

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université 20 Août-1955-SKIKDA

Faculté des Sciences

Département d'Informatique



Mémoire fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme Master en  
Informatique

Spécialité : Systèmes Informatique (SI)

# T H E M E

---

Un modèle neuronal pour la prévision de la charge  
électrique

---

*Réalisé par :* DJOUAD Sana  
BAKHOUCHE Wissal

*Encadré par :* Dr. BENOUDINA Lazhar

---

Session : Juin 2023

## Résumé

*L'intelligence artificielle a eu un impact significatif sur de nombreuses disciplines scientifiques grâce à sa rapidité et à sa précision dans diverses applications. En conséquence, elle est devenue un domaine privilégié pour de nombreux chercheurs, offrant des opportunités prometteuses pour leurs travaux de recherche.*

*Le problème de prévision de l'électricité est une question clé dans le domaine de l'énergie, car il est essentiel de prévoir avec précision la demande d'électricité future pour garantir un approvisionnement fiable et économique. Les réseaux de neurones sont devenus une méthode populaire pour aborder ce problème complexe.*

*Notre étude consiste à utiliser les réseaux de neurones pour extraire un modèle idéal qui nous permet de prédire la consommation de la charge électrique pour ne pas tomber en panne dans des moments difficiles. L'utilisation de réseaux de neurones permet de capturer les dépendances temporelles et d'obtenir des prévisions plus précises de la demande d'électricité future.*

## *Remerciement*

*En premier lieu, Nous remercions ALLAH de nous avoir aidé et donné la force et la volonté pour achever ce travail.*

*Par la suite, Nous remercions notre encadrant Monsieur BENOUDINA Lazhar, pour son précieux conseil et son aide durant toute la période de travail.*

*Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants du département d'informatique qui ont contribué à notre formation. Nos sincères remerciements à tous les membres du jury qui ont accepté de juger ce travail.*

*Nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail en particulier notre collègue ouedjdane.*

*Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude envers nos parents qui ont joué un rôle essentiel dans notre parcours académique. Leur soutien indéfectible et leur amour inconditionnel ont été les piliers sur lesquels nous avons pu nous appuyer pour atteindre nos objectifs. Merci beaucoup, que dieu vous protège pour Nous.*

## *Dédicace*

*Nous dédions ce travail à chacune des membres de nos familles respectives. Les familles "Djouad", "Bakhouche", "Bourechak" et "Aoudj".*

# Table des matières

---

<b>1</b>	<b>La prévision</b>	<b>2</b>
1.1	Introduction :	3
1.2	L'intelligence artificielle (IA) :	3
1.3	Les applications d'intelligence artificielle :	3
1.4	Le machine learning :	3
1.5	Les techniques prédictives :	4
1.6	La régression :	5
1.6.1	La régression linéaire :	5
1.6.2	La régression non linéaire :	7
1.7	Conclusion :	8
<b>2</b>	<b>Les réseaux de neurones artificiels</b>	<b>10</b>
2.1	Introduction :	11
2.2	L'histoire des réseaux de neurones :	11
2.3	le modèle Biologique :	11
2.4	Le modèle mathématique :	12
2.5	Les fonctions d'activations :	13
2.6	L'architecture des réseaux de neurones :	14
2.7	les types de réseaux de neurones :	15
2.7.1	Les réseaux « feed forward » :	15
2.8	L'apprentissage des réseaux de neurones :	17
2.8.1	les types d'apprentissage :	17
2.9	l'algorithme d'apprentissage :	20
2.10	Le perceptron multicouche pour la prévision :	20
2.11	Conclusion :	20
<b>3</b>	<b>Analyse et conception</b>	<b>21</b>
3.1	Introduction :	22
3.2	L'objectif de système de prévision de la consommation de la charge électrique :	22
3.3	La technique utilisée dans le système existant :	22
3.4	Modèle Neuronal proposé :	23
3.4.1	Architecture :	23
3.5	La conception d'application :	25
3.5.1	Choix UML comme outil de modélisation :	25
3.6	L'environnement de conception :	43
3.6.1	Star UML :	43
3.7	Conclusion :	44
<b>4</b>	<b>Réalisation et discussion des résultats</b>	<b>45</b>
4.1	Introduction :	46
4.2	Les outils de développement :	46
4.2.1	Les outils matériels :	46
4.2.2	Les outils logiciels :	46

