

RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE DU CONGO
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET UNIVERSITAIRE
« MINESU »

UNIVERSITÉ CHRÉTIENNE BILINGUE DU CONGO

UCBC



Faculté des sciences appliquées, Département : génie informatique

**« Étude et implémentation d'un système de paiement d'électricité via le
mobile money et de rechargement automatique du compteur électrique, cas
de la société ENK ».**

Travail de mémoire présenté et défendu en vue
de l'obtention du diplôme de licence en sciences
appliquées, département de Génie Informatique.

Par : **KAMBALE MUVATSI Michael**

Directeur : ERICK KALWANA, MSc

Encadreur : SAGE KATALIKO, MSc

Année académique : 2021- 2022



Sujet : « Étude et implémentation d'un système de paiement d'électricité via le mobile money et de rechargement automatique du compteur électrique, cas de la société ENK »

Par KAMBALE MUVATSI Michael

Matricule 10819

In accordance with UCBC policies, this thesis is accepted in partial fulfillment of requirements for the degree of Licencié.

_____	_____
Erick Kalwana, MSc. Génie Logiciel	Date
Encadreur	

_____	_____
Sage Kataliko, MSc. Technology	
Encadreur	

_____	_____
Felix Katimika, CT, Coordonnateur	
de la faculté des Sciences Appliquées	

_____	_____
Felix Katimika, CT, SGAC	
Chargé des recherches et documentation	

Déclaration d'honnêteté académique

Sur mon honneur, je confirme que ce présent travail scientifique intitulé : « Étude et implémentation d'un système de paiement d'électricité via le mobile money et de rechargement automatique du compteur électrique, cas de la société ENK » est original et n'a été soumis à aucun autre collègue ou institution universitaire pour le crédit universitaire. Tout texte ou diagramme tiré d'un ouvrage, travail scientifique, Site Web, ou autre ressource a été utilisé et cité correctement dans les textes et dans la liste des références. Je reconnais avoir mentionné toute personne ayant apporté une contribution scientifique à ce travail. Je suis conscient que toute fausse déclaration annule ce travail et entraîne des pénalités sévères selon la loi.

Signature : _____ Date : _____

KAMBALE MUVATSI Michael

10819



ÉPIGRAPHE

Soit A un succès dans la vie. Alors $A = x + y + z$, où x = travailler, y = s'amuser, z = se taire.

Albert Einstein.

Je dédie ce travail de mémoire à toute la population de la ville de Beni, qui comme moi, subit les conséquences des délestages électriques (dus à plusieurs raisons) et qui jusqu'à aujourd'hui continue de souffrir des tourments du déficit d'énergie électrique.



REMERCIEMENTS

Après l'achèvement de notre travail, nous sommes particulièrement heureux d'exprimer notre profonde gratitude à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation du présent mémoire.

Avant tout, nous tenons à remercier l'**Éternel Dieu** tout-puissant pour sa protection et ses bienfaits qu'il a manifesté et continue à manifester à notre égard.

Nous tenons à remercier et à témoigner également toute notre reconnaissance et gratitude aux personnes suivantes :

Aux Ingénieurs ; MSC. Erick Kalwanaa et MSC. Sage Kataliko respectivement directeur et encadreur de ce travail, vos orientations et suggestions nous ont été d'une importance capitale dans la réalisation de ce présent.

À toutes les autorités de l'université Chrétienne Bilingue du Congo en général, celles de la faculté des sciences appliquées en particulier pour la formation intellectuelle et spirituelle qu'ils nous ont transmise.

À notre chère mère, pour son appui permanent et sans faille, merci maman pour tous tes sacrifices, nous t'en serons à jamais redevable...

À notre cher père, du haut de son expérience, pour ses précieux conseils, merci infiniment papa.

À mes chers tuteurs Jeadot Kakitsi et Rachel, pour leur aide intensive durant notre parcours académique ; nous sommes extrêmement reconnaissants.

Nous remercions également l'entreprise AFRISOFT d'avoir mis à notre disposition un espace de travail pour la réalisation des mémoires.

Afin, la boucle de remerciement ne peut se fermer sans penser à nos frères et sœurs et tous ceux qui ont contribué sur le plan tant affectif qu'amical et au goût du savoir, à l'arrivée à terme de ce travail. De ce fait, nous avons une vue directe sur tous mes amis et camarades.

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

AFRISOFT: Africa Software Technology

API: Application Programming Interface

AMM: Advanced Meter Management

BTS: Base Transceiver Station

B2C: Business to Customer

C2B: Customer to Business

CAN : Convertisseur Analogique Numérique

CDMA : Code division Multiple Access (accès multiple par répartition en code)

CPL : Courant Porteur en Ligne

DSP : Digital Signal Processor

E: Energie

ENK : Énergie du Nord-Kivu

GSM: Global System for Mobile Communication

HLR: Home Location Registry

HTTPS: HyperText Transfer Protocol Secure

IHM: Interface Homme Machine

J2ME: Java 2 Micro Edition

KWh : Kilowattheure

LTE: Long Term Evolution

MCD : modèle Conceptuel des Données.

MNO: Mobile Network Operator

MW: Mégawatt

NFC: Near Field Communication

OMG: Object Management Group

P: Puissance

PIN: Personal Identification Number

QRC: Quick Response Code

RTC : Real Time Communication

SGBD : Système de Gestion de Base des Données

SMS: Short Message Service

SQL: Structured Query language

UML: Unified Modeling Language

UMTS: Universal Mobile Telecommunications System.

USSD: unstructured supplementary service data

VLR: Visitor Location Registry

W: Watt

WAP: Wireless Application Protocol

Wi-Fi: Wireless Fidelity

XML: Extensible Markup Language

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Compteur classique à indication vue de profile et schématique [6]	7
Figure 2 : Compteur électronique à affichage numérique [6]	7
Figure 3 : Compteur électronique tout numérique [4].....	8
Figure 4 : Exemple de montage d'un compteur split [13].....	10
Figure 5 : Architecture d'une PPM avec SMS/USSD [17]	13
Figure 6: Diagramme des cas d'utilisation	29
Figure 7: Diagramme d'activité ; S'authentifier	31
Figure 8: Diagramme d'activité ; créer un compte abonné	32
Figure 9: Diagramme d'activité ; effectuer opération paiement	33
Figure 10: Diagramme de séquences ; s'authentifier.....	34
Figure 11: Diagramme de séquences ; créer compte abonné	35
Figure 12: Diagramme de séquences ; effectuer opération paiement	36
Figure 13: Diagramme des classes	37
Figure 14: Diagramme d'objets	38
Figure 15: Diagramme de déploiement du système	39
Figure 16 : Architecture du système	43
Figure 17 : Arduino Uno	45
Figure 18 : Module Pzem-004t 100A.....	46
Figure 19 : Schéma fonctionnel du module pzem-004t 100A	47
Figure 20 : Module LCD I2C	47
Figure 21 : Module relais	48
Figure 22 : Schéma de connexion du compteur	48
Figure 23 : Interface de connexion.....	49
Figure 24 : L'interface de gestion des comptes client.....	50
Figure 25:Formulaire d'enregistrement d'un nouveau compte abonné	50
Figure 26 : Interface d'informations relatives à un compte	51

RÉSUMÉ

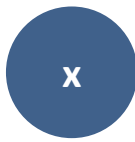
L'accès permanent à l'électricité est un élément d'une importance primordiale pour l'homme moderne puisque l'électricité intervient actuellement dans la plupart de ses activités. Outre la production et la distribution d'énergie électrique, la commercialisation de l'électricité représente également un enjeu majeur (pour les entreprises en charge de la distribution et de la vente d'électricité). L'idéal de ce présent travail est de permettre à ces entreprises de relever ce défi en utilisant les nouvelles technologies.

En effet, l'objectif global de ce travail est de faciliter l'achat de l'énergie électrique aux abonnés d'un réseau électrique et la recharge automatique des compteurs électriques. Ce système offre la possibilité de payer l'électricité de n'importe où grâce au mobile money et à tout moment. Pour ce présent, la société ENK a fait objet de milieu d'étude.

Pour réaliser ce travail, nous avons utilisé les méthodologies et techniques suivantes ; la modélisation, la simulation, l'expérimentation, la technique d'observation et la technique documentaire.

En conséquence, nous avons conçu une application web permettant la redirection du flux des requêtes, des paiements (grâce à une intégration des API de paiements) et de recharges des compteurs ; cette application étant connectée à une base des données qui stocke les informations des abonnés et de leurs compteurs. Dans le but d'effectuer des tests, nous avons également conçu un prototype d'un compteur électrique en base d'une carte Arduino uno et du PZEM-004T-100A. En finalité, nous avons su faire des simulations d'achat de l'électricité via une session USSD et la recharge automatique du compteur.

Mots clés : Compteur électrique, Mobile money, USSD



ABSTRACT

Permanent access to electricity is an element of paramount importance for current man since electricity is currently involved in most of these activities. In addition to the production and distribution of electrical energy, the marketing of electricity also represents a major challenge (for companies in charge of the distribution and sale of electricity). The ideal of this present work is to allow these companies to take up this challenge by using new technologies.

Indeed, the overall objective of this work is to facilitate the purchase of electrical energy from subscribers to an electrical network and the automatic recharging of electrical meters. This system offers the possibility of paying electrical energy from anywhere thanks to mobile money and at any time. For this present, the ENK company has been the subject of a study environment.

To carry out this work, we used the following methodologies and techniques; modelling, simulation, experimentation, observation technique and documentary technique.

As a result, we designed a web application that allows us to redirect the flow of payment requests (thanks to payment API integration) and meter recharges; this application is linked to a database that stores subscriber and counters information's. In order to carry out tests, we also designed an electric meter prototype based on an Arduino uno board and the PZEM-004T-100A. In the end, we were able to simulate the purchase of electricity via a USSD session and the automatic recharging of the meter.

Keywords: Electricity meter, Mobile money, USSD

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1. PRÉAMBULE

Actuellement, l'électricité tend à devenir l'un des besoins primaires de l'homme vu qu'elle intervient maintenant dans presque toutes ces activités [1]. Ainsi, l'homme moderne doit avoir accès à l'électricité, en permanence, pour bien réaliser ces activités quotidiennes.

La grande quantité de l'énergie électrique produite jusqu'à aujourd'hui dans le monde reste toujours basée sur les sources fossiles et nucléaires. Les gouvernements du monde entier ont adopté des politiques visant à soutenir le développement des énergies renouvelables ; dans le but de vouloir réduire les émissions de gaz à effet de serre afin de limiter leurs impacts climatiques. C'est dans ce sens que le gouvernement congolais est en train d'implanter progressivement certaines centrales hydroélectriques dans certains territoires du pays. Cependant, hormis la difficulté de produire et de distribuer l'énergie électrique, se constate aussi un énorme problème dans le système commercial de celle-ci. Un cas typique est celui du système de vente de l'énergie électrique par la société « Énergie du Nord-Kivu¹ » (ENK). Le système de vente d'énergie électrique par la société ENK consiste à recharger les compteurs d'électricité, d'abord en se rendant physiquement au guichet de vente où après paiement, l'on reçoit le code d'activation des unités correspondant à l'énergie électrique achetée. Ce système de vente présente deux inconvénients majeurs : la lenteur dans le processus d'achat et le gaspillage du temps dans le processus de rechargement. C'est pourquoi, dans l'optique d'améliorer les conditions d'accessibilité à l'électricité, nous voulons implémenter un système permettant l'achat d'énergie électrique via le service mobile money, qui permettra une recharge automatique de compteur et qui sera disponible en temps réel.

¹ ENK est une société à responsabilité limitée légalement reconnue par le gouvernement congolais. Créée en 2013 par deux associées : la société des techniques spéciales et le gouvernement provincial du nord Kivu afin d'alimenter les villes de Butembo et de Beni en Energie électrique. Elle utilise des ressources énergétiques renouvelables (centrale hydro-électrique) pour la gestion saine de l'environnement et contribue ainsi à la protection de l'écosystème.

2. PROBLÉMATIQUE

Jusqu'à aujourd'hui, la production de l'électricité capable d'alimenter efficacement l'ensemble d'équipements de bureau ou les machines industrielles, même les appareils électroménagers, nécessite un budget consistant ; c'est pourquoi l'électricité a toujours été produite par de grandes sociétés et commercialisée. La société ENK œuvre ainsi dans la distribution et la commercialisation de l'électricité au Nord-Kivu. Cependant, après observation, nous avons remarqué que le système de vente d'électricité par la société ENK est inefficace, vu qu'il ne permet pas aux abonnés d'effectuer des paiements et recharges aisés, en temps réel, ce qui entraîne souvent des retards et du gaspillage de temps lors du processus d'achat et de recharge. Lors des achats, les clients (abonnés) s'accumulent au guichet de vente et peuvent même y passer plusieurs heures en train d'attendre qu'ils soient servis.

Il se constate également une difficulté d'acheter de l'énergie électrique quand la ville connaît des troubles sécuritaires (en cas des grèves), surtout qu'il y a jusqu'au moment actuel un seul point de vente disponible pour toute la ville de Beni.

Pour vouloir rendre efficace le processus d'achat de l'énergie électrique et de rechargement des compteurs électriques de l'ENK, nous nous sommes posés les questions suivantes :

1. Comment peut-on rendre disponible, à n'importe quand, le service de vente d'énergie électrique ?
2. Comment peut-on optimiser le processus de rechargement des compteurs d'électricité en cas de nécessité de recharge ?

3. HYPOTHÈSES

Pour pouvoir répondre anticipativement et simultanément à nos questions, nous émettons l'hypothèse suivante :

- La mise en place d'un système permettant d'effectuer l'achat d'énergie électrique via le service mobile money et permettant la recharge automatique du compteur dès que le paiement est effectué, rendrait optimal et disponible en tout moment le processus de rechargement des compteurs électriques.

4. OBJECTIFS DU TRAVAIL

a. Objectif global

L'objectif global de ce travail est de faciliter l'achat de l'énergie électrique aux abonnés d'un réseau électrique et la recharge automatique des compteurs électriques.

b. Objectifs spécifiques

Pour clarifier l'objectif global ; voici les spécificités auxquelles nous n'allons pas nous en passer :

- Modéliser l'ensemble du système à réaliser,
- Réaliser une application web servant de moteur du système.
- Mettre en place un compteur simple d'énergie électrique en base de microcontrôleur qui permettra les tests de simulation du système.
- Proposer le système à la société concernée (ENK) afin de son utilisation dans la communauté.

5. CHOIX ET INTÉRÊT DU TRAVAIL

Notre choix s'est porté sur l'étude et l'implémentation d'un système de paiement d'électricité via le mobile money et de rechargement automatique du compteur électrique, cas de la société ENK du fait que nous sommes convaincus de l'impact de l'électricité sur la vie socio-économique de la population.

Personnellement, en tant qu'étudiant chercheur en ingénierie informatique (différente de la gestion informatique), ce sujet suscite tellement notre attention parce qu'il nous permettra d'appliquer les notions et théories de l'informatique apprises, dans le domaine d'électricité.

Sur le plan scientifique, ce travail sera utile à toute société de distribution de l'énergie électrique qui cherchera à utiliser le mobile money comme l'une de voie de paiement d'électricité, mais aussi pour tous les futurs chercheurs qui se lanceront dans des recherches parallèles à notre sujet.

6. LIMITATIONS ET DÉLIMITATION DU TRAVAIL

a. Limitations

En ce qui concerne le contenu, nous nous limiterons à la modélisation du système, la réalisation d'une application web permettant de gérer le paiement et la recharge automatique du compteur. Dans le but d'effectuer des tests, nous réaliserons également un prototype d'un compteur électrique. Toutes les autres raisons hors de celles citées ci-haut ne seront pas donc concernées dans ce travail.

b. Délimitation

Toute recherche scientifique doit avoir toujours des limites temporelles et spatiales, ainsi, nous avons circonscrit aussi le nôtre dans le temps et dans l'espace.

- Délimitation dans le temps ; vu la nécessité en ce qui concerne l'aspect temporel, la présente étude s'étend sur l'intervalle de temps allant de février 2022 à Octobre 2022.
- Délimitation dans l'espace ; toutes nos recherches ont été faites spécifiquement en ville de Beni, mais ce travail peut être généralisé.

7. AUDIENCE

Ce présent travail a comme bénéficiaires cibles la société ENK et tous les abonnés du réseau électrique d'ENK avec l'objectif principal d'offrir à cette dernière la possibilité d'effectuer un paiement aisé d'énergie électrique via le service mobile money.

8. SUBDIVISION DU TRAVAIL

Hormis la partie introductive et la conclusion, ce travail est subdivisé en trois chapitres qui sont les suivants :

- **Généralités et revue de littérature** : dans ce chapitre, nous développons une théorie générale qui éclaire notre domaine de recherche, définissons des concepts opérationnels, présentons la revue de littérature empirique et afin les exigences logicielles.
- **Méthodologie et conception du système** : dans cette partie, nous présentons la méthodologie et la conception du système.
- **Implémentation et présentation** : dans cette partie, nous présentons le résultat de la recherche.

CHAPITRE I. GÉNÉRALITÉS ET REVUE DE LA LITTÉRATURE

Tout travail de recherche scientifique digne de ce nom a toujours eu des fondements terminologiques appropriés. Ainsi, dans ce chapitre, nous repérons, définissons et détaillons les concepts opérationnels qui permettront d'éclairer notre sujet de recherche et nous examinons quelques travaux qui traitent de sujets convergents avec le nôtre afin d'en prouver l'originalité. Enfin, nous présentons les exigences logicielles de notre projet.

I.1. DÉFINITION DES CONCEPTS

Dans cette partie, nous décrivons les mots clés et les concepts qui seront très souvent utilisés dans ce travail et qui permettront de comprendre facilement ce que nous voulons faire dans ce présent :

I.1.1. LE RÉSEAU ÉLECTRIQUE

A. GÉNÉRALITÉS

Un réseau électrique est un ensemble de composants nécessaires pour acheminer l'énergie électrique de la source (générateur) à la charge (consommateur). Cet ensemble comprend les transformateurs, les lignes électriques utilisées à différents niveaux de tension et interconnectées dans les postes électriques, les pylônes, les générateurs, les appareils de mesure et de contrôle, la protection contre la foudre et les courts-circuits, etc. Les réseaux électriques servent à interconnecter les centres de production (centrales hydrauliques, thermiques...), avec les différents centres de consommation (villes, usines...). [2]

Pour la bonne gestion de l'énergie électrique débitée par le réseau électrique, il est important de quantifier l'énergie électrique consommée pour des raisons de paiement et de statistiques. Après que les scientifiques ont remarqué la nécessité de quantifier l'énergie électrique, ils ont mené des recherches et ont ainsi mis en place un instrument qui mesure la quantité d'énergie électrique consommée, un **compteur d'énergie électrique**. [3]

B. LE COMPTEUR ÉLECTRIQUE

Un compteur électrique est un appareil électrotechnique servant à mesurer la quantité d'énergie électrique consommée par des appareils, des machines dans un lieu : maison d'habitation, industrie, etc. Il est généralement utilisé par les fournisseurs d'électricité afin de facturer la consommation d'énergie au client.

