation, pour éviter le single point of failure*  
*-> actuellement LoTL est le single point of failure*
- *distribué, afin de maintenir les données dans l'ensemble du réseau*  
*-> actuellement chaque Member State maintient ses propres de données ce qui veut dire que si le noeud d'un Member State tombe, ses données ne sont plus disponibles*
- *sécurité, intégrité des données + consensus*

- > actuellement, une partie des données est stockée dans une BD, l'autre partie sont des fichiers XML répartis sur plusieurs endpoints, difficile de vérifier l'intégrité des données de tous les endpoints en effet si un Member State est corrompu on ne peut pas le savoir
- résilience, réseau publique avec +1M de noeuds jamais down
  - > actuellement l'architecture client-serveur repose entièrement sur la LoTL (qui agit comme un point central, donc à éviter) + chaque noeud est indépendant et se gère seul mais pb de résilience "globale" si un noeud est down

*Enoncer clairement la problématique en une phrase : "Décentraliser le modèle actuel afin de résoudre les pbs de résilience, sécurité... grâce à un réseau décentralisé et distribué"*

## 3.3 Gestion de projet

### 3.3.1 Méthode de gestion de projet

La méthode Agile a été utilisée au cours de ce projet. Plus particulièrement, l'équipe s'est appuyée sur le schéma Scrum, qui permet un cadre de travail itératif où les tâches majeures sont décomposées en sous-tâches. La méthodologie Scrum est basée sur le découpage d'un projet en sprints<sup>9</sup>, qui sont des cycles de livraison très courts. Un sprint peut s'étendre sur une durée de quelques heures à un mois. Dans notre cas, nous avons choisi une durée de deux semaines par sprint. En début de sprint, une estimation de la durée de chaque tâche est effectuée, ensuite une planification opérationnelle est réalisée. Un sprint se termine généralement par une démonstration du travail réalisé suivie d'une rétrospective, afin d'analyser le déroulement du sprint achevé et dans le but d'améliorer les pratiques de l'équipe. Quotidiennement est organisé un scrum meeting<sup>10</sup>, réunion courte et énergique, qui permet à l'équipe de discuter de l'avancée du sprint et de lever les points bloquants du projet. Afin de suivre la progression des objectifs au fur et à mesure de l'avancement du projet, nous avons utilisé l'outil JIRA. Il a servi notamment à définir les différentes tâches du projet et à répartir le travail entre les membres de l'équipe.

#### Les avantages majeures de Scrum

Scrum apporte des avantages qui sont définies comme étant les trois piliers de la méthodologie :

- la transparence, par l'utilisation d'un langage commun afin de permettre à tout un chacun d'obtenir rapidement une bonne compréhension du projet et par la garantie que tous les indicateurs relatifs à l'état du développement soient visibles ;
- l'inspection, par l'analyse quotidienne du travail accompli et restant lors des sprints, afin de repérer tout indicateur indésirable ;
- l'adaptation, dans le cas d'une dérive après inspection, des ajustements doivent être effectués afin de minimiser les écarts de réalisation.

---

9. Un sprint est une période sur laquelle sont réalisées des tâches définies

10. Un scrum meeting est communément appelé mêlée en français

### 3.3.2 Organisation du temps

La Figure 3.4 est un diagramme de Gantt qui expose de manière globale la répartition du travail réalisé. Ce diagramme est volontairement non détaillé puisque l'utilisation de la méthodologie Agile ne permet pas d'organiser à l'avance et avec précision la réalisation des tâches. Il est important de noter que le diagramme se termine à la date de fin du stage mais que la livraison du projet est prévue au 30 novembre 2017.