4.2.3	Les langages de développement : . . . . .	48
4.3	Les différentes interfaces de notre application : . . . . .	49
4.4	Conclusion : . . . . .	52

# Table des figures

---

1.1	Le lien entre intelligence artificielle et machine learning. . . . .	4
1.2	Représentation graphique d'un exemple sur la régression linéaire. . . . .	5
1.3	Représentation graphique d'un exemple sur la régression non linéaire. . . . .	7
2.1	La structure d'un neurone biologique. . . . .	12
2.2	la structure d'un neurone artificiel. . . . .	12
2.3	Exemples des fonctions d'activations. . . . .	13
2.4	Exemple d'un réseau de neurone non bouclé. . . . .	14
2.5	Exemple d'un réseau de neurone bouclé. . . . .	15
2.6	Exemple d'une représentation d'un PMC. . . . .	16
2.7	L'apprentissage supervisé. . . . .	18
2.8	L'apprentissage non supervisé. . . . .	19
3.1	1ère phase. . . . .	23
3.2	2ème Phase. . . . .	23
3.3	3ème phase. . . . .	24
3.4	4ème Phase. . . . .	24
3.5	5ème Phase. . . . .	25
3.6	Le diagramme de cas d'utilisation. . . . .	26
3.7	Le diagramme de séquence de cas authentifier. . . . .	36
3.8	Le diagramme de séquence de cas s'inscrire. . . . .	37
3.9	Le diagramme de séquence de cas importer les données de consommation. . . . .	38
3.10	Le diagramme de séquence de cas supprimer d'un transfo. . . . .	39
3.11	Le diagramme de séquence de cas modifier d'un transfo. . . . .	40
3.12	Le diagramme de séquence de cas ajouter d'un transfo. . . . .	41
3.13	Le diagramme de séquence de cas consulter les prévisions de consommation . . . . .	42
3.14	Le diagramme de classe. . . . .	43
3.15	Star UML logo. . . . .	44
4.1	Netbeans logo. . . . .	46
4.2	EasyPhp logo. . . . .	47
4.3	java logo. . . . .	48
4.4	Interface d'authentification. . . . .	49
4.5	Interface d'éléments de base. . . . .	49
4.6	Interface de traitement. . . . .	50
4.7	Interface d'Affichage. . . . .	50
4.8	Interface de Table de base de données globale. . . . .	51
4.9	Interface de table de base de données de consommation. . . . .	51
4.10	Interface de table de base de données de météo. . . . .	51
4.11	Interface de table de base de données de transfo. . . . .	51
4.12	Interface de table de base de données d'utilisateur. . . . .	51

# Liste des tableaux

---

1.1	Les avantages et les inconvénients de la régression linéaire. . . . .	7
3.1	Description de cas d'utilisation Authentifier. . . . .	27
3.2	Description de cas d'utilisation S'inscrire. . . . .	28
3.3	Description de cas d'utilisation Ajouter d'un transfo. . . . .	29
3.4	Description de cas d'utilisation Modifier d'un transfo. . . . .	30
3.5	Description de cas supprimer d'un transfo . . . . .	31
3.6	Description de cas d'utilisation Importer les données de consommation. . . . .	31
3.7	Description de cas d'utilisation Importer les données de météo. . . . .	32
3.8	Description de cas d'utilisation Ajouter les données de consommation. . . . .	33
3.9	Description de cas d'utilisation Modifier les données de consommation. . . . .	34
3.10	Description de cas d'utilisation Supprimer les données de consommation. . . . .	35
3.11	Description de cas d'utilisation Consultez les prévisions de consommation de la charge électrique. . . . .	35
4.1	Matériels utilisé. . . . .	46

# Introduction générale

L'électricité est un élément essentiel de l'économie nationale et joue un rôle crucial dans la vie quotidienne de la population. La demande d'énergie électrique augmente rapidement en raison de divers facteurs, notamment la croissance démographique et le développement technologique.