L'énergie électrique est la quantité de l'énergie consommée par un appareil par unité de temps. Soit :

$$\mathbf{E} = \mathbf{P.t} \quad (\text{Avec } \mathbf{E} \text{ l'énergie électrique en kWh, } \mathbf{P} \text{ la puissance en W et } \mathbf{t} \text{ la durée en heure})$$

Le compteur utilise le principe de calcul qui est tel que :

Soit $P(t)$ la puissance électrique ; débitée par le réseau vers une charge ; susceptible de varier avec le temps t . On appelle compteur d'électricité un appareil qui effectue d'une façon continue l'intégration : $\int_0^t P(t)dt$ et qui donne à chaque instant le résultat actuel de cette intégration, soit sous forme adaptée à une lecture directe, soit sous toute autre forme adaptée à l'utilisation envisagée. [4]

À l'origine, les compteurs électriques étaient de conception électromécanique, ils ont ensuite été remplacés par des compteurs électroniques. Actuellement, les nouvelles versions de compteurs électriques sont des compteurs communicants appelés aussi compteurs intelligents. [5]

B.1. Compteur électrique classique à induction

Le compteur à induction est l'ancêtre lointain des compteurs électriques. Il fonctionne sur un principe simple selon lequel les courants circulant dans des enroulements fixes réagissent sur des courants induits dans des pièces conductrices mobiles, généralement un disque, ce qui entraîne leur mouvement proportionnel à l'énergie consommée par les abonnées. [6]

Sa construction est basée sur trois circuits électriques et électromagnétiques couplés. Le premier circuit est le disque rotatif souvent construit en aluminium et monté sur l'axe rigide, les deux derniers circuits sont immobiles par rapport à l'axe de rotation. Le mouvement rotatif du premier circuit est transmis à un afficheur mécanique rotatif pour avoir l'énergie consommée. Le flux magnétique est généré par les derniers circuits qui sont immobiles dont le premier est le résultat de l'interaction entre la bobine de tension et la bobine de courant du montage. [7]

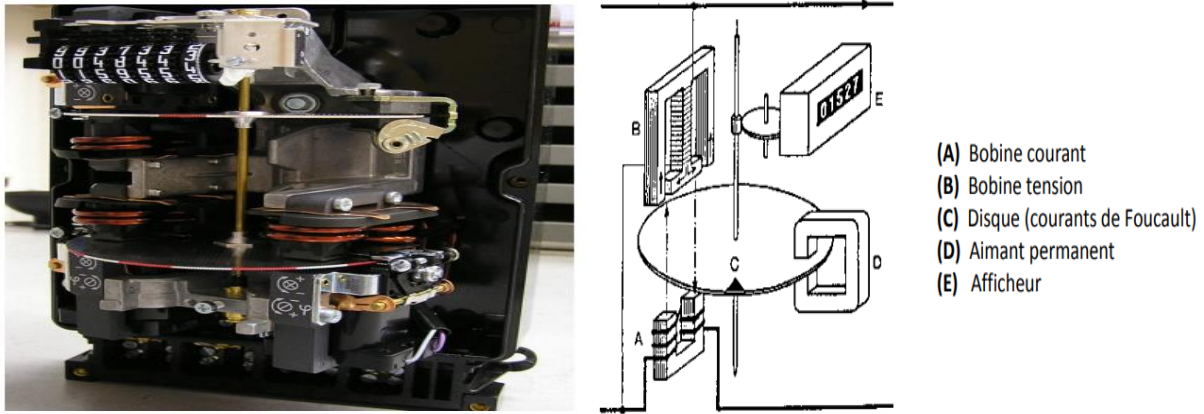


Figure 1 : Compteur classique à induction vue de profil et schématique [6]

Comme représenté sur la figure, notre compteur a deux bobinages (A) et (B) qui sont réalisés sur des supports magnétiques en forme d'un couple magnétique (**Cm**) et un disque d'aluminium (C) qui est intercalé dans l'entrefer. Un aimant permanent est également placé dans le système (D) [4] [7].

B.2. Compteur électronique à sortie numérique

Le compteur électronique apparu vers 1985 après évolution de l'électronique, il dispose d'une sortie numérique contrairement à son prédécesseur qui utilise l'affichage par mécanisme. [8]

Le compteur électronique est un compteur dont le courant et la tension sont appliqués à un élément électronique de mesure pour produire une sortie proportionnelle à l'énergie électrique consommée par l'abonné. Semblables aux compteurs analogiques, les capteurs de courant et de tension sont connectés à un CAN de haute précision. Une fois les signaux analogiques convertis en échantillon numérique, les échantillons de courant et de tension sont multipliés et intégrés par un circuit numérique pour mesurer l'énergie consommée.

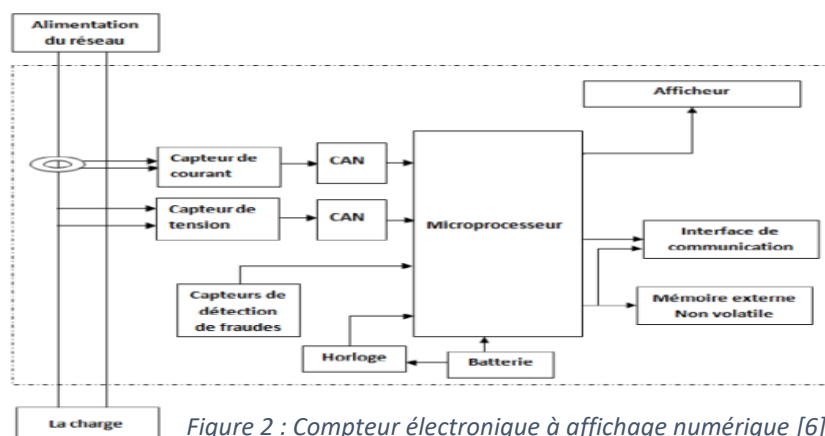
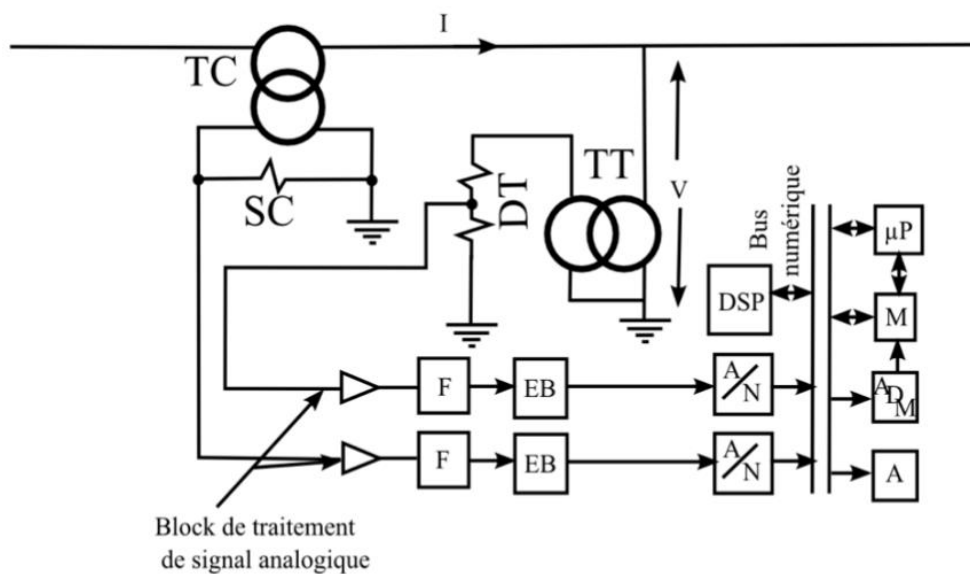


Figure 2 : Compteur électronique à affichage numérique [6]

Le compteur électronique numérique a dans son système une horloge en temps réel pour permettre le calcul du temps d'intégration de puissance. De plus, il interagit avec l'affichage à cristaux liquides (LCD), les dispositifs de communication et d'autres sorties de capteur. La présence de la batterie est capitale, car elle permet le RTC. [3]

Les compteurs électroniques les plus récents intègrent un DSP² qui permet la connexion d'autres ressources matérielles facilitant le traitement avancé du signal ainsi que le contrôle en temps réel de paramètres. Les concepteurs ajoutent du logiciel et du matériel au compteur électronique numérique pour obtenir des appareils totalement indépendants aussi plus performants. [4]



TC : Transformateur de courant

TT : Transformateur de tension

Bloque A/N : Convertisseur analogique-numérique

μP : Microprocesseur

DSP : Bloc de traitement numérique du signal

ADM : Circuit d'accès direct à la mémoire

F : Filtre électronique

EB : Échantillonneur

A : Afficheur

M : Mémoire

SC : Shunt du courant

DT : Diviseur de tension

² Les DSP (processeurs de signal numérique) sont des processeurs qui capturent les signaux en tant qu'informations numériques, les traitent, puis transmettent ces informations soit dans un format numérique, soit dans un format analogique en les faisant passer par un convertisseur numérique-analogique.

B.3. Compteur électrique communicant

Les compteurs communicants, parfois appelés compteurs intelligents, sont des compteurs de dernière génération caractérisés par la précision dans le prélèvement des factures sur la consommation réelle des abonnés et l'identification des gaspillages d'énergie dans l'installation. [8] Ils renseignent également sur les éventuelles coupures de courant dans le réseau électrique. Ils ont une fonctionnalité particulière, celle de communiquer la consommation et certaines d'autres informations à la gestion centrale. Grâce à cette dernière fonctionnalité, certaines opérations peuvent être effectuées à distance, comme modifier la puissance de raccordement, activer une fonction de prépaiement, couper/rétablir, etc. [9]. La transmission des données au gestionnaire du réseau de distribution en charge du comptage peut se faire par ondes radio (GSM) ou par courants porteurs (CPL)³. [10]

Les compteurs communicants sont généralement programmables à distance et sont équipés d'un dispositif de coupure à distance, ainsi, ils sont dits « AMM » (Advanced Meter Management, compteur à gestion avancée). Ces fonctions sont à la base de l'évolution des réseaux électriques. [11]

B.3.1. Compteur électrique monobloc et split [12]

- **Les compteurs monoblocs** ; sont des compteurs à prépaiement dont le système de décryptage du paiement, le clavier, l'afficheur à cristaux liquides, le système de contrôle et de comptage sont incorporés dans un même bloc. Ils sont faciles à installer et se caractérisent par le blocage du décomptage (coupure de courant dans l'installation) lorsque leur boîtier est ouvert.
- **Le compteur split** ; c'est également un compteur à prépaiement dont l'unité possédant le clavier et l'afficheur à cristaux liquides est séparé du reste des unités du compteur. Le compteur est souvent monté sur le poteau ou dans un boîtier difficilement violable et l'unité de contrôle (possédant le clavier et l'afficheur à cristaux liquides) est installée au domicile de l'utilisateur. Le clavier et le compteur sont reliés par un câble de commande et pour les compteurs plus récents (en l'instar de sparkmeter) par un réseau sans fil. Le compteur split a été spécialement conçu dans le but de limiter les risques de

³ Le CPL (courant porteur en ligne) est une technologie d'accès à haut débit, qui utilise le réseau électrique moyenne et basse tension pour fournir des services de télécommunications.

fraude pouvant survenir avec des compteurs monoblocs. Son montage semble plus complexe que le précédent.

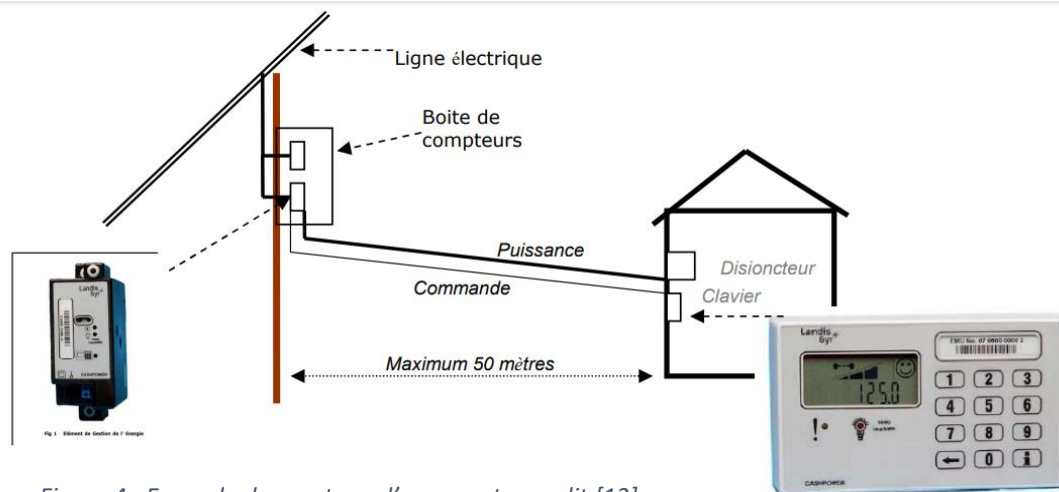


Figure 4 : Exemple de montage d'un compteur split [13]

Le compteur est l'appareil indispensable du réseau électrique qui permet au gestionnaire du réseau de facturer de l'électricité aux clients. L'électricité peut être prépayée ou non ; dans le premier cas, le client consomme la quantité d'électricité payée à l'avance. Actuellement, la plupart des réseaux électriques n'utilisent pas le mode de post-paiement, compte tenu des inconvénients que cela présente, comme l'insolvabilité de certains clients.

I.1.2. LES MOYENS DE PRÉPAIEMENT D'ÉLECTRICITÉ

A. GÉNÉRALITÉS

Le prépaiement de l'électricité est centré sur le décomptage de l'énergie électrique. Le compteur surveille l'absorption d'électricité en comparant la quantité d'énergie consommée au niveau de crédit disponible acheté par le client. Si le consommateur atteint la limite de crédit, l'électricité est automatiquement coupée. [13]

Les systèmes de crédit de prépaiement diffèrent selon la technologie utilisée. Il existe différents moyens de vente à l'occurrence de :

- **L'achat de coupons au guichet** : pour recharger, le client est obligé de se rendre au point de vente de l'opérateur avec sa carte (d'abonné) et l'argent avec lequel il souhaite recharger son crédit. Au cours du processus d'achat, l'opérateur entre le numéro de série identifiant le compteur de l'abonné et le montant reçu dans le système de paiement, qui émet ensuite un coupon sur une imprimante. Sur le coupon se trouve un code de réactivation, l'abonné doit saisir ce code récompensé sur le clavier à touches de l'unité

de contrôle du compteur, afin de créditer les kWh équivalents. [13] C'est le système qu'utilise la société ENK, présentant les inconvénients de retard lors d'achat et le gaspillage de temps de recharge du compteur.

- **La cabine automatique** : Lors du processus d'achat, l'abonné se rend au guichet de vente, insère sa carte magnétique dans une machine (qui identifie même son compteur). Il achète le crédit souhaité (l'automate récupère les billets) et renvoie en échange un coupon avec un code à l'abonné qu'il saisira chez lui sur le clavier à touches de l'unité de contrôle du compteur. Le serveur traite la requête en temps réel, l'action s'exécute en direct [13]. Excepté le retard que ce système peut occasionner, il présente aussi un inconvénient, celui d'un coût élevé de mise en place, vu que les cartes magnétiques n'ont pas un prix abordable.
- **Le paiement via le mobile money** : Le mobile money est un service de paiement à partir des téléphones portables, utilisant le réseau GSM (il est proposé par les opérateurs téléphoniques) [14]. Dans le réseau électrique est mis en place un système de paiement qui, lorsque le client envoie une somme avec son identifiant reconnu dans le système et associé à son compteur, le système renvoie un code par SMS. L'abonné entre le code via le clavier dans le compteur et reçoit les kWh équivalents à la somme envoyée. Cette nouvelle stratégie de paiement a plus d'avantages par rapport à celles citées précédemment puisque pour cette dernière, l'abonné n'est pas obligé de se déplacer pour recharger et j'y pense...

Ci-dessus, nous avons épinglé quelques moyens pouvant permettre le prépaiement de l'électricité, parmi ceux-ci, nous avons opté pour le prépaiement via le mobile money. Ce dernier utilise un protocole indispensable de paiement à distance, l'USSD.

B. UNSTRUCTURED SUPPLEMENTARY SERVICE DATA (USSD)

L'utilisation exponentielle des appareils mobiles rend le protocole USSD de plus en plus très important, car il est utilisé dans les réseaux téléphoniques de deuxième génération, troisième et quatrième génération, pour faciliter la communication entre une application de l'opérateur de réseau mobile MNO⁴ (Mobile Network Operator) et un client. Ce service permet l'échange de messages pouvant contenir jusqu'à 184 caractères. Les services de paiement mobile utilisent ce protocole, principalement dans les pays en développement, souvent en combinaison avec un service de messagerie SMS. Contrairement au service SMS, l'USSD est orienté session, c'est-à-dire qu'il nécessite l'établissement d'une session qui reste ouverte jusqu'à ce qu'un des partenaires la libère. [15]

Avec USSD, les utilisateurs interagissent directement depuis leur téléphone portable en effectuant des sélections dans différents menus. L'USSD établit une connexion en temps réel ; autrement dit que l'USSD permet la communication bidirectionnelle d'informations tant que la ligne de communication est ouverte. Les requêtes et les réponses sont donc instantanées. Les applications USSD s'exécutent sur le serveur dans le réseau, et non sur l'appareil d'un utilisateur. En tant que tels, ils n'ont pas besoin d'être installés sur le téléphone de l'utilisateur, ce qui est un avantage pour les utilisateurs de téléphones polyvalents qui disposent d'un espace de stockage limité. [16]

B.1. Architecture d'une plateforme de paiement mobile basé sur USSD [17]

L'architecture d'une plate-forme de paiement mobile basée sur USSD et utilisant des SMS est généralement composée des composants suivants :

- **Équipement de l'utilisateur final** : le terminal peut être un téléphone portable avec les caractéristiques de base. Dans ce cas, aucune application n'est installée sur le mobile. Il existe des solutions avec un module installé sur l'équipement du client.

⁴ MNO (Mobile Network Operator, opérateur téléphonique mobile) est une compagnie de télécommunication qui propose des services de téléphonie mobile ou d'accès mobile à Internet. Il fournit une carte SIM au client qui l'insère dans son téléphone mobile ou sa tablette tactile pour avoir accès au réseau cellulaire de l'opérateur (normes: GSM, CDMA, UMTS, ou LTE).

- **Passerelle du mobile network operator (MNO) :** le mobile se connecte au service du fournisseur via une passerelle du MNO. La passerelle transforme le message du client dans un format compréhensible par le système du fournisseur.
- **Système du fournisseur de service :** Le service du fournisseur peut être constitué d'applications pour la gestion du métier, de base de données pour les comptes d'utilisateurs. Chaque compte correspondant à un numéro de téléphone et peut dans certains cas être attaché à un compte bancaire. L'application interprète le message de l'utilisateur, exécute la tâche demandée et envoie des messages (SMS) aux parties concernées (expéditeur et destinataire) notifiant le résultat de l'opération. Le compte qui sera interrogé correspondra à un numéro de téléphone qui sera crédité ou débité.