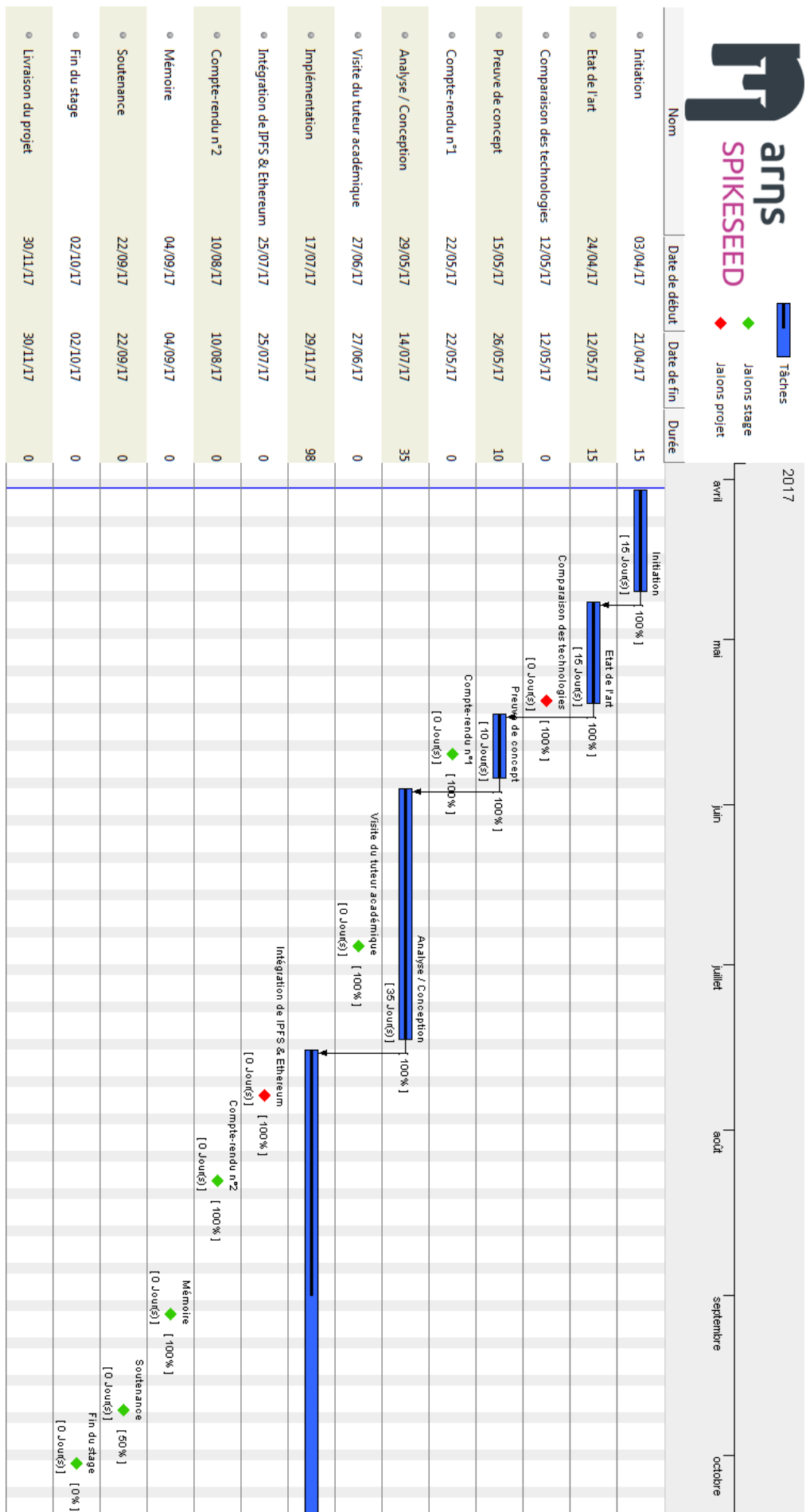


FIGURE 3.4 – Diagramme de Gantt

Le diagramme de Gantt en Figure 3.4 permet d'avoir un aperçu de l'organisation du stage. Le stage s'est déroulé sur une période de six mois, du 3 avril 2017 au 30 septembre 2017. Durant cette période, j'ai été amené à réaliser différentes tâches qui seront détaillées dans la suite de ce mémoire. D'un point de vue générale, le stage a été décomposée en cinq parties majeures qui sont décrites ci-après.