Étant donné que l'électricité ne peut être stockée en grande quantité, il est essentiel de répondre à la demande en temps réel. Par conséquent, il est crucial de prévoir avec précision la demande future d'électricité, car une meilleure anticipation de la consommation permet de réduire les erreurs de production, minimisant ainsi les pertes, les problèmes tels que les groupes électrogènes inutiles, la consommation excessive de carburant et les coûts d'exploitation élevés. Cela permet également d'éviter les coupures de courant pendant les heures de pointe.

La prévision de la consommation électrique peut être réalisée à l'aide de méthodes classiques, telles que les estimations d'experts basées sur des méthodes statistiques, ou en utilisant des modèles d'intelligence artificielle tels que les réseaux de neurones récurrents (RNN) ou les machines à vecteurs de support (SVM). Bien que les méthodes traditionnelles soient simples à utiliser, elles manquent d'efficacité et de précision et ces méthodes adoptées actuellement ne sont pas insuffisantes ils nous donnent parfois des résultats loin de la réalité. Par conséquent, de nombreux travaux récents se concentrent sur l'utilisation de techniques d'intelligence artificielle pour une prédiction plus précise et efficace.

Dans ce mémoire de fin d'étude, nous abordons le problème de la prédiction de la demande d'électricité, qui consiste à estimer la quantité d'électricité nécessaire pour satisfaire la demande future, nous allons essayer dans ce travail d'utiliser des modèles d'apprentissage automatique pour prédire la consommation d'énergie électrique à l'aide d'un ensemble de données historiques sur la consommation d'électricité relatives au société "SONELGAZ" de l'année passée et en utilisant d'autres données liées à l'impact de l'électricité telle que le météo. En utilisant ces données, notre objectif est d'obtenir des résultats précis et concrets en ce qui concerne la prédiction de la consommation d'électricité.

ce mémoire s'articule autour de quatre chapitres, dans ce qui suit, nous présentons une brève description du contenu de chacun d'eux.

## **Chapitre 01 :**

Ce chapitre présente ce qui concerne la prédiction et ces techniques en générale.

## **Chapitre 02 :**

le but de ce chapitre est de donner quelques notions reliées a l'intelligence artificielle.

## **Chapitre 03 :**

Dans ce chapitre nous proposons une conception UML à l'aide des différents diagrammes (diagramme de cas d'utilisation, diagramme de classe et diagramme de séquence).

## **Chapitre 04 :**

Nous décrivons dans ce chapitre les outils qui ont été utilisés pendant le processus de développement de notre application.

## Sommaire

---

<b>1.1</b>	<b>Introduction :</b>	<b>3</b>
<b>1.2</b>	<b>L'intelligence artificielle (IA) :</b>	<b>3</b>
<b>1.3</b>	<b>Les applications d'intelligence artificielle :</b>	<b>3</b>
<b>1.4</b>	<b>Le machine learning :</b>	<b>3</b>
<b>1.5</b>	<b>Les techniques prédictives :</b>	<b>4</b>
<b>1.6</b>	<b>La régression :</b>	<b>5</b>
1.6.1	La régression linéaire :	5
1.6.2	La régression non linéaire :	7
<b>1.7</b>	<b>Conclusion :</b>	<b>8</b>

---

## 1.1 Introduction :

Le chapitre consacré à la prévision revêt une importance capitale dans ce mémoire qui se focalise sur la prédiction de la demande d'électricité. Au sein de ce chapitre, nous examinons en détail différentes techniques et méthodes visant à prédire avec précision la demande future en électricité. L'objectif principal est de présenter les approches et les techniques variées utilisées dans le domaine de la prévision de la demande d'électricité, en mettant particulièrement l'accent sur les méthodes les plus efficaces et les mieux adaptées au contexte actuel. Nous explorerons les modèles de régression ainsi que les méthodes d'apprentissage automatique, telles que les réseaux de neurones et les algorithmes de machine learning.