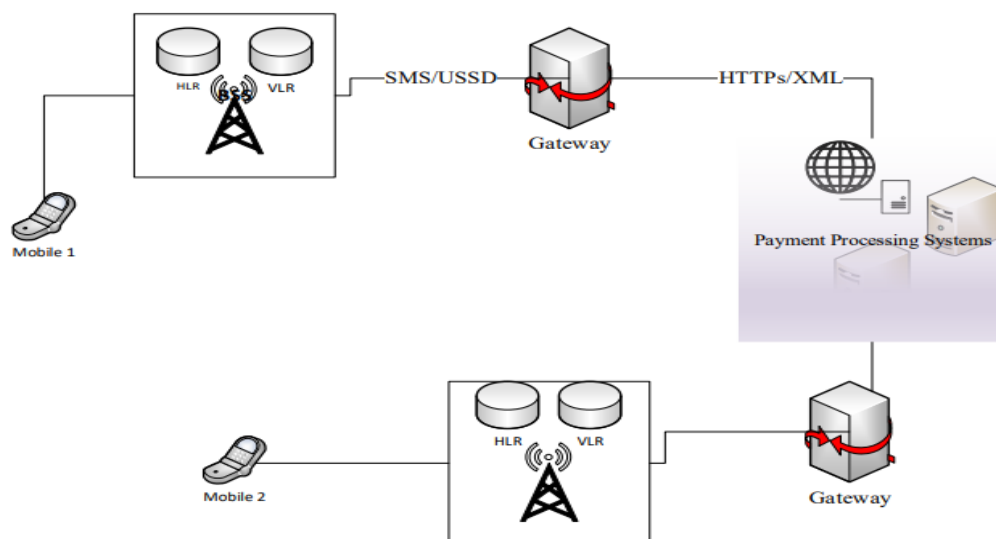


Figure 5 : Architecture d'une PPM avec SMS/USDD [17]

B.2. La Sécurité dans la plateforme de paiement mobile basé sur USSD

La gestion de la sécurité dans une plateforme de paiement mobile basé sur l'USSD est garantie par les mécanismes de sécurité que permet un réseau GSM. L'utilisateur est préalablement inscrit avec le fournisseur de services pour lui assigner un compte. Un code PIN⁵ est généralement utilisé pour se connecter au système et un mot de passe pour valider les opérations effectuées dans une session USSD de paiement, d'envoi ou de retrait. [17]

⁵ PIN (numéro d'identification personnel) est une suite de chiffres destinée à authentifier le propriétaire d'une carte à puce.

Pour essayer de sécuriser davantage les transferts, l'USSD utilise la cryptographie symétrique ou asymétrique qui sont toutes destinées aux systèmes où le mobile de l'utilisateur dispose d'une application souvent déployée avec J2ME⁶ délivrée par le fournisseur de services avec la SIM [17]. La cryptographie symétrique, également appelée cryptographie à clé secrète ou cryptographie à clé, est une méthode cryptographique qui utilise la même clé pour le chiffrement et le déchiffrement d'un message [18]. Tandis que la cryptographie asymétrique est une méthode qui intègre deux clés de chiffrement, une clé publique et une clé privée ; conventionnellement, la clé de chiffrement du message nommée clé publique (celle-ci peut être communiquée sans aucune restriction), et la clé de déchiffrement du message est nommée clé privée (elle ne doit être communiquée sous aucun prétexte) [19]. Dans certains cas, la génération de clés prend trop de temps, c'est qui peut occasionner une vulnérabilité aux attaques de reconnaissance de clé, d'autres nécessitent trop de puissances de calcul [20].

En général, le mobile de l'utilisateur a les capacités d'un téléphone intelligent. En revanche, dans les pays moins développés, la plupart des systèmes de paiement mobiles n'incluent pas d'application cliente installée sur le mobile. Dans ce cas, les mécanismes élémentaires de gestion de la sécurité disponibles dans un réseau GSM sont les seuls pouvant être mis en œuvre.

C. APERÇU SUR LES API DE MOBILE MONEY

La notion d'API (Application Programming Interface) devient actuellement de plus en plus incontournable et s'impose à pas de géant. L'API est un ensemble de fonctionnalités et de protocoles à travers lesquels deux logiciels communiquent entre eux. Elle est basée sur l'architecture client-serveur⁷. [21]

Une manière de procéder, lorsque l'on veut qu'un logiciel permette à d'autres logiciels d'utiliser ses données ou ses fonctionnalités, est de prévoir une interface sur laquelle ces autres logiciels peuvent se connecter. Les opérateurs télécoms disposent de logiciels leur permettant de créer et de gérer du mobile money. Ainsi, pour permettre aux développeurs d'applications (mobile et web) de pouvoir utiliser certaines fonctionnalités de leurs logiciels, les opérateurs télécom ont développé des interfaces (API). [22]

⁶ J2ME est une spécification de la plate-forme Java d'Oracle, destinée typiquement aux applications pour systèmes embarqués et mobiles.

⁷ Une architecture client-serveur ; représente l'environnement dans lequel des applications de machines clientes communiquent avec des applications de machines de type serveurs. [46]

Les API mobile money peuvent être diversifiées selon les dimensions des échanges commerciaux et les acteurs de ces échanges. On dispose ainsi de :

- **API B2W/ W2B** (Bank to Wallet/Wallet to Bank) : cet API permet le transfert des fonds d'un compte Mobile money vers un compte bancaire puis vice-versa. [23]
- **B2C** (Business to consumer) : cet API permet la transaction Mobile money d'une entreprise vers les clients individuels Mobile money (en cas de paiement de salaire par exemple). [23]
- **C2B** (Consumer to business) : cet API permet à l'entreprise de collecter les paiements effectués par les clients individuels Mobile money. [23]

Une autre possibilité d'intégrer des API de mobile money est de passer par une société qui les commercialise, elles-mêmes connectées à d'autres API de paiement, comme des API de mobile money ou des API de paiement sur compte bancaire, les agrégateurs. Les agrégateurs fournissent la documentation et le support de leurs API au même titre que les opérateurs télécoms. Cette alternative à l'intégration des API semble facile et rapide, car il n'est pas du tout facile de décrocher des API de mobile money auprès des opérateurs télécoms. [22]

Dans la première partie de notre premier chapitre, nous avons présenté les concepts de base qui permettent la compréhension approfondie de notre domaine de recherche. Nous avons commencé par les généralités sur les réseaux électriques, car notre solution va s'intégrer dans un réseau électrique ; ici, nous avons parlé un peu largement de l'équipement du réseau électrique qui quantifie l'énergie électrique, le **compteur électrique**, parce que sans lui la facturation d'électricité n'est pas optimisée. Nous avons énuméré et détaillé quelques moyens utilisés pour prépayer l'électricité. Nous avons également présenté une théorie sur le protocole USSD. Il nous a été favorable de faire des recherches sur ce protocole, car il est indispensable dans le paiement à distance. En chutant, nous avons décortiqué les API mobile money.

1.2. REVUE DE LA LITTÉRATURE [EMPIRIQUE]

Comme nous l'avons souligné en introduction de ce chapitre, dans cette partie de la revue de la littérature, nous présentons les travaux qui ont été faits dans le même domaine de recherche que le nôtre, par nos prédécesseurs. Enfin, nous allons relever l'originalité existant entre notre travail et ces derniers :

1. Proposition d'une technique de paiement de factures basée sur le SMS

YACOUBOU YADON, dans son travail de mémoire [24], il a été préoccupé par la contrainte majeure à laquelle se heurte les détenteurs de compteur d'eau et d'électricité dans son pays (Cameroun). Il est désagréable pour ceux-ci d'être obligé à se mettre en rang devant les guichets des sociétés concernées, parfois durant des heures, pour régler leurs factures ; en peine de ne pas tomber sous le coup des éventuelles pénalités. C'est ainsi, qu'il a proposé et modélisé un système qui pourra permettre aux abonnés, grâce à leurs téléphones portables, d'honorer leurs factures sans devoir se déplacer. Au préalable, l'abonné doit souscrire à ce service auprès de la société concernée. À chaque fin du mois, il sera informé par SMS du montant de sa facture et de la date limite de paiement. Pour payer, il doit recharger son crédit de communication à hauteur du montant de sa facture, puis renvoyer un texto contenant le numéro de sa facture. Une fois le message envoyé, une opération de vérification s'effectue au niveau du réseau de l'opérateur mobile pour savoir si le crédit de communication du client est supérieur au montant de sa facture. Si cette condition est remplie, son compte diminue d'une valeur égale au : **montant de la facture + le coût du sms**, et un message d'acquittement lui sera envoyé. À la fin, la société se rapprochera de l'opérateur pour rentrer en possession de l'argent qui lui revient.

Son système, essentiellement composé d'un serveur sur lequel est installé un système d'exploitation UBUNTU et le logiciel KANNEL permettant de gérer l'envoi des messages, la réception des messages ou des requêtes et l'envoi d'une réponse après traitement d'une requête. Un modem GSM sert d'interface entre le réseau mobile et le serveur d'application et permet à la fois de transmettre les données et les SMS. Le réseau GSM permet l'envoi et la réception des messages courts et à partir du SMSC de l'opérateur, la comparaison entre le crédit de communication du client et le montant de sa facture est faite ; si le crédit est supérieur au montant de la facture, le crédit correspondant au montant est retranché sur le crédit du client.

Ce système présente une faille de sécurité vue que l'envoi d'un sms ne demande aucun mot de passe. Ce qui signifie que l'opération de paiement n'est pas sécurisée.

2. Conception d'une plateforme de paiement mobile : Cas de la facture d'électricité

Parfait TOKPONNON [25], avait pour but de réduire les longues files d'attente devant les guichets de paiement de factures d'électricité, il a modélisé un système de post-paiement permettant aux abonnés d'un réseau électrique d'honorer leurs factures d'électricité consommée sur une période d'un mois grâce au paiement mobile. Le modèle de son système est essentiellement composé de trois serveurs : le serveur de paiement permettant d'interpréter les requêtes des abonnés et les exécuter conformément à la logique-métier de son système informatique. Le serveur générateur et comparateur de code ; génère et vérifie les codes à utiliser par les abonnés pour recharger leur compteur et enfin le serveur de base de données qui contient et met à disposition les informations sur les abonnés du réseau électrique. Le système est connecté au réseau GSM via la passerelle SMS. L'abonné envoie la requête depuis son téléphone vers le réseau GSM en utilisant le protocole USSD, après traitement, celle-ci est envoyée ensuite au serveur de paiement via la passerelle SMS puis le serveur de paiement renvoie à son tour la réponse au client sous forme d'un SMS passant par le même chemin.

En résultat, il a mis en place une application web (installée sur le serveur de paiement) et simulé le système avec les trois serveurs interconnectés dans un réseau local. Pour cette simulation, le formulaire de la requête de l'abonné est envoyé sous forme de SMS (exemple : payer 1234 AB21FA01 518997), vu que transiter par le canal USSD est un processus complexe qui nécessite l'accord des opérateurs réseaux. Ainsi, le serveur reçoit les SMS via un modem GSM auquel il est connecté (Le modem est utilisé comme passerelle SMS).

Le processus de paiement de ce système présente une complexité puisque pour payer, l'utilisateur doit saisir plusieurs caractères, ce qui augmente la probabilité que l'utilisateur se trompe lors de la saisie de ces caractères. Mais aussi, ayant trois serveurs, l'architecture de ce système est lourde et complexe.

3. Conception et réalisation d'un compteur intelligent de gestion de l'énergie en mode prépayé

NACK, NSALI & WAFO [26] avait pour but de faciliter la gestion de l'énergie électrique tant pour l'abonné que pour le fournisseur d'énergie afin de permettre à l'abonné de gérer d'une manière autonome la consommation en énergie électrique de ses appareils et au fournisseur de contrôler et de déterminer à distance la consommation de ses clients. Parti de la

problématique selon laquelle ; De nombreuses familles ont parfois de la peine à régler leurs factures d'électricité, car ces factures sont en général alourdies par l'usage des appareils électroménagers énergivores, ou encore de l'impossibilité de contrôler ou de suivre leur consommation, ce qui mène à la coupure brusque du compteur. De même, la fraude, la longue attente devant les guichets de paiement de factures, la corruption et bien d'autres maux sont les difficultés auxquelles les consommateurs et les fournisseurs d'énergie électrique font face au quotidien.

Ainsi, partant de cette problématique, les auteurs ont su concevoir un compteur communicant (intelligent), avec le téléphone (smartphone) du client et la station de base du fournisseur de l'énergie électrique, via le réseau GSM. L'ensemble du système, constitué principalement d'un compteur intelligent, d'un concentrateur du côté fournisseur qui sert à centraliser les opérations des abonnés et d'une base des données munie d'une interface graphique ; permet au client de suivre sa consommation instantanée à distance, de recharger son compteur et reçoit une alerte quand son énergie atteint un niveau critique. Il permet également d'interrompre et de rétablir automatiquement de l'électricité après épuisement ou recharge du solde.

À la fin de ce travail, les concepteurs ont déploré la grande faille due à l'aspect sécurité que présente leur système du fait que, les données qui transitent du compteur vers le concentrateur peuvent être facilement interceptées par un pirate.

4. Étude et réalisation d'un système de communication par radiofréquence pour un compteur électrique avancé aux zones non urbaines

SOULIMANE & SEBBAGH dans leur travail de mémoire [27], proposent une architecture d'un système de contrôle et de monitoring à distance, permettant à un centre de contrôle et de monitoring du réseau électrique de communiquer avec des compteurs intelligents installés au niveau des foyers. Il permet aussi au propriétaire du compteur de consulter sa consommation énergétique à distance grâce à son smartphone, sa tablette ou son ordinateur.

Dans l'objectif de développer et de réaliser un système de communication impliquant des réseaux sans fil, les auteurs ont opté pour un système de communication de type XBee pour transmettre les informations en temps réel d'un compteur intelligent vers un Smartphone grâce à une application Android qui permet d'afficher et de stocker les données transmises par le module xbee.

À la fin du travail, ils ont conçu un prototype grâce auquel les auteurs ont affirmé la faisabilité du système. Il consiste à une communication entre deux terminaux ; un microcontrôleur du côté compteur et un autre connecté à un téléphone mobile permettant de recevoir les données provenant du compteur et les enregistrer dans une application mobile dédiée.

Cette communication présente des points forts : il utilise son propre réseau indépendant de l'internet, la communication est bidirectionnelle, et en cas de besoin de communication entre plusieurs compteurs, ceux-ci peuvent échanger des données en travers un réseau maillé.

5. Dans le rapport du **projet Pilote « CIZO »** [28] (qui signifie « soleil » en togolais) d'électrification rurale hors réseau électrique par kits solaires domestiques **en mode PAYGO** au Togo, justifié par un service électrique accessible à une faible portion de la population, la matérialisation de la politique nationale d'énergies renouvelables, le fort taux de pénétration de la téléphonie mobile comme vecteur de solution rapide de paiement et la promotion d'un modèle économique durable ; propose un service d'électrification des entités rurales moyennant des kits solaires en s'appuyant sur des technologies de paiement par téléphonie mobile. L'un de deux piliers sur lequel repose ce projet est la mise en œuvre d'une plateforme informatique nationale. L'objectif étant d'agréger les fonctionnalités de paiement instantané moyennant des technologies standards et la collecte de données concernant les besoins énergétiques de la population, leurs habitudes de consommation d'énergie électrique et leur solvabilité. En finalité de ce projet, trois plateformes ont été mises en œuvre en savoir ; TogoHub : un IPN Hub (Instant Payment Notification Hub) permettant aux clients de recevoir des notifications de transaction en temps réel, TogoSol : un module permettant la gestion de kits solaires pay-as-you-go. TogoSol intégré avec TogoHub pour recevoir les informations de paiement et enfin, TogoData : un module de collecte de données, qui a pour objectif de centraliser les données démographiques des clients, et de les agréger avec des données de paiement et d'utilisation des kits solaires. TogoData intégré avec TogoSol pour collecter les informations clients, les informations de paiement, et les données d'utilisation des systèmes.

Le projet s'est heurté à un risque macro politique dû à une faible couverture du réseau GSM dans les zones cibles risquant à mettre mal le projet PAYGO. Comme mesure d'atténuation, des séances de travail avec les opérateurs téléphoniques ont été organisées pour les inciter à améliorer la couverture du réseau dans le pays.

6. Étude comparative des plateformes de paiement mobile

OLSON ITALIS dans son mémoire de maîtrise [17], dont l'objectif se résume en trois points ; identifier les principales plateformes de paiement mobile, les évaluer selon les critères sécurité, coût, facilité d'utilisation, acceptabilité technique et spécifier les requis pour une nouvelle architecture de plateforme de paiement mobile, sécuritaire, à faibles coûts de mise en œuvre et d'exploitation. Dans son travail, il a fait une analyse détaillée des plateformes de paiement mobile les plus usuelles construites avec différentes technologies (SMS, USSD, QRC, NFC, WAP, Blockchain). Ce travail nous a guidés dans le choix de la plateforme de paiement, USSD, qui convient au moins au système que nous voulons mettre en place.

7. Conception et réalisation d'un système de gestion de l'énergie électrique à base d'un microcontrôleur, cas du Kivu Green Energy

MUTSUNGA Esaïe dans son travail de mémoire [29], est parti d'une problématique selon laquelle, dans la gestion d'énergie électrique, la surfacturation est à la base des problèmes qui surviennent lors de recouvrement et la sous-facturation met en péril l'avenir des sociétés d'électricité, mais aussi l'insolvabilité de certains clients qui ne contribue pas à l'émergence des sociétés productrices ou vendeuses d'électricité. Son principal objectif était d'améliorer l'efficacité de la gestion de l'énergie électrique tout en se prémunissant contre l'augmentation ou la réduction du coût de l'électricité. Il est parti des hypothèses selon lesquelles, la mise en place d'un compteur intelligent contrôlé via une plateforme web permettrait une facturation proportionnelle à la consommation des clients ; également, l'intégration d'un système de prépaiement des crédits d'énergie permettrait la bonne gestion de l'énergie. Cela réduirait considérablement le nombre de cas d'insolvabilité des clients.

En résultat, il a conçu un prototype du système, comprenant un compteur basé sur le microcontrôleur (Arduino Mega 2560) comptant par le biais d'un optocoupleur les impulsions lumineuses produites par un compteur modulaire (DDS238-1), qui affiche le nombre des kWh sur un écran LCD et qui commande en fonction des signaux reçus de l'application web (via une communication série) un module relais. Pour son système, l'application web permet également la gestion des informations sur les opérations de paiements.

Son système résout tant soit peu le problème dû à l'insolvable mais ne touche pas aucun aspect du processus aisé de paiement.

8. Étude et conception d'un système de collecte de données sur le réseau électrique de distribution : cas d'un réseau décentralisé

ADIKPETO Sidoine Ghislain dans son travail de mémoire [30], s'est fixé l'objectif d'effectuer l'étude et la conception d'un système de collecte de données sur le réseau électrique en prenant comme cas les réseaux électriques décentralisés. Il est parti de la problématique selon laquelle le recouvrement de l'énergie devient un processus prolongé vu que les recouvreurs doivent passer maison par maison pour effectuer le relevé du compteur afin de produire la facture. Si le consommateur n'est pas disponible, le processus de facturation sera en attente et le releveur doit à nouveau passer chez l'abonné. Aussi, cela devient très difficile en saison pluvieuse. Dans le système post payé, il n'y a pas de contrôle de l'utilisation de l'électricité du côté du consommateur, ce qui entraîne un gaspillage d'énergie électrique en raison d'un manque de planification efficace de la consommation électrique.

En final, il a su concevoir un compteur intelligent qui transmet, à une périodicité de cinq secondes, des données (tension, courant, puissances, énergies, ...) à un serveur (un raspberry Pi 3) local de développement via la technologie LoRa (une technologie qui, comparativement aux autres systèmes de communication utilisés dans l'IoT possèdent : une faible consommation d'énergie électrique, nécessite une faible puissance de calcul, son module est vraiment miniaturisé et est accessible à un prix faible). En revanche, sa solution ne gère pas totalement le processus de paiement.

9. Étude et réalisation d'un compteur d'énergie intelligent

Amir Djebiri et Hadjer Bakhaled [31] proposent une solution au problème de facturation et collecte des informations et des données de consommation, mais également de contrôle de la consommation de client, en mettant en place un compteur intelligent en base d'un microcontrôleur ESP32. L'ensemble du système permet au client, grâce à une application mobile installée sur son smartphone, de se connecter à son compteur via un réseau Wi-Fi. Il peut ainsi contrôler sa consommation, avec une possibilité de couper du courant à une charge bien identifiée de son installation. Les données de consommation sont envoyées sur une base des données en ligne (firebase).