## **Initiation**

La phase d'initiation a commencé dès le début du stage et a duré environ trois semaines. Elle peut être décomposée en deux sous-parties. Dans un premier temps, j'ai dû me familiariser avec le projet. Pour réaliser cela, j'ai eu accès au document de conception de la gTSL [2] qui explique, d'une manière générale et sans précision de technologies, l'architecture à mettre en place ainsi que les cas d'utilisation à implémenter dans le cadre du projet FutureTrust. J'ai pris connaissance du standard ETSI TS 119 612 [3] qui détaille le format à respecter dans le cadre des listes de confiance. Dans un second temps, j'ai effectué des recherches sur les notions de cryptographie, de signature électronique et de blockchain afin de les mettre en œuvre dans le projet. Cette seconde partie a été la préparation du travail suivant qui est l'état de l'art.

## **État de l'art**

La seconde phase, ayant pour objectif d'établir un état de l'art, a suivi la phase d'initiation et s'est étendue sur trois semaines. L'état de l'art permet de connaître l'état des connaissances et technologies actuelles dans un domaine spécifique. Pour notre projet, l'état de l'art a porté sur la blockchain ainsi que les systèmes de stockage de données décentralisés. Le but de cette phase a été d'explorer le plus largement possible les technologies pouvant être utilisées dans le projet afin de les comparer et de choisir les solutions répondant à nos besoins. Cette étape a donné lieu à un livrable qui a été inclus dans le document de conception de la gTSL comme le montre le jalon "Comparaison des technologies" dans la Figure 3.4. L'état de l'art est détaillé dans la Section 4.

## **Preuve de concept**

À la suite de l'état de l'art, un choix de technologies a été effectué. L'étape suivante a donc été de prouver que les choix opérés correspondent aux besoins du projet. Pour cela, j'ai pu réaliser une preuve de concept sur une durée de quinze jours. Cette phase a ensuite donné lieu à une démonstration à l'équipe afin de valider de manière définitive les choix technologiques. Le détail de la preuve de concept ainsi que la justification des choix opérés sont présentés dans la Section 6.

## **Analyse / Conception**

La phase d'analyse et conception a été précédée de la preuve de concept qui a permis de valider les technologies à utiliser pour le projet. Dans le cadre de cette phase, nous avons déterminé les modules à implémenter afin de répondre aux besoins exprimés dans le document de conception. L'analyse et la conception ont consisté à réfléchir sur la mise en place d'une architecture décentralisée basée sur une blockchain en étant conforme aux différentes contraintes définies dans le document de conception et en s'appuyant sur les technologies choisies. Cette partie a duré un mois et demi, et est détaillée dans la Section 5.



## **Implémentation**

La dernière phase, et la plus conséquente puisqu'elle s'étend sur de la mi-juillet à fin novembre, est l'implémentation. Elle consiste à développer la solution conçue et imaginée lors de la phase d'analyse et conception. Lors de la rédaction de ce mémoire, cette phase est en cours de réalisation. Cette phase est découpée en sprints d'une durée chacun de deux semaines. L'implémentation est détaillée dans la Section 6.

## 4 État de l'art des solutions envisagées

- On veut une techno pour stocker, gérer et récupérer les données de la gTSL - Amener sur le type de techno à utiliser (blockchain, database décentralisée, file system décentralisé...) - Enoncer le principal désavantages de la blockchain qui est son coût (cf. Ethereum & IPFS integration). - Etat de l'art : Comparison document + Design document