## 1.2 L'intelligence artificielle (IA) :

L'intelligence artificielle (IA) est un processus d'imitation de l'intelligence humaine qui repose sur la création et l'application d'algorithmes exécutés dans un environnement informatique dynamique. Son but est de permettre à des ordinateurs de penser et d'agir comme des êtres humains [1].

## 1.3 Les applications d'intelligence artificielle :

L'intelligence artificielle ou IA s'applique à tous les secteurs d'activité : transports, santé, énergie, industrie, logistique, finance ou encore commerce. Cloud, véhicule autonome, compteurs intelligents... utilisent tous des algorithmes performants pour fournir des réponses efficaces, fiables et personnalisées aux utilisateurs. Associant matériels et logiciels, l'intelligence artificielle mobilise des connaissances multidisciplinaires : électronique (collecte de données, réseaux de neurones), informatique (traitement de données, apprentissage profond), mathématiques (modèles d'analyse des données) ou sciences humaines et sociales pour analyser l'impact sociétal induit par ces nouveaux usages. L'essentiel sur les enjeux industriels et sociétaux majeurs de l'intelligence artificielle. Parmi les branches d'IA on trouve la branche de l'apprentissage automatique (machine learning), que nous adoptons pour étudier notre thème : « prédiction en intelligence artificielle » [2].

## 1.4 Le machine learning :

Le Machine Learning est un sous-ensemble de l'intelligence artificielle (IA). Cette technologie vise à apprendre aux machines à tirer des enseignements des données et à s'améliorer avec l'expérience, au lieu d'être explicitement programmées pour le faire. Dans le Machine Learning, les algorithmes sont entraînés à trouver des patterns et des corrélations dans de grands ensembles de données, ainsi qu'à prendre les meilleures décisions et à émettre les meilleures prévisions en s'appuyant sur leur analyse. Avec la pratique, les applications du Machine Learning s'améliorent. Et plus le volume de données auxquelles elles ont accès est important, plus elles deviennent précises [3].