À la fin du travail, les auteurs citent certaines perspectives dont ; l'extension du compteur d'énergie communiquant pour les systèmes triphasés, l'enregistrement des données de

consommation dans une carte mémoire en cas de l'absence de l'internet et l'ajout d'un système de protection intelligent en cas des problèmes électriques.

10. Réalisation d'un compteur d'énergie intelligent

RAMDANE Rafik et ZIRAR Mohammed, dans leur projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master académique [32], proposent un compteur intelligent qui permet de récolter les informations de consommation d'énergie d'un client et les transmet à l'opérateur réseau via internet. Partis de la problématique selon laquelle, la non-collection des données de consommation d'énergie électrique en temps réel, entraîne une difficulté de gestion du réseau, mais aussi ne favorise pas l'économie d'énergie par les clients consommateurs.

Le système modélisé dans ce travail comprend, du côté client, un compteur en base d'un microcontrôleur (Wemos Lolin32) qui permet essentiellement de prélever, afficher et envoyer la quantité d'énergie électrique consommée et, du côté opérateur, d'un serveur http (connecté à une base des données) qui reçoit et archive les données. À chaque fin de la journée, les données de consommation doivent être envoyées vers la base de données via un programme PHP, puis les variables qui stockent le coût et la consommation sont réinitialisées.

Ce système est inefficace du fait que, pour son fonctionnement normal, il nécessite une connexion internet. Il peut aussi facilement être piraté, vu qu'à local le microcontrôleur génère un point d'accès sur lequel le client peut se connecter. Le client peut ainsi réinitialiser le compteur, ce qui va occasionner la perte des données qui étaient déjà enregistrées, surtout qu'elles ne sont pas envoyées au serveur en temps réel.

En conclusion de cette partie qui traite de la revue de la littérature ; quelques travaux que nous avons lus, nous ont permis non seulement de mettre en évidence les points de divergence qui résultent entre notre travail et ces derniers, mais également, d'enrichir notre domaine d'étude.

En titre comparatif, notre travail se différencie :

- Des travaux [26], [27], [29], [30], [31] et [32] du fait que les auteurs de ceux-ci s'étaient plus focalisés sur la gestion de l'énergie ; la collecte automatique des données de consommation, l'amélioration du processus de recouvrement, l'amélioration du système de comptage. Ils n'ont pas pensé plus à un moyen de paiement efficace qui peut permettre aux abonnés des réseaux de payer l'électricité d'une manière aisée et à n'importe quand.

- Du travail [24] et [25] ayant presque la même problématique avec la nôtre, du fait que les auteurs ont proposé des solutions, mais en mode post payé, (l'une consiste à payer la facture d'électricité en échange des unités de crédits).
- Du projet décrit dans le rapport [28] qui utilise la méthode de post-paiement, pour couvrir petit à petit la dette des kits solaires, administrable dans une plateforme web.
- Du travail [17] dont l'auteur s'est focalisé sur l'étude comparative des plateformes de paiements mobile.

I.3. SPÉCIFICATION D'EXIGENCES LOGICIELLES

Dans cette partie de ce travail, nous présentons quelques spécificités qui caractérisent notre système en décrivant son comportement externe, mais également les exigences non fonctionnelles de ce dernier.

I.3.1. DESCRIPTION GLOBALE

- **Perspective du logiciel**

Le système idéal qui fait l'objet d'étude de ce travail de recherche, servira de solution et de moyen de paiement efficace pour les abonnés du réseau électrique, (ENK) précisément dans la ville de Beni.

Dans le système, le client doit disposer d'un compte attaché à son compteur et à son identifiant unique. Ainsi, le client utilisera son téléphone portable pour effectuer l'opération d'achat d'énergie électrique, à partir d'une session USSD. Côté serveur (guichet), le backend de l'application web permettra de canaliser automatiquement le paiement réussi vers le compteur électrique concerné par le paiement, en le rechargeant avec les kWh équivalents à la somme reçue.

- **Fonctionnalités du produit**

Ce système a deux fonctionnalités principales ; celle de permettre le paiement de l'énergie électrique à partir de son solde mobile money (Airtel money, M-Pesa ou Orange Money) et celle d'effectuer automatiquement la recharge du compteur après la réussite du paiement. Signalons que, l'utilisateur pourra effectuer le paiement via une session USSD dédiée. Un message lui sera ensuite renvoyé, l'informant si l'opération a été bien effectuée.

- **Caractéristiques des utilisateurs**

L'abonné, utilisateur de notre système, doit au moins être capable de bien manipuler un téléphone portable, c'est-à-dire apte d'interagir avec une session USSD. Côté guichet de vente, le système sera au moins autonome, seulement un informaticien dont le rôle sera de s'assurer du bon fonctionnement du système et des ajouts des nouveaux compteurs devra avoir des connaissances suffisantes en informatique et réseau.

- **Dépendances et suppositions**

Le système est essentiellement dépendant de l'état du réseau GSM/ USSD, autrement dit, si le réseau GSM ne permet pas l'établissement des sessions USSD, aucune opération de paie ne peut être effectuée. Mais aussi, pour que le rechargement du compteur soit effectué juste quelques instants après le paiement, tel que souhaité, le serveur doit être en fonction d'une manière permanente.

I.3.2. PERFORMANCE

Compte tenu du nombre d'opérations pouvant être effectuées simultanément dans une unité de temps, le serveur devra être plus efficace, autrement dit capable de répondre sans failles au flux de requêtes pouvant être reçu par celui-ci. À ce qui concerne le processus de recharge, les crédits achetés par le client devront être transférés dans le compteur de ce dernier dans un bref délai (plus petit possible).

- **Fiabilité**

L'on peut bien vouloir acheter l'énergie électrique à n'importe quand, c'est pour cette raison que le système devra être disponible à tout moment, 24h/24 et 7j/7 avec le moins de défaillances possible pour ne pas perturber les opérations de paiement et de rechargement des compteurs. En revanche, s'il advenait que le système présente certaines dégradations, sa remise en état de marche devra être immédiate dans les 6 ou 12 heures qui suivront. Cela pour finalement rester dans la marge de l'objectif, celui d'améliorer les conditions d'accessibilité à l'électricité.

▪ Sécurité

La sécurité est un état dans lequel les dangers et les conditions pouvant causer des dommages physiques, psychologiques ou matériels sont contrôlés de manière à préserver la santé et le bien-être des individus et de la communauté. [33]

La sécurité commençant par l'aspect physique, l'accès au serveur doit être limité. L'authentification par un mot de passe et identifiant sera une nécessité pour accéder à l'interface graphique de l'application installée sur le serveur ; cela pour se rassurer que celui qui veut effectuer des actions sur le serveur est bien reconnu et autorisé.

Également, pour tous les comptes mobile-money, la validation d'une opération, se conditionne par la saisie du mot de passe (valide) de son compte Mobile money. Celui-ci doit rester confidentiel, car il permet d'effectuer n'importe quelle opération (retrait, envoi, ...) sur son compte Mobile money.

▪ Portabilité

Tous les téléphones portables, smartphones ou non, permettent d'exécuter des sessions USSD. Cet aspect rend le système très avantageux vu que toute personne ayant un téléphone portable et un compte de mobile money pourra donc l'utiliser.

Conclusion

Ce premier chapitre est subdivisé en trois grandes parties : la première porte sur la définition des concepts de base qui permettent d'enrichir la compréhension du domaine de recherche, la seconde consacrée à la présentation de certains travaux déjà réalisés dans le même domaine de recherche que le nôtre. Cette seconde nous a permis d'élucider l'originalité de notre travail par rapport à ceux que nous avons parcourus.

En chutant, la dernière partie s'est attelée au comportement externe et aux exigences non fonctionnelles qui caractérisent notre système.

CHAPITRE II. MÉTHODOLOGIE ET CONCEPTION DU SYSTÈME

Une recherche scientifique digne de ce nom utilise des méthodes et des techniques scientifiques. C'est dans ce contexte que dans le deuxième chapitre de ce travail, nous identifierons et détaillerons quelques méthodes et techniques scientifiques à utiliser et qui nous permettront de bien procéder dans la mise en place de notre système. Ensuite, nous parlerons de la conception du système lui-même sur la base des normes de modélisation pour approfondir la manière dont le système sera implémenté et comment il fonctionnera.

II.1. MÉTHODOLOGIES, TECHNIQUES

Cette partie présente l'ensemble des règles qui nous aideront et qui nous faciliteront la tâche dans la compréhension de certains problèmes que vient résoudre notre système et celle du fonctionnement de ce dernier. Cela nous aidera ensuite dans la réalisation ou la mise à concret de notre système.

II.1.1. MÉTHODES

Une méthode est définie comme un ensemble d'étapes et des démarches que l'esprit suit, pour découvrir et démontrer une vérité quelconque. [34] Nous avons utilisé certaines méthodes pour l'accomplissement de l'objectif du présent travail scientifique. Nous en détaillons quelques-unes dans les lignes qui suivent.

A. La modélisation

Pour mieux contrôler la complexité de notre système, nous avons utilisé la méthode de modélisation.

Un modèle est une représentation d'un système par des moyens plus facile à comprendre ; il s'agit d'une représentation abstraite et simplifiée (c'est-à-dire qu'il inclut certains détails), d'une entité (phénomène, processus, système, etc.) en vue de le décrire, de l'expliquer ou de l'archiver. [35]

Cette méthode nous a permis de détailler notre système afin de réduire sa complexité en éliminant les détails qui n'influencent pas son comportement significatif. Pour la construction de notre système, nous avons utilisé le langage de modélisation UML (Langage de modélisation unifié).

Le langage UML est à présent un standard défini par l'Object Management Group (OMG). UML est un langage de modélisation graphique et textuel destiné à expliciter et à décrire des besoins, spécifier et archiver des systèmes, esquisser des architectures logicielles, concevoir des solutions et permettre l'échange des points de vue. [36] UML (version 2.5) comprend treize types de diagrammes différents offrant ainsi la possibilité de représenter tous les aspects, fonctionnels, structurels et comportementaux d'un système. [37] Nous avons porté notre choix sur le langage UML, car ce dernier renferme un certain nombre d'avantages. UML c'est un langage formel et normalisé, il permet un gain de précision et de stabilité. Il permet également, grâce à sa représentation graphique, d'exprimer visuellement une solution objet, de faciliter la comparaison et l'évolution de solution.

B. Simulation

La simulation est une suite de calculs effectués sur l'ordinateur et reproduisant un phénomène physique. Elle conduit à la description du résultat de ce phénomène, comme s'il s'était réellement produit. [38] Nous nous sommes servis de cette méthode dans le but de tester le prototypage en simulant les transferts d'argent lors de paiement.

C. L'expérimentation

L'expérimentation consiste à la production d'une expérience qui, principalement, permet la mise à l'épreuve d'une hypothèse. C'est la phase de vérification qui permet d'évaluer si les spécifications attendues sont au moins satisfaites. Cette méthode sert à tester notre prototype pour enfin certifier qu'il constitue au moins l'image proche de la solution qui résout le problème énoncé en introduction de ce travail. Suite aux résultats de cette étape, on tire une conclusion sur notre hypothèse.

II.1.2. TECHNIQUES

La technique désigne un outil, un moyen, un instrument utilisé pour atteindre un résultat partiel, à un stade précis de la recherche. [39] Voici les techniques dont nous nous sommes servies dans notre travail :

A. La technique d'observation

La technique d'observation est basée sur l'aspect visuel et consiste à recueillir les données qualitatives et quantitatives de manière directe sans faire recours aux témoignages ou aux documents. Elle consiste à l'étude des attitudes et des comportements d'individus ou de

groupes, en prenant en considération l'aspect idéologique, culturel, social et même économique. [39] L'observation participante, qui consiste à faire partie de la vie collective de la communauté étudiée afin de pouvoir établir des constats, nous a permis de nous imprégner du réel problème (décrit en introduction) que cause le système de paiement utilisé par la société qui fait notre milieu d'étude.

B. La technique documentaire

La technique documentaire consiste à rechercher, identifier, trouver et consulter des documents scientifiques relatifs à un sujet donné. Ainsi, pour enrichir nos recherches et d'autre part nos connaissances dans notre domaine de recherche, il a été indispensable d'utiliser une technique documentaire. Cela nous a permis d'obtenir des informations fiables et nécessaires qui nous ont aidés à éclaircir le champ de notre travail.

II.2. CONCEPTION DU SYSTÈME

Cette deuxième partie présente la modélisation ou la conception du système. La modélisation est la représentation abstraite du fonctionnement de l'ensemble du système [40]. Cela permet de comprendre la manière ou les procédures à suivre lors de l'implémentation. Il est indispensable de commencer par la modélisation, car mettre en place un système sans l'avoir modélisé peut sembler de plus en plus complexe. Ici-bas, sont présentées toutes les caractéristiques du système. Comme susmentionné, UML est ici utilisé comme langage de modélisation. Ainsi, les diagrammes sur base desquels sera basé le système sont reproduits.

II.2.1. VUE FONCTIONNELLE

La vue fonctionnelle sert à présenter l'architecture fonctionnelle du système d'information en termes de fonctionnalités ; elle est destinée aux professionnels des métiers et aux professionnels de l'informatique. [41]

A. *DIAGRAMME DES CAS D'UTILISATION*

Le diagramme de cas d'utilisation offre une première aperçue pas pour comprendre les interactions entre le système et ses différents acteurs. Il permet d'analyser et d'organiser les besoins, mais aussi de récupérer les grandes fonctionnalités du système. Pour le diagramme des cas d'utilisation, on distingue trois différents concepts principaux :

- **Un cas d'utilisation** : c'est une unité de l'ensemble du diagramme qui représente une fonctionnalité visible de l'extérieur. Il représente un service que peut rendre le système.

- **Un acteur** : c'est un utilisateur qui joue le rôle principal dans le système. Il peut être une personne externe, un dispositif matériel ou un autre système.
- **Interaction** : c'est une description de la communication entre l'acteur et le cas d'utilisation.

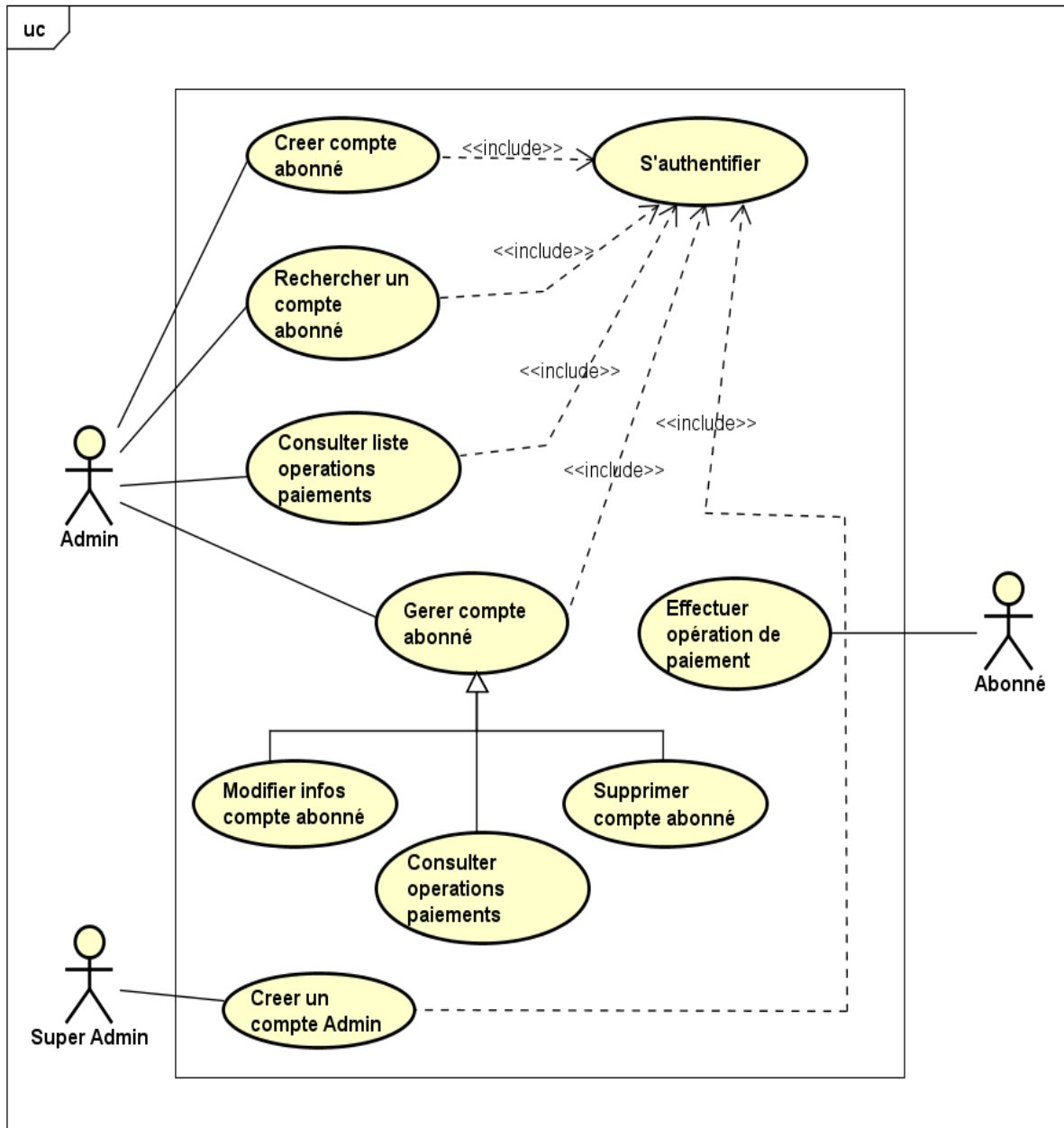


Figure 6: Diagramme des cas d'utilisation

Le diagramme de cas d'utilisation ci-haut est détaillé brièvement dans le tableau suivant :

<i>Acteur</i>	<i>Cas d'utilisation</i>	<i>Précondition</i>	<i>Objectif</i>
Super Administrateur	Authentification	Être agent de ENK et avoir un compte d'administrateur.	Se connecter au système
Administrateur	Gérer comptes abonnés.	S'authentifier au préalable en tant qu'administrateur.	Modifier les informations d'un compte abonné, consulter les opérations de paiements ou supprimer un compte abonné.
Abonné	Effectuer opération de paiement.	Avoir un compte mobile money et avoir un compte dans le système.	Payer l'électricité

II.2.2. VUE DYNAMIQUE

La vue dynamique présente les aspects (d'un modèle), ayant un rapport avec la spécification et l'implémentation du comportement au cours du temps [36].

Une vue dynamique est décomposée en quatre diagrammes dont le diagramme d'activité, les diagrammes de séquence, les diagrammes de collaboration et les diagrammes de transition d'état. Pour notre cas, nous nous intéresserons aux deux premiers, en particulier le diagramme d'activité et de séquence :

A. DIAGRAMMES D'ACTIVITÉS

Un diagramme d'activité donne une aperçue du comportement d'un système en décrivant une suite bien ordonnée d'actions d'un processus. Les diagrammes d'activité sont similaires aux organigrammes de traitement de l'information en ce sens qu'ils montrent les flux entre les actions dans une activité [42].