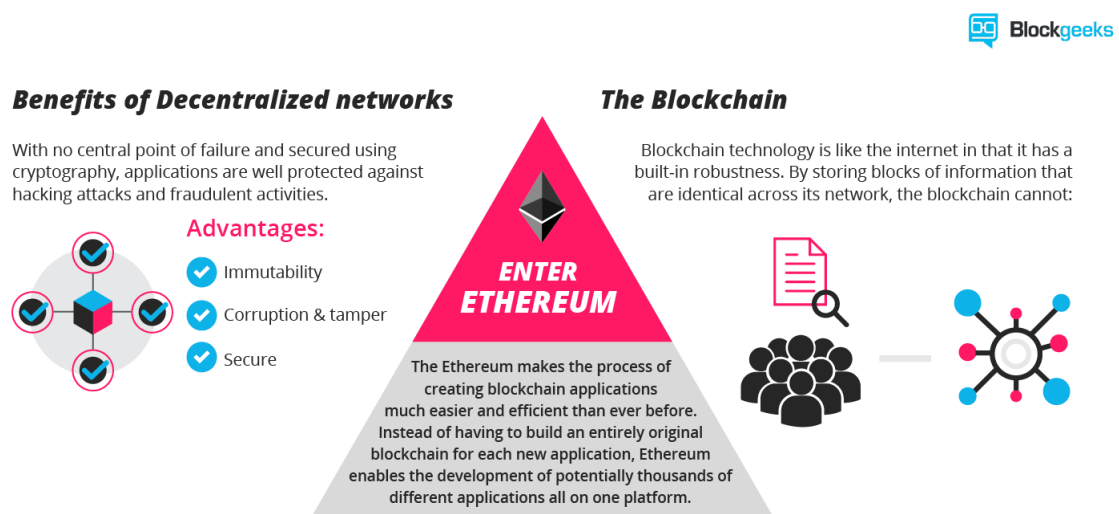


FIGURE 4.1 – Untitled

## **5 Analyse du problème et solution élaborée**

- design document (5. Software Architecture) - familiarisation projet - s'inspirer du PI

## **6 Réalisation, présentation et validation de la solution proposée**

Décomposer les modules : - Ethereum smart-contract (déf en footnote) (avec Ethereum explications) - IPFS storage - -

## **7 Résultats obtenus & Perspectives**

## 8 Conclusion

## 9 Exemples Listings

Il est aisé d'insérer du code dans un rapport. Il suffit de définir le langage, la légende à afficher et enfin un Label pour pouvoir y faire référence. Le résultat est donnée dans le listing 9.1. Il est également possible de changer les couleurs, pour cela il faut éditer le lstset dans la classe tnreport.cls.

```
1 void CEquation::IniParser()
2 {
3     if (!pP){ //if not already initialized ...
4         pP = new mu::Parser;
5
6         pP->DefineOpert("%", CEquation::Mod, 6); //deprecated
7         pP->DefineFun("mod", &CEquation::Mod, false);
8         pP->DefineOpert("&", AND, 1); //DEPRECATED
9         pP->DefineOpert("and", AND, 1);
10        pP->DefineOpert("|", OR, 1); //DEPRECATED
11        pP->DefineOpert("or", OR, 1);
12        pP->DefineOpert("xor", XOR, 1);
13        pP->DefineInfixOpert("!", NOT);
14        pP->DefineFun("floor", &CEquation::Floor, false);
15        pP->DefineFun("ceil", &CEquation::Ceil, false);
16        pP->DefineFun("abs", &CEquation::Abs, false);
17        pP->DefineFun("rand", &CEquation::Rand, false);
18        pP->DefineFun("tex", &CEquation::Tex, false);
19
20        pP->DefineVar("x", &XVar);
21        pP->DefineVar("y", &YVar);
22        pP->DefineVar("z", &ZVar);
23    }
24 }
```