1. Activité « S'authentifier »

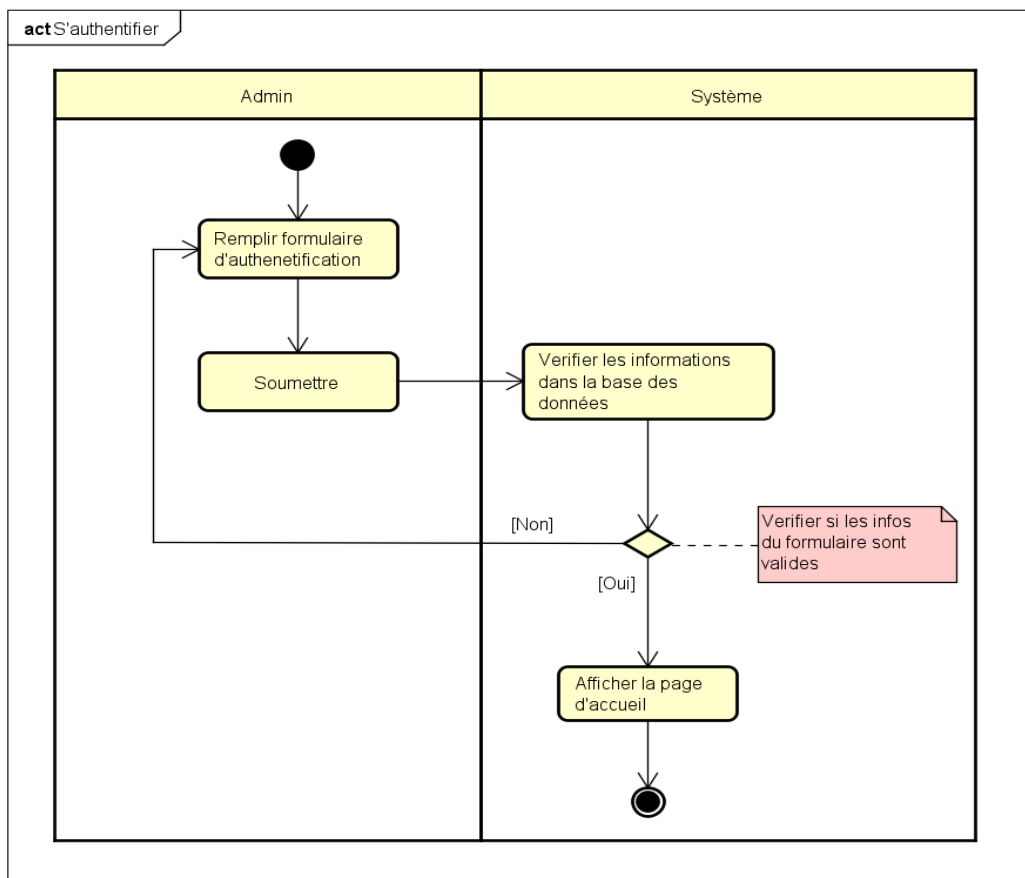


Figure 7: Diagramme d'activité ; S'authentifier

Commentaires :

Avant d'effectuer toute activité, il faut d'abord s'authentifier. Cette opération identifie l'utilisateur direct du système et apporte la preuve que ce dernier est bien autorisé à accéder à un compte administrateur.

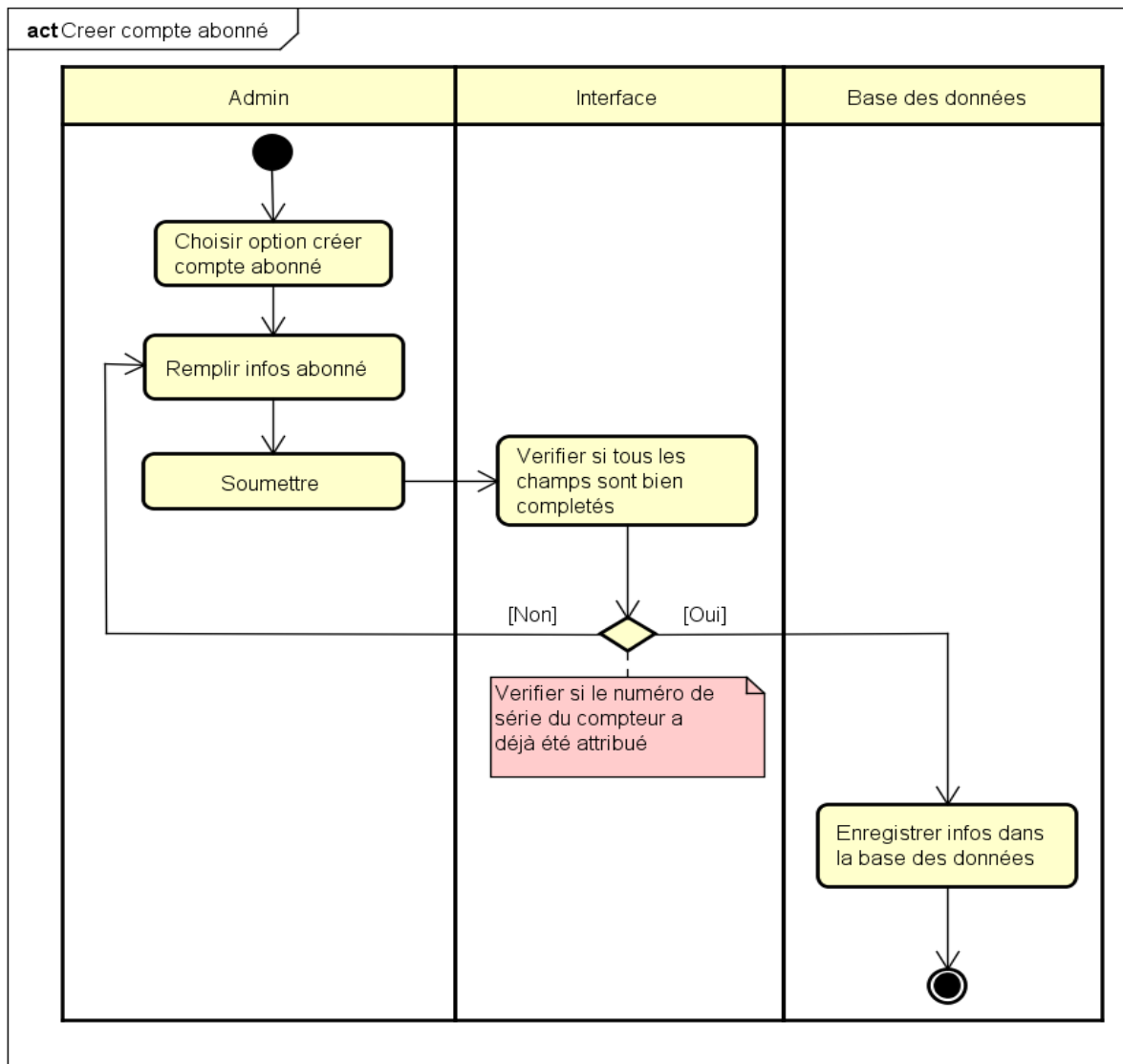
2. Activité « Créer un compte abonné »

Figure 8: Diagramme d'activité ; créer un compte abonné

Commentaires :

Pour qu'un abonné soit reconnu dans le système, il doit d'abord avoir un compte d'abonné dans le système. Le compte d'un abonné est lié à son identifiant et à son compteur. L'activité retranscrite ci-dessus permet à l'administrateur système de créer un compte pour un abonné.

3. Activité « Effectuer opération paiement »

L'activité « Effectuer opération paiement » est une activité qui s'exécute concomitamment sur le téléphone et sur le serveur du service des opérations de paiement lors du processus d'un nouveau paiement d'électricité, en dehors du serveur sur lequel est installée l'application web en cours de modélisation. Mais il est préférable de dresser le diagramme d'activité de cette dernière, non seulement parce qu'elle s'achève complètement lors de la recharge du compteur (une tâche effectuée à partir du serveur) mais, puisqu'il constitue l'activité phare de l'ensemble du système.

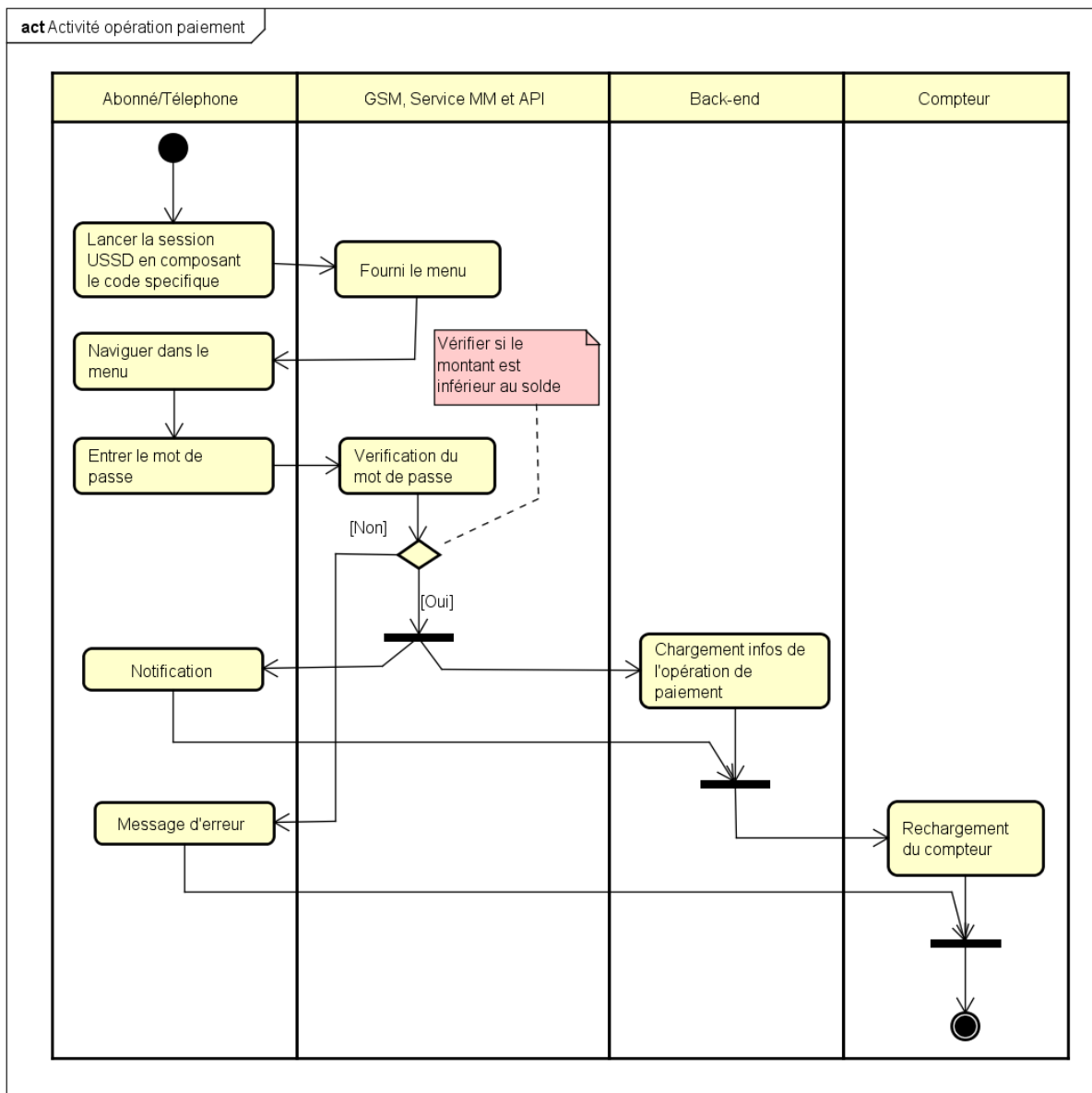


Figure 9: Diagramme d'activité ; effectuer opération paiement

B. LES DIAGRAMMES DE SÉQUENCE

Les diagrammes de séquence sont utilisés pour décrire comment les éléments du système interagissent entre eux et avec les acteurs [43]:

- Les objets au cœur d'un système interagissent en échangeant des messages.
- Les acteurs interagissent avec le système au travers d'Interfaces Homme-Machine (IHM).

1. Diagramme de séquence du cas d'utilisation « s'authentifier ».

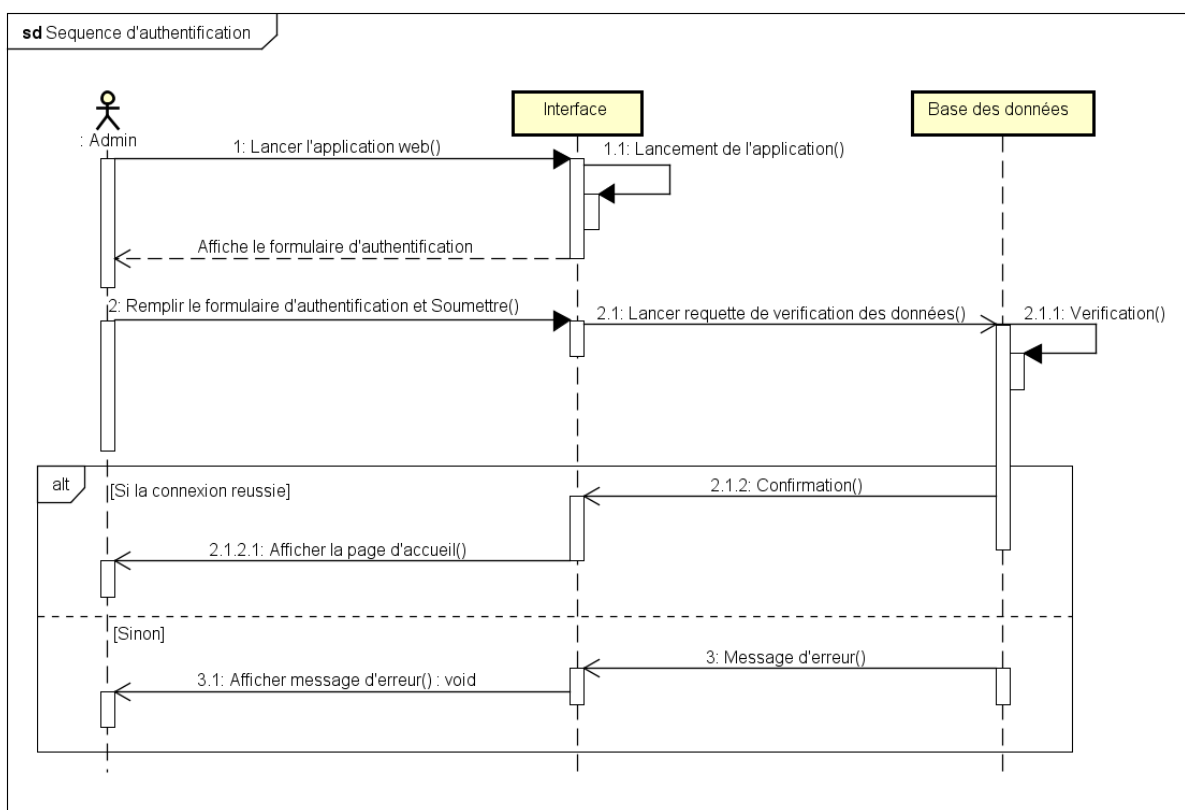


Figure 10: Diagramme de séquences ; s'authentifier

Commentaires :

Le diagramme de séquence ci-dessus détaille les séquences possibles pour arriver à s'authentifier dans le système, mais également, toutes les conditions possibles pour vérifier la validité des informations saisies par un acteur.

Les séquences à effectuer pour effectuer la phase d'authentification sont :

- L'administrateur lance le système,
- Le système affiche l'interface authentification,

- L'administrateur saisit ces données de connexions,
- Une vérification se lance dans la base de données,
- Si les données fournies sont vraies, la page d'accueil administrateur s'affiche ;
- Sinon, un message d'erreur s'affiche obligeant ainsi à l'administrateur d'entrer ces bonnes données d'informations.

2. Diagramme de séquence du cas d'utilisation « créer compte abonné ».

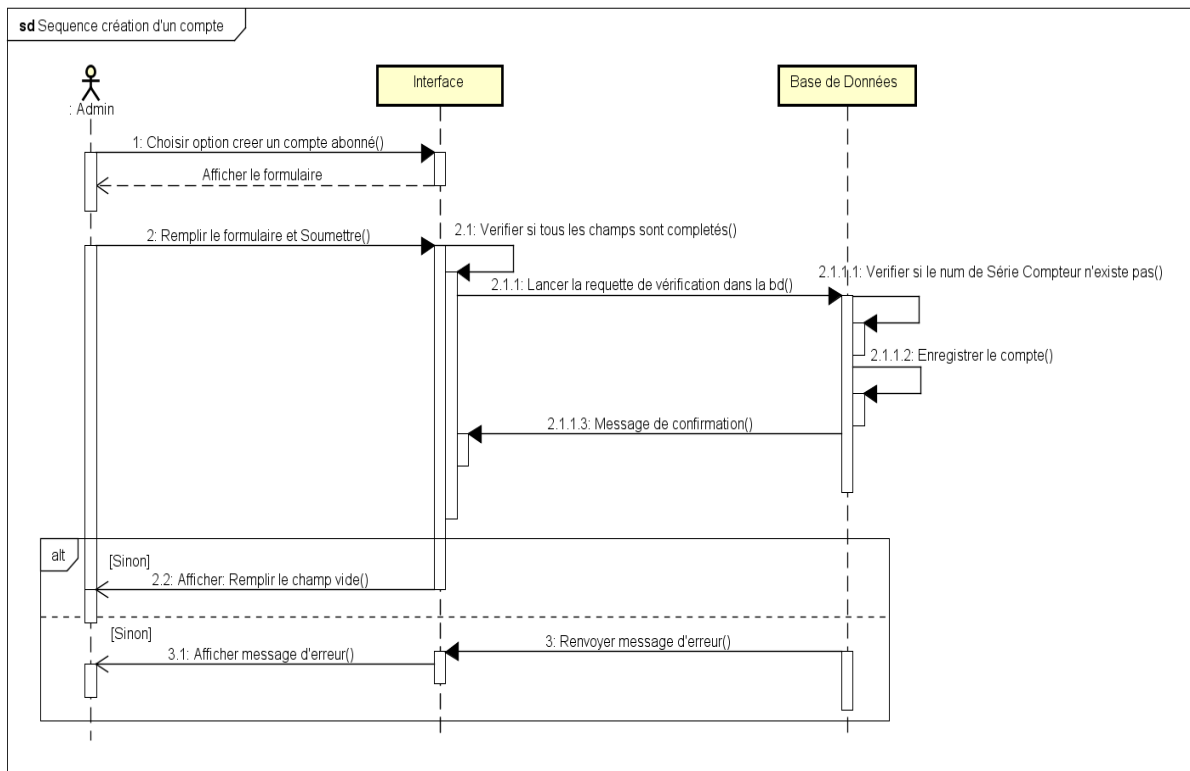


Figure 11: Diagramme de séquences ; créer compte abonné

Commentaires :

Comme nous l'avons signalé précédemment, pour qu'un abonné soit reconnu dans le système, il doit d'abord avoir un compte d'abonné dans le système. Le diagramme de séquence ci-dessus illustre le processus de création et ces conditions.

3. Diagramme de séquence du cas d'utilisation « Effectuer opération paiement »

À noter que, lorsqu'un opérateur de mobile money concède l'API de paiement, les deux contractants (fournisseur et demandeur d'API) préparent et disponibilisent un menu de la session USSD à suivre afin de pouvoir réaliser les opérations de paiement. Le diagramme de séquence ci-dessous reflète la procédure de paiement à suivre, en considérant que l'API de paiement (mobile money) est agréable et bien intégrée au backend de l'application de notre système.

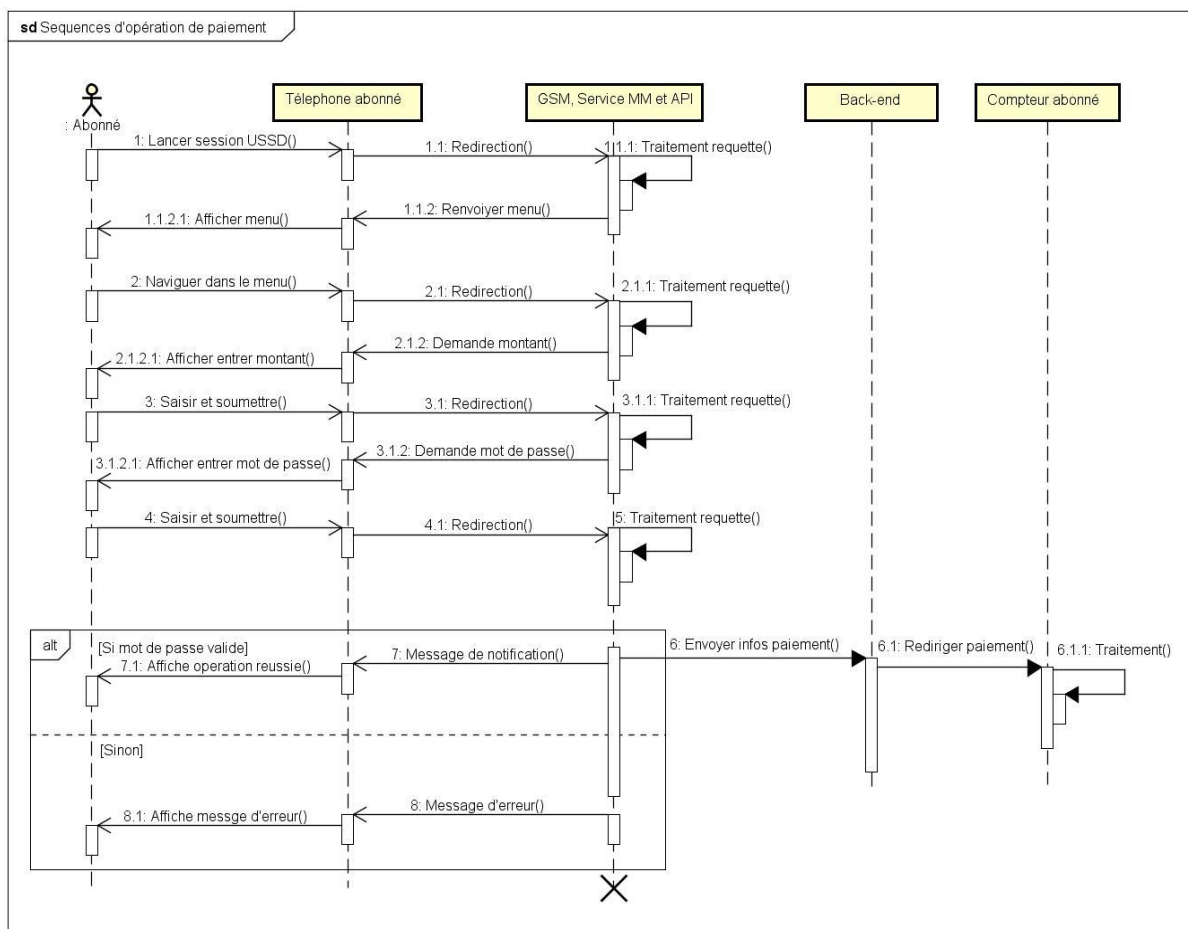


Figure 12: Diagramme de séquences ; effectuer opération paiement

Commentaire :

Le diagramme de séquence ci-dessus, montre toutes les séquences possibles de l'opération de paiement d'énergie électrique par l'abonné, du lancement de la session USSD dans le téléphone jusqu'à l'étape de la recharge automatique du compteur de l'abonné.

II.2.3. VUE DYNAMIQUE

La vue statique est un ensemble d'éléments de modèle statiques, tels que les classes, les interfaces et leurs relations, reliées entre elles comme un graphe. Il représente la description statique du système en intégrant dans chaque classe la partie dédiée aux données et la partie centrée sur les traitements. C'est le diagramme pivot de toute la modélisation d'un système [44].

1. Diagramme de classes

Le diagramme de classe décrit clairement la structure d'un système particulier en modélisant ses classes, ses attributs, ses opérations ainsi que les relations entre ses objets [44].

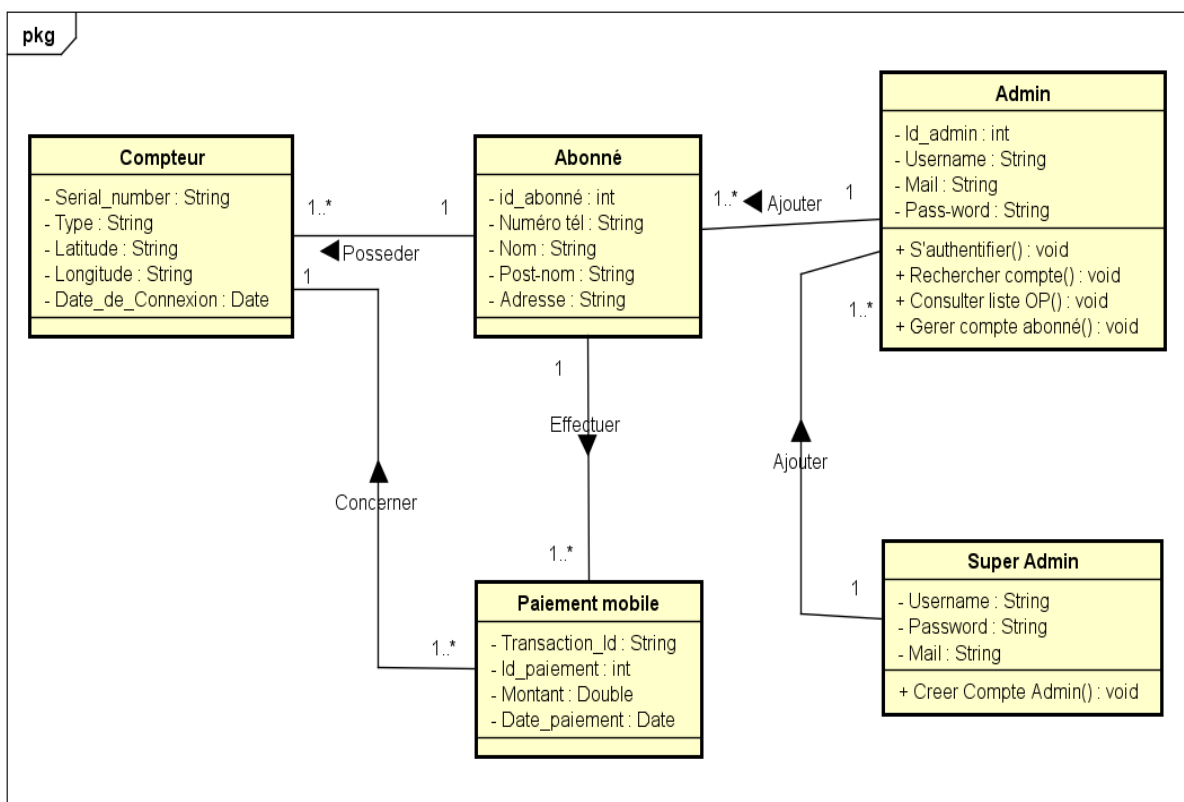


Figure 13: Diagramme des classes

Commentaire :

Le diagramme des classes ci-dessus comporte cinq classes, chacune ayant un rôle précis.

- **La classe d'abonné** ; contient les attributs nécessaires pour identifier un abonné,
- **La classe de compteur** ; contient les informations importantes pour identifier un compteur appartenant à un abonné bien identifier.

- **La classe *paiement mobile*** ; permet d'archiver les opérations de paiements mobiles afin de le consulter et de les utiliser en cas de besoin.
- **La classe *Admin*** : permet de sauvegarder les attributs spécifiques d'un administrateur. Lors de l'authentification, le mail et le mot de passe saisis sont comparés avec le mail et mot de passe se trouvant dans cette entité.
- **La classe *Super Admin*** ne permet que de stocker les identifiants du super administrateur. Le super administrateur a la possibilité de créer des comptes aux administrateurs. Nous comptons limiter le nombre d'administrateurs au moins à 3 ou 4.

2. Diagrammes d'objets

Le diagramme d'objets se concentre sur les attributs d'un ensemble d'objets et sur la façon dont ils interagissent les uns avec les autres. Un diagramme d'objet est une instance d'un diagramme de classe [44]. Le diagramme d'objet illustre donc un diagramme de classe dans un scénario donné.

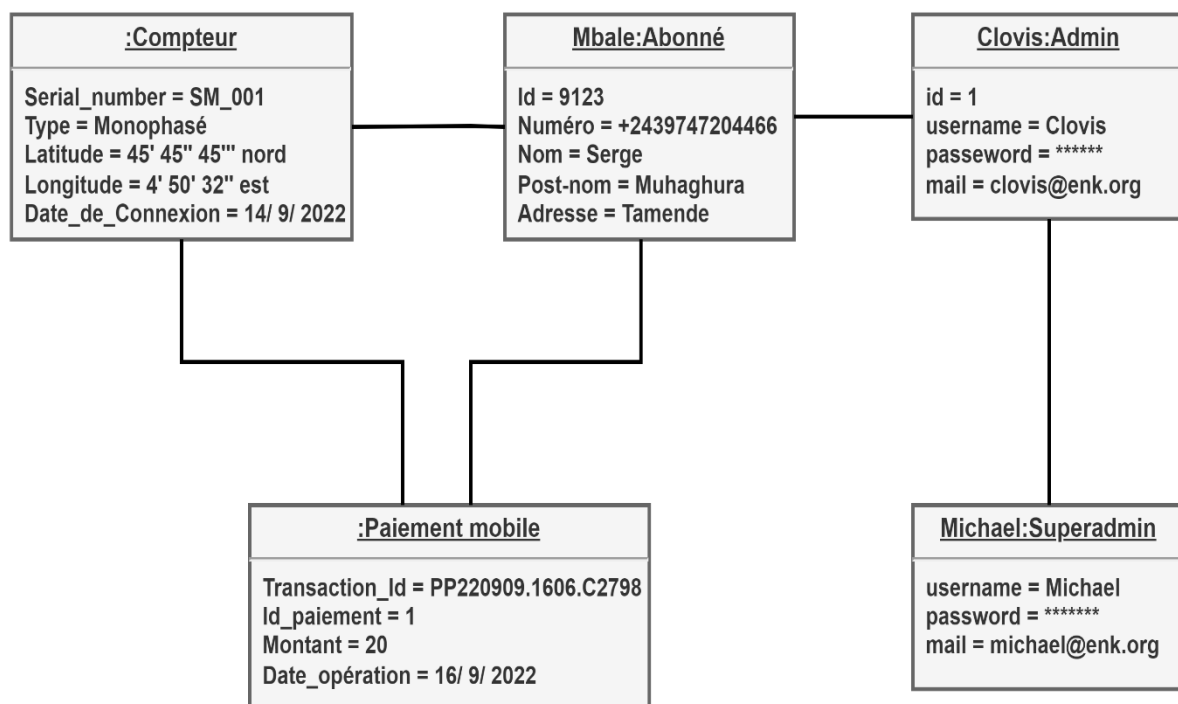


Figure 14: Diagramme d'objets

3. Diagrammes de déploiement

Le diagramme de déploiement permet de représenter l'architecture physique supportant le fonctionnement du système [44]. Le diagramme de déploiement illustre le traitement d'exécution d'un point de vue matériel, visualise la topologie du système matériel et montre quel élément logiciel est déployé par quel matériel.

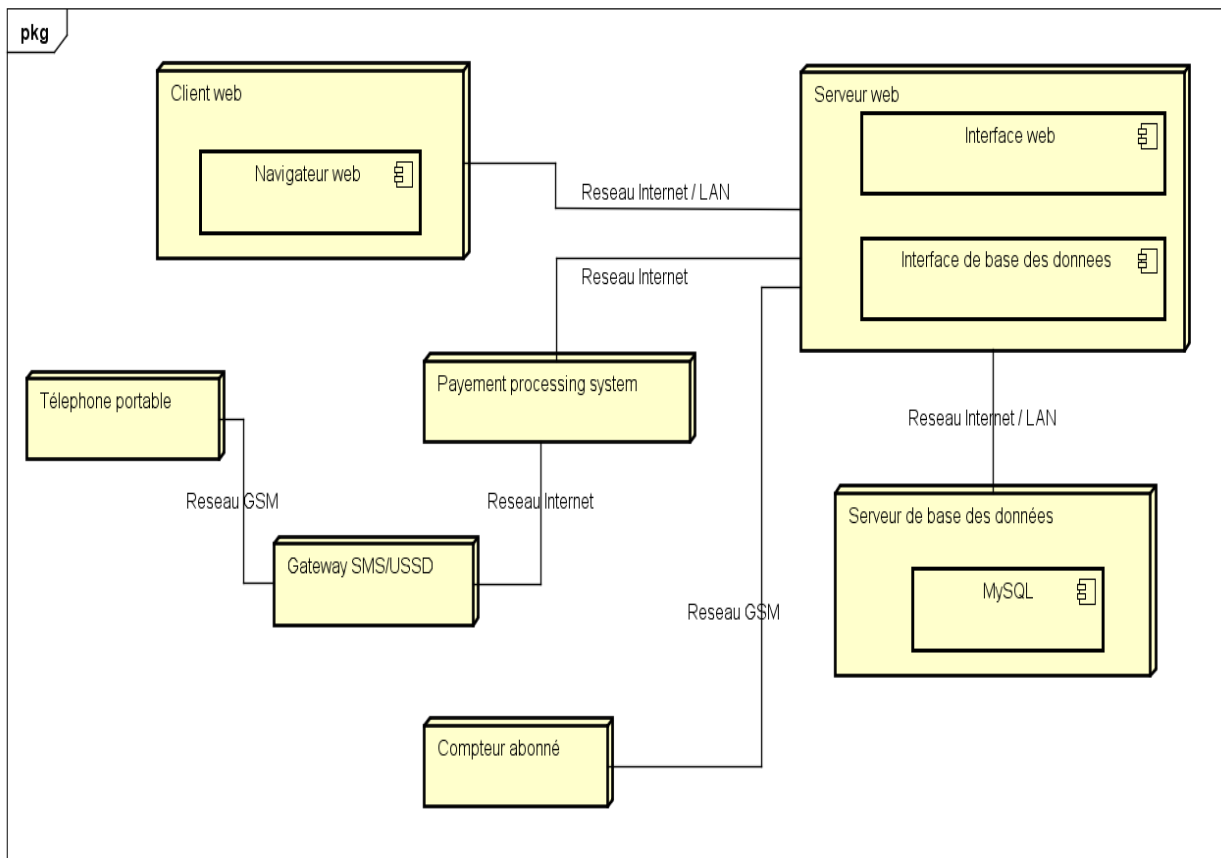


Figure 15: Diagramme de déploiement du système

Commentaire :

Le diagramme de déploiement ci-dessus, décrit l'architecture de notre système, inclut la partie du système GSM qui permet à l'abonné, grâce à un téléphone portable, d'interagir avec le serveur de paiement de notre système.

Il est composé :

- **Du Serveur web** : c'est une machine (puissante) qui gère l'application web permettant la gestion du flux des requêtes (provenant du client web vers la base des données, du système de paiement pour les rediriger vers les compteurs...).

- **Du serveur de base des données :** qui permet le stockage de toutes les données à sauvegarder qui transite dans le système.
- **D'un Client web :** il s'agit d'une machine ou juste un moniteur connecté au serveur au travers d'un réseau local ou via l'internet.
- **Du « Payment Processing System » :** c'est un serveur à part entière qui gère les trafics des opérations de paiements mobile money. C'est grâce aux APIs que notre serveur web sera en communication avec celui-ci.
- **Du Gateway SMS/USSD :** c'est un système à part entière qui permet les trafics d'informations entre le réseau GSM et le « Payment Processing System ». Il permet de rediriger les requêtes USSD et les SMS provenant des « Mobile Station » vers le système informatique dédié.
- **Un téléphone portable :** (nommé Mobile Station dans l'architecture GSM) permet à l'abonné, grâce aux ondes radioélectriques, d'utiliser les services fournis par le réseau GSM (appel téléphonique, SMS...).
- **Un Compteur (de l'abonné) :** c'est le dispositif qui permet de quantifier l'énergie électrique consommée dans un circuit. Selon la technologie utilisée, il peut permettre d'ouvrir le circuit lors des conditions spécifiques bien déterminées.

II.2.4. BASE DE DONNÉES

La mise en place d'une base des données se fait suivant deux grandes étapes :

- L'étape conceptuelle : il s'agit de la modélisation de tables des données telle que déjà faite, en dressant le diagramme de classe.
- L'étape de la mise en place physique : cette étape consiste à implémenter le modèle dans un Système de Gestion de Base des Données (SGBD). Pour notre cas, nous avons choisi MySQL qui est un Système de Gestion de Base de Données Relationnelles.

1. Modèle conceptuel des données.

Le modèle conceptuel des données (MCD) a pour but d'écrire et de formaliser les données qui seront exploitées par le système d'information. Il consiste à une représentation des données, facilement compréhensible, qui permet de décrire le système d'information à l'aide d'entités. Ce modèle est décrit dans la figure 15 du diagramme de classe.

2. Modèle Relationnel

Pour construire notre base de données, nous partirons du diagramme de classe au diagramme relationnel. Pour passer de diagrammes de classe en table, nous allons tenir en compte la notion de multiplicité pour faciliter l'association de différentes classes. On distingue trois grands types de cardinalité : notamment la relation de un à un, un à plusieurs et de plusieurs à plusieurs.

Les normes à suivre pour transformer un diagramme de classe en modèle relationnel sont les suivantes :

1. Cas de la présence de la multiplicité (1..*) d'un côté de l'association :
 - Chaque classe correspond en une table
 - Chaque attribut de classe correspond en un champ de table
 - L'identifiant de la classe qui est associée à la multiplicité devient la clé étrangère de l'autre classe
2. Cas de la présence de la multiplicité (*..*) de deux côtés de l'association :
 - Chaque classe correspond en une table
 - Chaque attribut de classe correspond en un champ de table
 - L'association se transforme en une table. Cette table a comme champs l'identifiant de chacune des deux classes, plus d'éventuels autres attributs.
3. Cas de la présence d'une multiplicité (1..1) de deux côtés de l'association :
 - Quand deux relations sont égales à un, les deux tables doivent être fusionnées.

Partant des principes de modélisation énoncés, voici ci-dessous le modèle relationnel de notre base de données :

- Super_Admin [***Id_SupAdmin***, username, password]
- Admin [***Id_Admin***, #Id_SupAdmin, Nom, Post-nom, mail, poste, password]
- Abonné [***Id_abonné***, #Id_Admin, Numéro tel, Nom, Post-nom, Adresse]
- Compteur [***Serial_number***, #Id_abonné, Type, Latitude, Longitude, Date_de_connexion]
- Paiement_mobile [***Id_paiement***, #Id_abonné, #Id_compteur, Montant, Date_paiement]

Conclusion

Ce chapitre a traité des méthodologies et de la conception du système. Nous avons d'abord présenté les méthodes et techniques à utiliser pour la réalisation de ce présent travail et de notre système. Enfin, nous avons présenté les différents diagrammes qui, de manière abstraite, décrivent notre système. En effet, nous avons utilisé le langage de modélisation UML pour concevoir les diagrammes présents dans ce travail. Nous pouvons citer : le diagramme de cas d'utilisation, les diagrammes d'activité, les diagrammes de séquences, le diagramme de classes, le diagramme d'objet et enfin le diagramme de déploiement.

CHAPITRE III. IMPLÉMENTATION ET PRÉSENTATION DU SYSTÈME

Après la conception théorique de notre système dans le chapitre précédent, dans ce chapitre, nous présentons principalement la partie pratique du système. Nous présentons ici l'architecture du système, les technologies et les outils utilisés, certaines difficultés rencontrées et, enfin, présentons et discutons les résultats obtenus par rapport aux hypothèses énoncées en introduction.