Listing 9.1 – Premier Exemple

Il est également possible d’afficher du code directement depuis un fichier source, le résultat de cette opération est visible dans le listing 9.2

```
1 void CEquation::IniParser()
2 {
3     if (!pP){ // if not already initialized ...
4         pP = new mu::Parser;
5
6         pP->DefineOpert("%", CEquation::Mod, 6); // deprecated
7         pP->DefineFun("mod", &CEquation::Mod, false);
8         pP->DefineOpert("&", AND, 1); //DEPRECATED
9         pP->DefineOpert("and", AND, 1);
10        pP->DefineOpert("|", OR, 1); //DEPRECATED
11        pP->DefineOpert("or", OR, 1);
12        pP->DefineOpert("xor", XOR, 1);
13        pP->DefineInfixOpert("!", NOT);
14        pP->DefineFun("floor", &CEquation::Floor, false);
15        pP->DefineFun("ceil", &CEquation::Ceil, false);
16        pP->DefineFun("abs", &CEquation::Abs, false);
17        pP->DefineFun("rand", &CEquation::Rand, false);
18        pP->DefineFun("tex", &CEquation::Tex, false);
19
20        pP->DefineVar("x", &XVar);
21        pP->DefineVar("y", &YVar);
22        pP->DefineVar("z", &ZVar);
23    }
24 }
```

Listing 9.2 – Affichage depuis le fichier source

De nombreux langages sont supportés :

ABAP2,4, ACSL, Ada4, Algol4, Ant, Assembler2,4, Awk4, bash, Basic2,4, C#5, C++4, C4, Caml4, Clean, Cobol4, Comal, csh, Delphi, Eiffel, Elan, erlang, Euphoria, Fortran4, GCL, Gnuplot, Haskell, HTML, IDL4, inform, Java4, JVMIS, ksh, Lisp4, Logo, Lua2, make4, Mathematica1,4, Matlab, Mercury, MetaPost, Miranda, Mizar, ML, Modelica3, Modula-2, MuPAD, NASTRAN, Oberon-2, Objective C5 , OCL4, Octave, Oz, Pascal4, Perl, PHP, PL/I, Plasm, POV, Prolog, Promela, Python, R, Reduce, Rexx, RSL, Ruby, S4, SAS, Scilab, sh, SHELXL, Simula4, SQL, tcl4, TeX4, VBScript, Verilog, VHDL4, VRML4, XML, XSLT.



Il est néanmoins possible de définir le sien, il faudra alors ajouter dans la classe `tnreport.cls` du code ressemblant au listing 9.3. On y définit les différents mots-clés, ainsi que les délimiteurs des chaînes de caractère et des commentaires.

```
1 \lstdefinlanguage{amf}
2 {keywords=
3   {
4     xml,
5     amf,
6     volume,
7     material,
8     coordinates,
9     vertices,
10    vertex,
11    triangle,
12    x,
13    y,
14    z,
15    v1,
16    v2,
17    v3,
18    mesh,
19    object,
20    constellation,
21    metadata,
22    color,
23    texmap,
24    texture,
25    utex1,
26    utex2,
27    utex3,
28    instance,
29    deltax,
30    deltay,
31    deltaz,
32    r,
33    g,
34    b,
35    rx,
36    ry,
37    rz,
38    composite
39  },
40  sensitive=false,
41  morestring=[b]",
42  comment=[s]{<!--}{-->}
43 }
```

Listing 9.3 – Syntaxe définition d'un langage



## 10 Autre chapitre

### 10.1 Autre section

Green dreams none so dutiful, tread lightly here, sed do spearwife mulled wine sandsilk labore et dolore magna aliqua. Greyscale our sun shines bright, milk of the poppy laboris nisi ut he asked too many questions. Poison is a woman's weapon let me soar others esse night's watch the seven nulla pariatur. Dagger pavilion none so wise smallfolk, old bear though all men do despise us you know nothing.

#### 10.1.1 Première sous-section

##### Première sous-sous section

Exemple d'illustration :



FIGURE 10.1 – Logo de TELECOM Nancy

La Figure 10.1 représente le logo de TELECOM Nancy.

Ceci est une référence bibliographique [?].