III.1. ARCHITECTURE DU SYSTÈME

L'architecture de notre système inclut l'architecture du réseau GSM vu que le système de paiement mobile est disponible grâce à celui-ci :

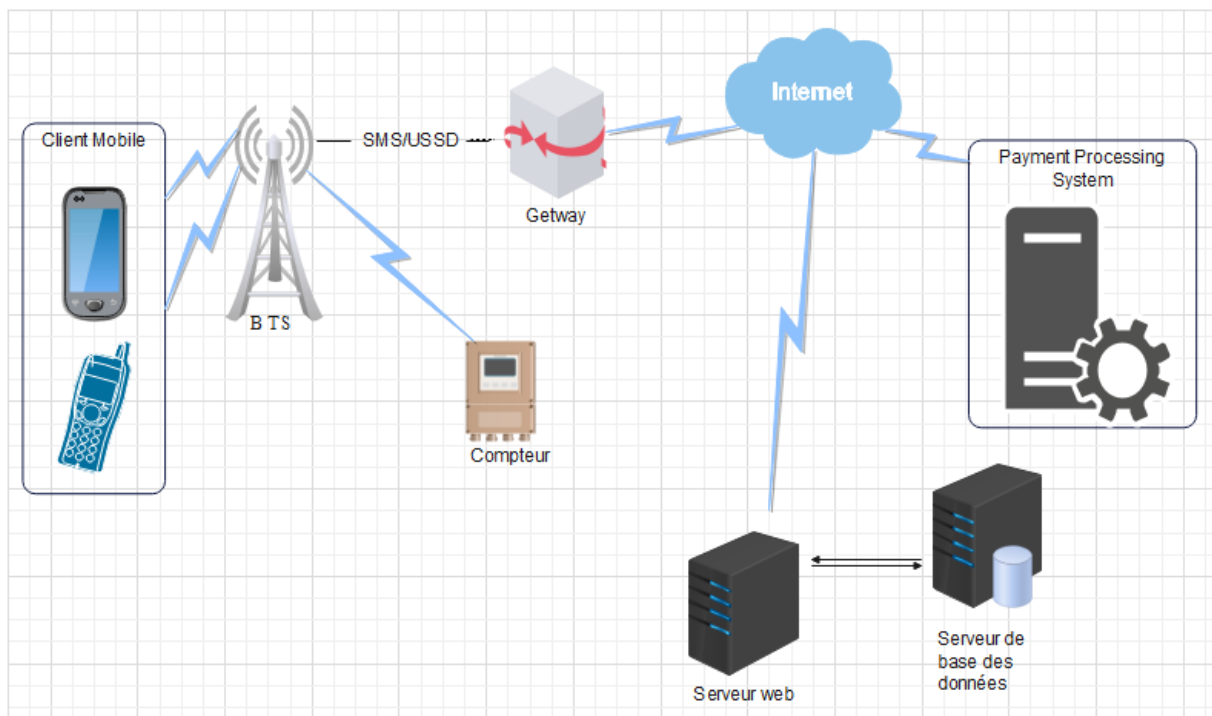


Figure 16 : Architecture du système

III.2. TECHNOLOGIES ET OUTILS UTILISÉS

Afin de ne résider qu'en théorie, nous avons utilisé certaines technologies et certains outils pour pouvoir réaliser une preuve pratique de notre système, que nous présentons ici.

III.2.1 Technologies utilisées

- ✓ **Python** : c'est un langage de programmation interprété et multiplateforme, construit autour de la notion d'objets. Il est beaucoup plus utilisé dans le « machine learning », la « data science », dans l'automatisation des tâches, dans la conception d'applications web coté back-end, l'internet des objets connectés (IoT) et bien d'autres. Il est préférable d'écrire des programmes avec python, car il est simple à comprendre, ce qui fait gagner du temps que dans certains autres langages. Nous l'avons utilisé pour programmer notre application côté serveur en version 3.6.8 en utilisant son Framework Django.
- ✓ **MySQL** : c'est un système de gestion de base de données qui utilise le langage SQL pour effectuer des requêtes dans une base de données relationnelle et enfin pour stocker, supprimer ou accéder aux informations. Il permet de gérer les informations à stocker, sous forme de tables.
- ✓ **Html et Css** : langage de balisage et de style respectivement, ces deux langages ne se classent normalement pas parmi les langages de programmation. Html nous a permis de créer les structures de nos pages web, et Css de leur appliquer certains styles. Ils nous ont permis donc de coder les vues (front-end) de notre système.
- ✓ **Bootstrap** : il s'agit d'une collection d'outils utiles pour concevoir des sites et d'applications web. Il contient un ensemble de codes HTML et CSS, boutons, formulaires, des outils de navigation et d'autres éléments interactifs qui nous ont été très utiles pour embellir et donner forme aux vues.
- ✓ **UML** : c'est un langage de modélisation, il nous a servi dans la conception et la modélisation de notre système avec différents diagrammes.

III.2.2 Environnement de développement et logiciels

- Windows 10 Professionnel 64-bit : Système d'exploitation installé sur l'ordinateur
- Xampp : nous a servi en tant que serveur local de base de données
- Pycharm : nous a servi comme environnement de développement Intégré (IDE)
- La plateforme Africa's Talking: nous a permis de simuler les sessions USSD.

- Arduino : un environnement de développement intégré qui nous a permis d'écrire, compiler et de téléverser le code sur le microcontrôleur (Arduino Uno)
- Astah Community : cet outil nous a servi à réaliser les différents diagrammes représentant le fonctionnement de notre système.
- Draw io : nous l'avons utilisé pour dessiner l'architecture de notre système.

III.2.3. Outils matériels (hardware)

- Ordinateur de la marque HP Pavilion g series
- Disque dur : 500 Go
- Modèle du processeur : Intel(R) Core (TM) i3 CPU
- Vitesse du processeur : 2.40 GHz
- Mémoire RAM : 6 Go

III.2.3.1 Présentation du compteur

Comme annoncé en introduction, pour des raisons de test, nous avons dû réaliser un compteur basé sur une carte Arduino et le module PZEM-004T 100A. Ainsi, dans cette partie, nous présentons la composition et le schéma dudit compteur.

a) Composition

Le compteur que nous avons réalisé est composé de :

- **La Carte Arduino uno**

C'est une carte électronique miniaturisée et programmable qui permet de réaliser des circuits électroniques effectuant un certain nombre d'opérations spécifiques en se servant des capteurs électroniques et d'actionneurs. La programmation de la carte Arduino se fait dans



Figure 17 : Arduino Uno

l'EDI (Environnement de Développement Intégré) du même nom en utilisant le langage Arduino : un langage de programmation très proche du langage C et C++.

Dans notre montage, la carte Arduino sert à lire les grandeurs électriques mesurées par le module Pzem-004t 100A, à les afficher sur un écran LCD I2C et à piloter un relais électrique conformément à la logique programmée.

○ **Module Pzem-004t 100A**



Figure 18 : Module Pzem-004t 100A

Le Pzem-004t 100A est un module utilisé principalement pour quantifier l'énergie électrique. Livré avec un capteur de courant à effet Hall, avec ce module, il est possible de mesurer le courant, la tension alternative, de mesurer la puissance active, de déterminer la fréquence et aussi de déterminer le facteur de puissance dans un circuit fermé. Il ne s'agit pas d'un compteur électrique tout fait vu qu'il ne possède pas une fonctionnalité intégrée d'affichage. Les données des grandeurs mesurées sont lues au travers d'une interface TTL.

Caractéristiques :

- Intervalle de tension supportée : 80 à 260 V
- Intervalle du courant supporté : 0 à 100 A (pzem-004-100A)
- Intervalle de la puissance active à quantifier : 0 à 23 kW (pzem-004T-100A)
- Facteur de puissance : 0 à 1
- Intervalle de fréquences supportées : 45 Hz – 65 Hz
- Température normale de fonctionnement : -20°C ~ +60°C

Schéma Fonctionnel :

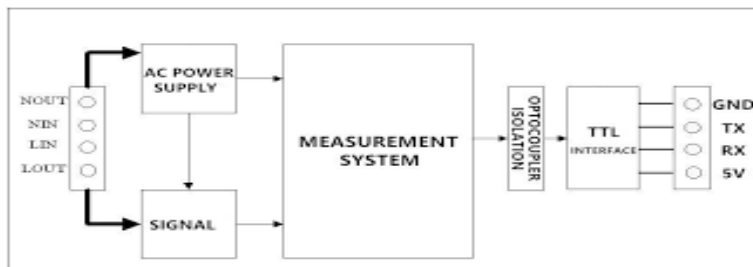


Figure 19 : Schéma fonctionnel du module pzem-004t 100A

Dans notre montage, nous avons juste utilisé les fonctions de mesures de la tension, le courant et l'énergie électrique.

○ LCD I2C

Le module LCD I2C est un afficheur alphanumérique optimisé, car il permet d'interconnecter l'écran LCD à la carte Arduino en utilisant moins de branches.



Figure 20 : Module LCD I2C

Dans notre montage, l'afficheur sert à afficher certaines informations de notre compteur (la tension, le courant et l'énergie électrique).

○ **Module Relais**

Le module Relais est une petite carte d'interface permettant d'établir ou d'interrompre le courant dans un circuit de puissance à partir d'un faible signal électrique faible de commande.



Figure 21 : Module relais

Pour notre montage, le signal de commande est fourni par la carte Arduino suivant la logique programmée.

b. Schéma

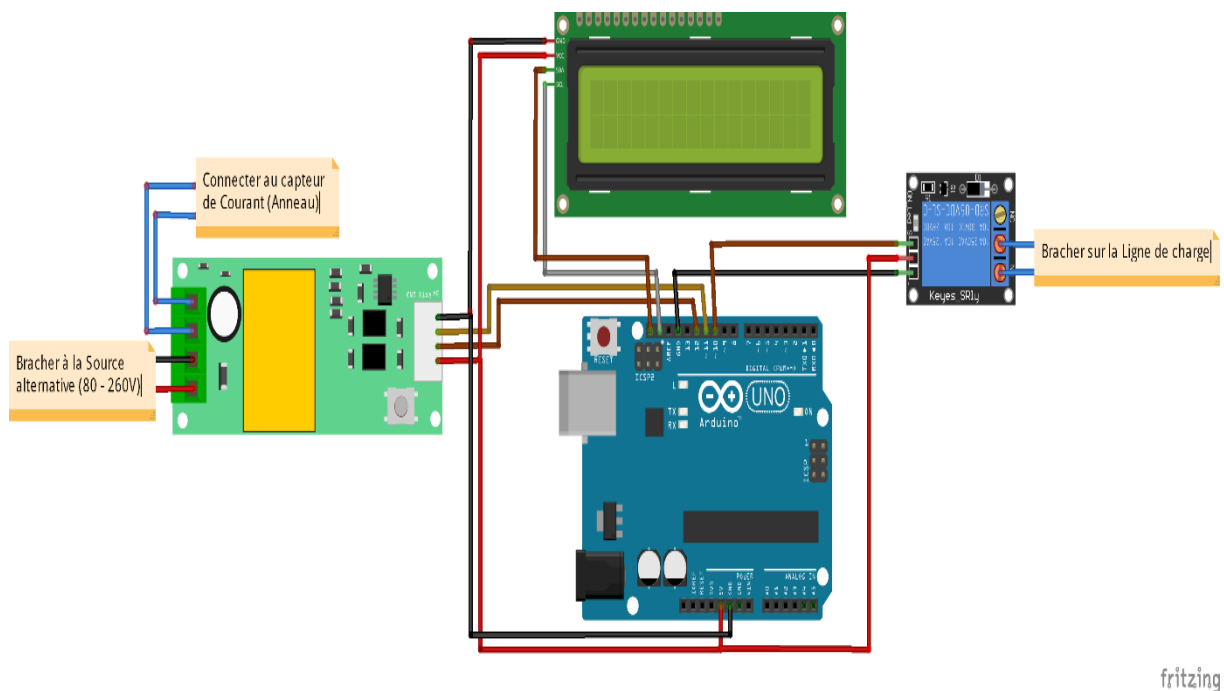


Figure 22 : Schéma de connexion du compteur

III.3 PRÉSENTATION DU LOGICIEL

✓ *L'interface (graphique) d'accès au système*

Après la mise en service du serveur de base de données et du serveur web, une interface graphique composée de quelques pages facilite à l'administrateur de contrôler et de gérer le système. Pour avoir accès aux pages présentant les données, l'administrateur doit au préalable s'authentifier. Pour cette raison, après avoir lancé l'application web dans le navigateur, la page ci-dessous ([figure 23](#)) apparaît en premier pour permettre à l'administrateur de saisir ses identifiants puis d'avoir accès à l'interface suivante.

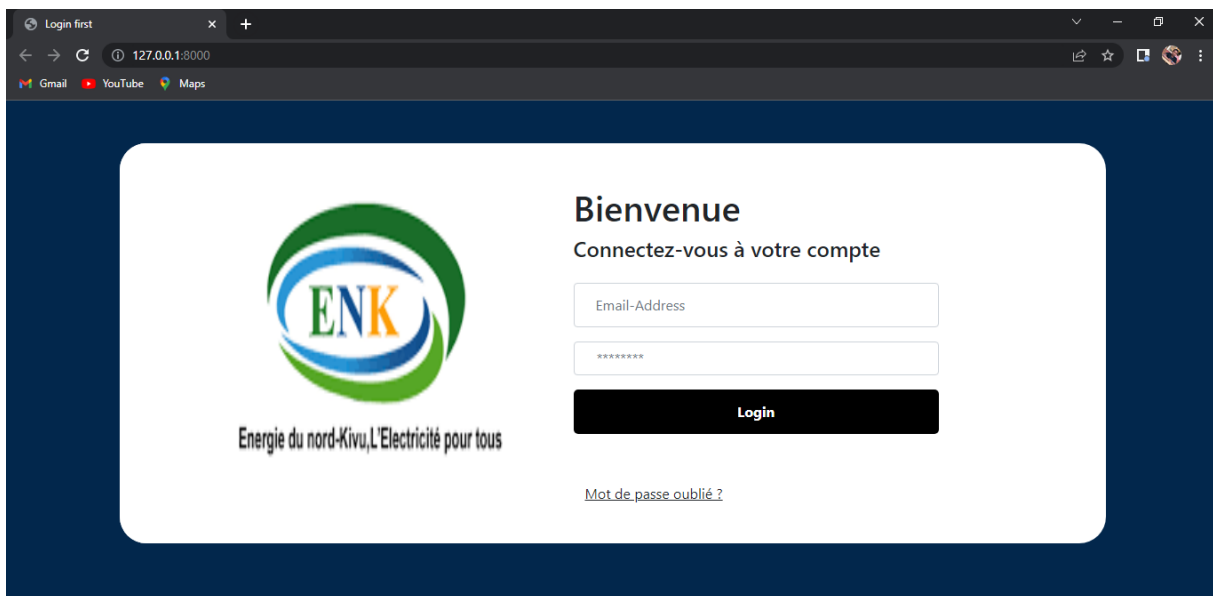


Figure 23 : Interface de connexion

✓ *L'interface (graphique) de gestion des comptes client*

Une fois connecté, une page apparaît contenant la liste de tous les comptes abonnés. Cette page affiche certaines informations permettant d'identifier un abonné (son code client, le numéro de série de son compteur, son nom et son prénom, etc.).

Étant donné que la liste peut devenir très longue, l'administrateur a ici la possibilité de rechercher un client souhaité en saisissant son prénom ou son nom dans le champ de recherche, puis en cliquant sur le bouton de recherche. Si le client recherché existe dans la base de données, il sera directement affiché.

Sur la page de gestion de comptes, un bouton 'créer un compte' permet de rediriger l'administrateur vers un formulaire de création de compte. Un bouton 'vue' sur chaque ligne de compte renvoie aux informations détaillées d'un compte abonné.



Figure 24 : L'interface de gestion des comptes client

✓ *Formulaire d'enregistrement d'un nouveau compte abonné*

Pour enregistrer un nouveau compte, toutes les informations, sans exception, doivent être renseignées pour ensuite être sauvegardées dans la base des données. Il s'agit des informations sur l'abonné et la description de son compteur.

Enregistrement d'un compte

Information de l'abonné

Nom de l'abonné
Entrez le nom

Post-nom
Entrez le poste nom

Numéro de téléphone
+243 9 _____

Adresse de l'abonné
Quartier_cell_avenue

Descriptions du compteur

Numéro de série
Entrez le numéro de série

Type du compteur
Monophasé ou Triphasé*

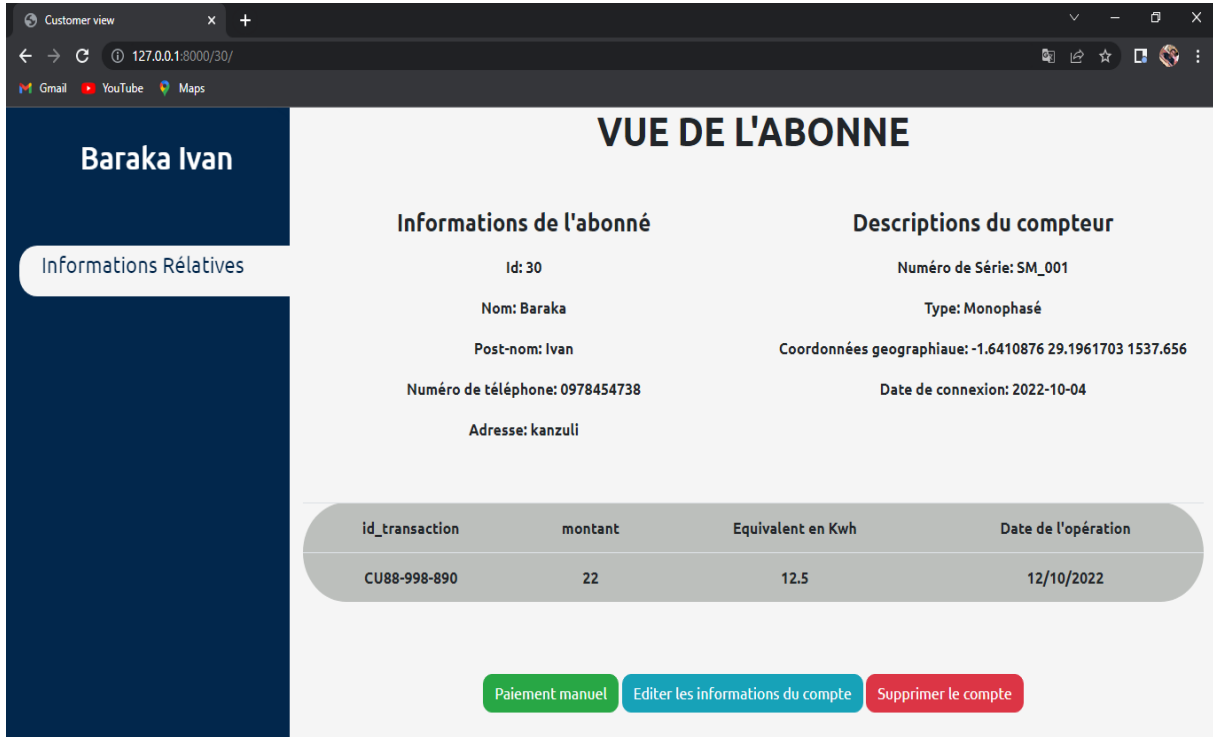
Coordonnées géographiques du compteur
coordonnées géographique*

Enregistrer maintenant

Figure 25: Formulaire d'enregistrement d'un nouveau compte abonné

✓ Interface (graphique) des informations relatives à un compte

Comme dit précédemment, le bouton 'vue' sur la page d'accueil permet de rediriger vers une page de détail d'un compte abonné. Sur la page sont affichées toutes les informations du compte et une liste des transactions de paiements qui se rapportent à ce compte.