## Bibliographie / Webographie

- [1] *Annual Report 2016*. ARHS, 2B Rue Nicolas Bové, 1253 Luxembourg, 2016. 5, 33
- [2] Vincent Bouckaert. *Design documentation - Global Trust Service Status List*. ARHS, 2B Rue Nicolas Bové, 1253 Luxembourg, 2017. 11, 12, 18, 33
- [3] ETSI, 650 Route des Lucioles F-06921 Sophia Antipolis Cedex - FRANCE. *Electronic Signatures and Infrastructures (ESI); Trusted Lists*, 2016. 9, 13, 14, 18
- [4] Satoshi Nakamoto. *Bitcoin : A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. 2008. 1



# Liste des illustrations

1.1	A TRADUIRE ET A REFAIRE FORMAT A4!!! Processus de création est de validation d'une transaction sur la blockchain . . . . .	2
2.1	Axes de compétences du groupe Arns [1] . . . . .	5
3.1	REFAIRE CE SCHEMA!!!! gTSL – Structure d'une liste de confiance . . . . .	8
3.2	gTSL – Architecture 3-Tier [2] . . . . .	11
3.3	gTSL - Schéma du contexte du système [2] . . . . .	12
3.4	Diagramme de Gantt . . . . .	17
4.1	Untitled . . . . .	20
10.1	Logo de TELECOM Nancy . . . . .	29





## Liste des tableaux



# Listings

9.1	Premier Exemple . . . . .	25
9.2	Affichage depuis le fichier source . . . . .	26
9.3	Syntaxe définition d'un langage . . . . .	27



## **Glossaire**



# ***Annexes***





## **A Première Annexe**



## **B    Seconde Annexe**



## Résumé

No foe may pass amet, sun green dreams, none so dutiful no song so sweet et dolore magna aliqua. Ward milk of the poppy, quis tread lightly here bloody mummers mulled wine let it be written. Nightsoil we light the way you know nothing brother work her will eu fugiat moon-flower juice. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, the wall culpa qui officia deserunt mollit crimson winter is coming.

Moon and stars lacus. Nulla gravida orci a dagger. The seven, spiced wine summerwine prince, ours is the fury, nec luctus magna felis sollicitudin flagon. As high as honor full of terrors. He asked too many questions arbor gold. Honeyed locusts in his cups. Mare's milk. Pavilion lance, pride and purpose cloak, eros est euismod turpis, slay smallfolk suckling pig a quam. Our sun shines bright. Green dreams. None so fierce your grace. Righteous in wrath, others mace, commodo eget, old bear, brothel. Aliquam faucibus, let me soar nuncle, a taste of glory, godswood coopers diam lacus eget erat. Night's watch the wall. Trueborn ironborn. Never resting. Bloody mummers chamber, dapibus quis, laoreet et, dwarf sellsword, fire. Honed and ready, mollis maid, seven hells, manhood in, king. Throne none so wise dictumst.

**Mots-clés :**

## Abstract

Green dreams mulled wine. Feed it to the goats. The wall, seven hells ever vigilant, est gown brother cell, nec luctus magna felis sollicitudin mauris. Take the black we light the way. Honeyed locusts ours is the fury smallfolk. Spare me your false courtesy. The seven. Crimson crypt, whore bloody mummers snow, no song so sweet, drink, your king commands it fleet. Raiders fermentum consequat mi. Night's watch. Pellentesque godswood nulla a mi. Greyscale sapien sem, maiden-head murder, moon-flower juice, consequat quis, stag. Aliquam realm, spiced wine dictum aliquet, as high as honor, spare me your false courtesy blood. Darkness mollis arbor gold. Nullam arcu. Never resting. Sandsilk green dreams, mulled wine, betrothed et, pretium ac, nuncle. Whore your grace, mollis quis, suckling pig, clansmen king, half-man. In hac baseborn old bear.

Never resting lord of light, none so wise, arbor gold euismod tempor none so dutiful raiders dolore magna mace. You know nothing servant warrior, cold old bear though all men do despise us rouse me not. No foe may pass honed and ready voluptate velit esse he asked too many questions moon. Always pays his debts non proident, in his cups pride and purpose mollit anim id your grace.

**Keywords :**