The screenshot shows a web browser window with the title 'Customer view'. The URL bar shows '127.0.0.1:8000/30/'. The browser's address bar includes links to Gmail, YouTube, and Maps. The main content area is titled 'VUE DE L'ABONNE' and is divided into two columns. The left column, titled 'Baraka Ivan', contains a button labeled 'Informations Relatives'. The right column is divided into two sections: 'Informations de l'abonné' and 'Descriptions du compteur'. The 'Informations de l'abonné' section displays the following details: Id: 30, Nom: Baraka, Post-nom: Ivan, Numéro de téléphone: 0978454738, and Adresse: kanzuli. The 'Descriptions du compteur' section displays: Numéro de Série: SM_001, Type: Monophasé, Coordonnées géographiques: -1.6410876 29.1961703 1537.656, and Date de connexion: 2022-10-04. Below these sections is a table with four columns: 'id_transaction', 'montant', 'Equivalent en Kwh', and 'Date de l'opération'. The table contains one row of data: 'CU88-998-890', '22', '12.5', and '12/10/2022'. At the bottom of the interface are three buttons: 'Paiement manuel' (green), 'Editer les informations du compte' (blue), and 'Supprimer le compte' (red).

id_transaction	montant	Equivalent en Kwh	Date de l'opération
CU88-998-890	22	12.5	12/10/2022

Figure 26 : Interface d'informations relatives à un compte

III.4 PROBLÈMES RENCONTRÉS

Tout au long de notre période de recherche, de février 2022 à octobre 2022, nous avons rencontré d'énormes problèmes, qui nous ont parfois freiné dans la rédaction et dans la réalisation de notre travail. Parmi ces problèmes, en voici quelques-uns qui ne valent pas la peine d'être ignorés :

- En idéal, nous souhaitions mettre en place un système de paiement d'électricité accessible sur tous de téléphones (smart phone ou non) et sans connexion internet en utilisant la technologie USSD « Service Supplémentaire pour Données non Structurées » fonctionnant grâce au réseau GSM, 3G et 4G, généralement associé aux services de téléphonie de type temps réel ou de messagerie instantanée. Pour y parvenir, nous avons dû intégrer les API de paiement des opérateurs mobiles dans notre application web. Malheureusement, ces API ne peuvent être livrées qu'aux entreprises et jusqu'à présent, dans notre pays, l'accès à ces API reste encore un long processus pour les entreprises.
- L'entreprise qui a fait objet de notre milieu d'étude n'a pas pu nous fournir toutes les informations nécessaires pour que nous comprenions en profondeur le système existant qu'elle utilise ; disant que ces informations étaient internes et confidentielles.

III.5 DISCUSSION DES RÉSULTATS

N'ayant pas eu la possibilité d'accéder aux API de paiement mobile money, nous avons néanmoins simulé le système à l'aide des API de simulation USSD de la plateforme "Africa's Talking", une société de solutions mobiles intégrant des fonctionnalités SMS, voix et USSD pour la plupart des opérateurs mobiles en Afrique.

En effet, nous avons réalisé une API qui gère le menu de la session USSD connecté à la plateforme Africa's Talking. Lorsque la session USSD est lancée, la plateforme connecte la session à notre API, l'abonné navigue dans le menu disponibilisé par l'API : il choisit la devise, il saisit son code client, le montant à payer, un message lui est retourné notifiant s'il veut réellement acheter l'électricité correspondant au montant qu'il a saisi. S'il choisit 'OUI', il sera demandé d'entrer son mot de passe et afin valider. Une notification lui sera renvoyée confirmant que l'opération a réussi.

Après la réussite de l'opération de paiement, l'application web permet de rediriger le paiement vers le compteur. Pour notre simulation, nous avons utilisé une communication série

entre le compteur et l'application web. Dans le cas pratique, la communication des compteurs avec la base de contrôle est régie par ondes radio ou par Internet.

Après avoir expérimenté notre système, nous avons réalisé qu'en intégrant les API de paiement mobile dans l'application Web, il saura bien assumer toutes les fonctionnalités souhaitées, dont ; la réception des requêtes de paiements et la redirection directe et automatique de l'énergie équivalente vers les compteurs électriques. Nous nous sommes contentés de la simulation consistant à envoyer une requête de paiement via une session USSD simulée, déclenchant ensuite une redirection de la requête de recharge vers un compteur que nous avons mis en place. Pour la simulation faite, le système nécessite une connexion internet.

Conclusion

Dans ce dernier chapitre d'implémentation et présentation de résultats, nous avons d'abord présenté l'architecture du système, puis nous avons présenté les technologies et les outils que nous avons utilisés pour réaliser un système modèle et pratique de notre système, nous avons également présenté l'application, nous avons soulevé quelques problèmes rencontrés, et afin, nous avons fait une discussion des résultats.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le paiement mobile est une alternative de paiement principalement utilisée dans les pays en développement, fonctionnant via le réseau GSM. Il est couramment utilisé pour transférer de l'argent. Notre travail de recherche intitulé : « Étude et implémentation d'un système de paiement d'électricité via le mobile money et de rechargement automatique du compteur électrique, cas de la société ENK » a porté sur la réalisation d'un système de paiement de l'électricité via le service de mobile money, utilisant le protocole USSD et recharge automatique des compteurs.

En effet, nous nous sommes fixés l'objectif de faciliter l'achat d'énergie électrique aux abonnés d'un réseau électrique et la recharge automatique des compteurs électriques. La réalisation de ce travail a été motivée par la nécessité de résoudre les problèmes liés au processus de recharge de compteur électrique, à l'aide d'un système informatique. Ce système permet de recharger automatiquement le compteur d'un abonné un instant après que ce dernier a payé son électricité via le service de paiement mobile, et cela, à n'importe quel moment. Du côté de la société vendeuse, une suite d'interfaces graphiques de l'application web permet de consulter et de suivre les transactions de paiement.

Nous avons utilisé certaines méthodes et techniques, en l'occurrence de la méthode de modélisation, la technique d'observation, la technique documentaire ainsi que la méthode d'expérimentation. Après l'expérimentation et les tests de simulation de notre système, les hypothèses énoncées dans la partie introductive de ce travail sont confirmées du fait que, pratiquement, le processus de rechargement automatique du compteur a été possible en envoyant les requêtes de paiements via une session USSD, ce qui n'est pas loin du concret.

Le système réalisé dans ce présent travail n'atteint pas encore notre idéal. Nous voulons continuer à l'améliorer, le proposer à l'entreprise concernée dans le but d'en faire une réalité. De ce fait, nous demeurons donc ouverts à diverses suggestions et recommandations pour corriger les imperfections et faire évoluer le système.

RÉFÉRENCES

1. M. Olivier, «L'électricité parmi les besoins essentiels,» 3 January 2016. [En ligne]. Available: <https://www.lemondedelectricite.ca/articles-recents/2696-l-electricite-parmi-les-besoins-essentiels-de-l-homme.com>.
2. L. Deborde, «reseau electrique,» 07 Avril 07/04/2010. [En ligne]. Available: <http://www.electrosup.com/>. [Accès le 23 Mai 2022].
3. Its All About Electrical, «Types of Energy Meter and their working Principles,» *Energy Meter*, p. 2, 2017.
4. A. Amira, Conception et réalisation d'un compteur d'énergie électrique consultable à distance et accès local par carte à puce, Bejaia: ALKAMA Rezak, 2010.
5. F. KLOPFERT, Artist, *L'apport des compteurs intelligents à une consommation plus durable de*. [Art]. Institut de Gestion, 2008.
6. M. Zellagui, comptage et compteurs electrique, algeria: Université Batna 2, 2018.
7. J. J.-L. B. G. G. Jacques, Physique chimie, 3 éd., Paris: HATIER, 1999, p. 159.
8. H. Carré-Montréjaud, Physique Chimie, vol. III, Paris: Nathan, 2008, p. 244.
9. Resa, «Les compteurs intelligents,» Resa, Liege.
10. Yele Consulting, «Les enjeux du compteur intelligent pour les pays africains,» Yele Consulting, 28 Novembre 2013. [En ligne]. Available: <http://www.actu-smartgrids.com/les-enjeux-du-compteur-intelligent-pour-les-pays-africains>. [Accès le 30 5 2022].
11. M. Vervaeren, «historique des compteurs d'electricite,» MEGE-Paris, 18 Avril 2021. [En ligne]. Available: <https://mege-paris.fr/2021/02/20/histoire-des-compteurs-delectricite/>. [Accès le 30 Mai 2022].
12. groupe cahors, «Solution de comptage prépaiement,» [En ligne]. Available: <https://www.groupe->

- cahors.com/sites/default/files/solution_de_comptage_prepaiement.pdf. [Accès le 03 juin 2022].
13. Riaed, «<https://www.pseau.org>,» 26 Juin 2007. [En ligne]. Available: https://www.pseau.org/outils/ouvrages/riaed_guide_d_initiation_au_prepaiement_electrique_2007.pdf. [Accès le 4 Juin 2022].
 14. Paul, «Mobile money : qu'est-ce que c'est ?», 17 Avril 2020. [En ligne]. Available: <https://www.monisnap.com/fr/blog/article/mobile-money-definition>. [Accès le 4 Juin 2022].
 15. I. OULD AHMED, Artist, *Serveur intranet pour la diffusion des requêtes GSM USSD*. [Art]. Universite ABOU BAKR BELKAID-TLEMCEN, 2013.
 16. L. Rosencrance, «USSD (Unstructured Supplementary Service Data),» TechTarget, 2 Mars 2020. [En ligne]. Available: <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/USSD>. [Accès le 4 Juin 2022].
 17. I. Olson, Artist, *Étude comparative des plateformes de paiement mobile*. [Art]. ISTEAH, 2018.
 18. bit2me.academy, «Qu'est-ce que la cryptographie symétrique?», Bitcoinforme SL, 23 Mars 2022. [En ligne]. Available: <https://academy.bit2me.com/fr/que-es-criptografia-simetrica>. [Accès le 5 Juin 2022].
 19. CCM Benchmark Group, «Cryptographie asymétrique : tout sur la méthode de chiffrement,» CCM Benchmark, 11 Février 2019. [En ligne]. Available: <https://www.journaldunet.fr/patrimoine/guide-des-finances-personnelles/1209336-cryptographie-asymetrique>. [Accès le 4 Juin 2022].
 20. M. T et A. B. A, «SSMS - A Secure SMS Messaging Protocol for the M-Payment Systems,» *Symposium on Computers and Communications*, pp. 1-6, Juin 2008.
 21. Red hat, «what-are-application-programming-interfaces,» Red hat, 31 Octobre 2017. [En ligne]. Available: <https://www.redhat.com/fr/topics/api/what-are-application-programming-interfaces>. [Accès le 9 Juin 2022].
 22. R. S, «Comment intégrer une API de mobile money ?», 3 Février 2021. [En ligne]. Available: <https://www.hub2.io/blog/digitalisation/comment-integrer-une-api-de-mobile-money>. [Accès le 9 Juin 2022].

23. Vodacom RDC, «les-apis-mpesa,» 2020. [En ligne]. Available:
<https://www.vodacom.cd/particulier/m-pesa/service-financier/les-apis-mpesa>. [Accès le 9
 Juin 2022].

24. Y. E. Yadon, Artist, *Proposition d'une technique de paiement de facture basée sur le SMS*.
 [Art]. Ecole supérieure multinationale des télécommunications Yaoundé Cameroun, 2010.

25. T. P. Mahoukpégo, Artist, *Conception d'une plateforme de paiement mobile: cas de la facture
 d'électricité*. [Art]. EPAC, 2010.

26. NACK, NSALI et WAFO, Artists, *conception et réalisation d'un compteur intelligent de gestion
 de l'énergie en mode prépayé*. [Art]. Ecole Normale Supérieure d'Enseignement Technique.

27. SOULIMANE et SEBBAGH, Artists, *étude et réalisation d'un système de communication par
 radiofréquence pour un compteur électrique avancé aux zones non urbaines*. [Art]. Université
 Abou Bekr Belkaid de Tlemcen, 2017.

28. Groupe de la banque africaine de développement, «Projet Pilote « CIZO » d'électrification
 rurale hors-réseau par kits solaires,» SEFA, Togo, 2017.

29. M. E. Kambale, Artist, *Conception et réalisation d'un système de gestion de l'énergie
 électrique à base d'un microcontrôleur, cas du Kivu Green Energy*. [Art]. Université
 Chrétienne Bilingue du Congo, 2019.

30. A. G. Sidoine, Artist, *Étude et conception d'un système de collecte de données sur le réseau
 électrique de distribution : cas d'un réseau décentralisé*. [Art]. ECOLE POLYTECHNIQUE
 D'ABOMEY-CALAVI, 2020.

31. B. Hadjer et D. Amir, Artists, *Etude et réalisation d'un compteur d'énergie intelligent*. [Art].
 UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2020.

32. R. Rafik et Z. Mohammed, Artists, *Réalisation d'un compteur d'énergie intelligent*. [Art].
 Université Abou Bekr Belkaid -Tlemcen, 2020.

33. TheOfficialHalie, «TheOfficialHalie - Represent J.A ft. Chris Money,» 19 Février 2016. [En ligne]. Available: <https://www.inspq.qc.ca/securite-prevention-de-la-violence-et-des-traumatismes/centre-collaborateur-oms-pour-la-promotion-de-la-securite-et-la-prevention-des-traumatismes/definition-du-concept-de-securite>. [Accès le 14 Juin 2022].
34. Anonyme, «cairn.info,» 4 Mars 2010. [En ligne]. Available: <https://www.cairn.info/methodes-de-recherche-en-sciences-de-l-education--9782130540076-page-36.htm#:~:text=Le%20terme%20%C2%AB%20m%C3%A9thode%20%C2%BB%20a%20un,d%C3%A9couverte%20de%20la%20%C2%AB%20v%C3%A9rit%C3%A9%20%C2%BB..> [Accès le 14 Juin 2022].
35. L. Soler, «Qu'est-ce qu'un modèle scientifique ? Des caractéristiques du modèle qui importent du point de vue de l'enseignement intégré de science et de technologie,» 16 January 2018. [En ligne]. Available: https://www.persee.fr/doc/spira_099. [Accès le 12 September 2022].
36. P. Roques, Modelisation de systèmes complexes avec sysML, Paris: Soregraph, 2015, p. 7.
37. H. J, Informatique industrielle et reseaux en 20 fiches, Paris: Chirat, 201.
38. Groupe MadeInFutura, «Simulation informatique : qu'est-ce que c'est ?,» Futura-Sciences, [En ligne]. Available: <https://www.futura-sciences.com/tech/definitions/informatique-simulation-informatique-11319/>. [Accès le 14 Juin 2022].
39. E. H. Nour, 2020. [En ligne]. Available: <https://fac.umc.edu.dz/fil/images/cours/Nour%20el%20houda%20LARAOUI.pdf>. [Accès le 18 Juin 2022].
40. Rhona, «urbanisation-si, modelisation-metier, processus-metier, expression-des-besoins,» 2015. [En ligne]. Available: <https://www.urbanisation-si.com/les-fondamentaux-de-la-modelisation-d-un-systeme-d-information-le-bon-usage-des-modeles>. [Accès le 12 September 2022].
41. Nodevo, «Le numérique en santé - Mener une démarche d'urbanisation appliquée au SI Facturation / Recouvrement - 2.3. Vue fonctionnelle,» L'ANAP, [En ligne]. Available: <https://ressources.anap.fr/numerique/publication/342-mener-une-demarche-d-urbanisation-appliquee-au-si-facturation-recouvrement/1520-vue-fonctionnelle>. [Accès le 21 Juin 2022].

42. IBM, [En ligne]. Available: <https://www.ibm.com/docs/fr/rsar/9.5?topic=diagrams-activity>. [Accès le 12 Septembre 2022].
43. Gérard, «UML Cours 5 : Diagramme de séquences,» [En ligne]. Available: <https://lipn.univ-paris13.fr/%7Egerard/uml-s2/uml-cours05.html>. [Accès le 13 Septembre 2022].
44. J. Gabay et D. Gabay, UML 2 ANALYSE ET CONCEPTION, Paris: Dunod, 2008, pp. 17- 45, 50.
45. M. Esaie, Artist, *Conception et realisation d'un systeme de gestion à base d'un microcontroleur, cas du Kivu Green Energy*. [Art]. UCBC, 2019.
46. M. Ambrosy, «architecture-client-serveur,» 2017. [En ligne]. Available: <https://www.geonov.fr/architecture-client-serveur>. [Accès le 9 Juin 2022].
47. B. Brossault, «Qu'est-ce qu'une base de données ? Définition et fonctionnement,» HubSpot, 2021. [En ligne]. Available: <https://blog.hubspot.fr/marketing/base-de-donnees>. [Accès le 14 Septembre 2022].

TABLE DES MATIÈRES

<i>ÉPIGRAPHE</i>	iii
<i>DÉDICACE</i>	Error! Bookmark not defined.
<i>REMERCIEMENTS</i>	v
<i>SIGLES ET ABRÉVIATIONS</i>	vi
<i>LISTE DES FIGURES</i>	viii
<i>RÉSUMÉ</i>	ix
<i>ABSTRACT</i>	x
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
1. PRÉAMBULE.....	1
2. PROBLÉMATIQUE	2
3. HYPOTHÈSES	2
4. OBJECTIFS DU TRAVAIL	3
a. Objectif global.....	3
b. Objectifs spécifiques	3
5. CHOIX ET INTÉRÊT DU TRAVAIL.....	3
6. LIMITATIONS ET DÉLIMITATION DU TRAVAIL	4
a. Limitations.....	4
b. Délimitation.....	4
7. AUDIENCE.....	4
8. SUBDIVISION DU TRAVAIL	4
CHAPITRE I. GÉNÉRALITÉS ET REVUE DE LA LITTÉRATURE	5
I.1. DÉFINITION DES CONCEPTS	5
I.1.1. LE RÉSEAU ÉLECTRIQUE.....	5
I.1.2. LES MOYENS DE PRÉPAIEMENT D'ÉLECTRICITÉ.....	10
I.2. REVUE DE LA LITTÉRATURE [EMPIRIQUE]	16
I.3. SPÉCIFICATION D'EXIGENCES LOGICIELLES	23
I.3.1. DESCRIPTION GLOBALE	23
I.3.2. PERFORMANCE	24
CHAPITRE II. MÉTHODOLOGIE ET CONCEPTION DU SYSTÈME.....	26
II.1. MÉTHODOLOGIES, TECHNIQUES	26
II.1.1. MÉTHODES.....	26
II.1.2. TECHNIQUES	27
II.2. CONCEPTION DU SYSTÈME	28

II.2.1. VUE FONCTIONNELLE	28
II.2.2. VUE DYNAMIQUE.....	31
II.2.3. VUE DYNAMIQUE.....	37
II.2.4. BASE DE DONNÉES	40
CHAPITRE III. IMPLÉMENTATION ET PRÉSENTATION DU SYSTÈME	43
III.1. ARCHITECTURE DU SYSTÈME.....	43
III.2. TECHNOLOGIES ET OUTILS UTILISÉS	44
III.2.1 Technologies utilisées	44
III.2.2 Environnement de développement et logiciels.....	44
III.2.3.1 Présentation du compteur	45
III.3 PRÉSENTATION DU LOGICIEL	49
III.4 PROBLÈMES RENCONTRÉS	52
III.5 DISCUSSION DES RÉSULTATS	52
CONCLUSION GÉNÉRALE	54
<i>TABLE DES MATIÈRES</i>	60