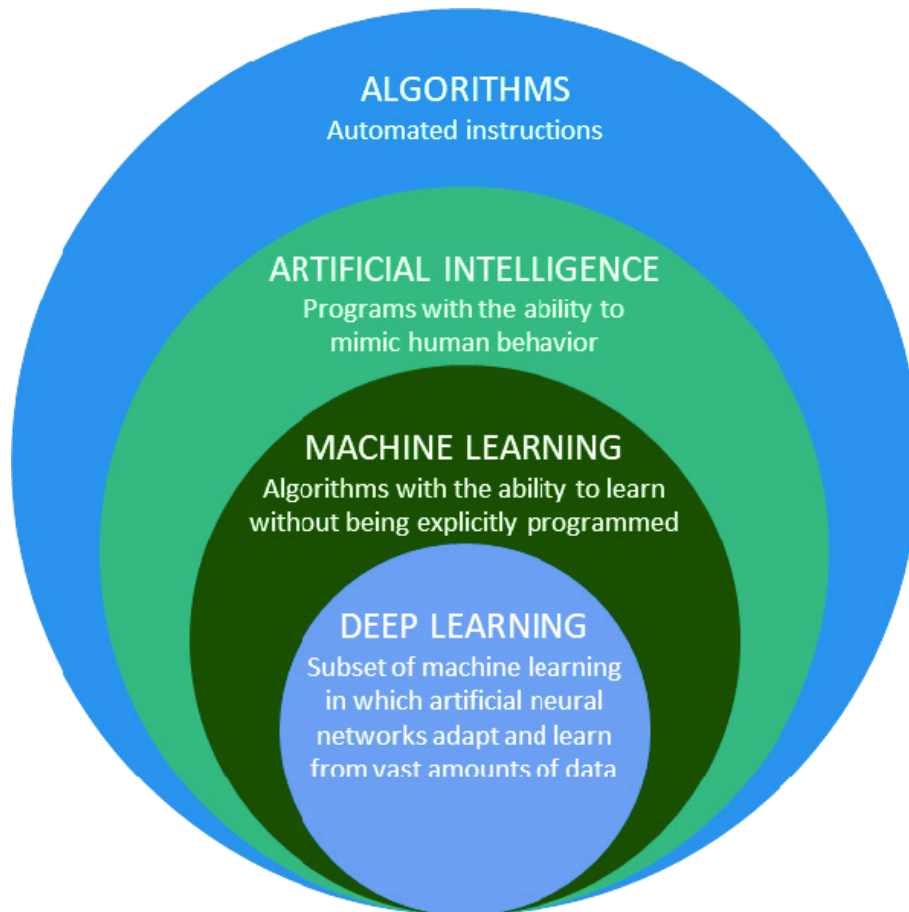


FIGURE 1.1 – Le lien entre intelligence artificielle et machine learning.

## 1.5 Les techniques prédictives :

La modélisation prédictive est le développement de modèles capables de prédire des événements, des tendances ou des modèles futurs sur la base de données historiques. Les entreprises utilisent ces modèles pour prendre des décisions éclairées sur de futurs projets. Les entreprises utilisent des modèles prédictifs pour détecter les risques futurs et les opportunités prometteuses. Les techniques de modélisation prédictive courantes comprennent la régression linéaire, la régression multiple, la régression logistique, les arbres de décision, les forêts aléatoires, l'exploration de données et les réseaux de neurones c'est comme suit [4] :

1. Régression linéaire :lorsque deux variables continues décrivent une relation linéaire, une régression linéaire peut être utilisée pour déterminer la valeur de la variable dépendante, basée sur la variable indépendante.
2. Régression multiple :Ceci est similaire à la régression linéaire, sauf que la valeur de la variable dépendante est évaluée en analysant plusieurs variables indépendantes.
3. Régression logistique :elle est utilisée pour vérifier les variables dépendantes lorsque l'ensemble de données est volumineux, ce qui nécessite une catégorisation.
4. Arbre de décision :cette méthode est couramment utilisée pour l'exploration de données. Un organigramme représentant un arbre inversé est formulé. Ici, le nœud interne se divise en branches qui répertorient deux décisions possibles ou plus, et chaque décision est subdivisée pour montrer d'autres résultats possibles. Cette technique aide à choisir la meilleure option.
5. L'algorithme des « forêts aléatoires »ou « random forest » :Il s'agit d'un modèle de régression et de classification populaire. Il est utilisé pour résoudre des algorithmes d'apprentis-

sage automatique. Il comprend plusieurs arbres de décision, non corrélés les uns aux autres. Ces arbres de décision facilitent collectivement l'analyse.

6. Boosting :comme son nom l'indique, cette méthode facilite l'apprentissage à partir des résultats d'autres modèles : arbre de décision, régression logistique, réseau de neurones et machine à vecteurs de support.
7. Réseaux de neurones :il s'agit d'un mécanisme de résolution de problèmes utilisé dans l'apprentissage automatique et l'intelligence artificielle. Il développe un ensemble d'algorithmes pour un système d'apprentissage informatique. Ces algorithmes comprennent trois couches : entrée, traitement et sortie.

## 1.6 La régression :

L'intérêt de la régression est d'abord de comprendre si un effet observé peut être comparé à une autre métrique. La régression peut également être utilisée pour faire des prédictions si la recherche est effectuée dans le cadre des valeurs utilisées pour la régression. On distingue 2 types de régression comme suit :

### 1.6.1 La régression linéaire :

La régression linéaire est une technique d'analyse de données qui prédit la valeur de données inconnues en utilisant une autre valeur de données apparentée et connue. Il modélise mathématiquement la variable inconnue ou dépendante et la variable connue ou indépendante sous forme d'équation linéaire [5].

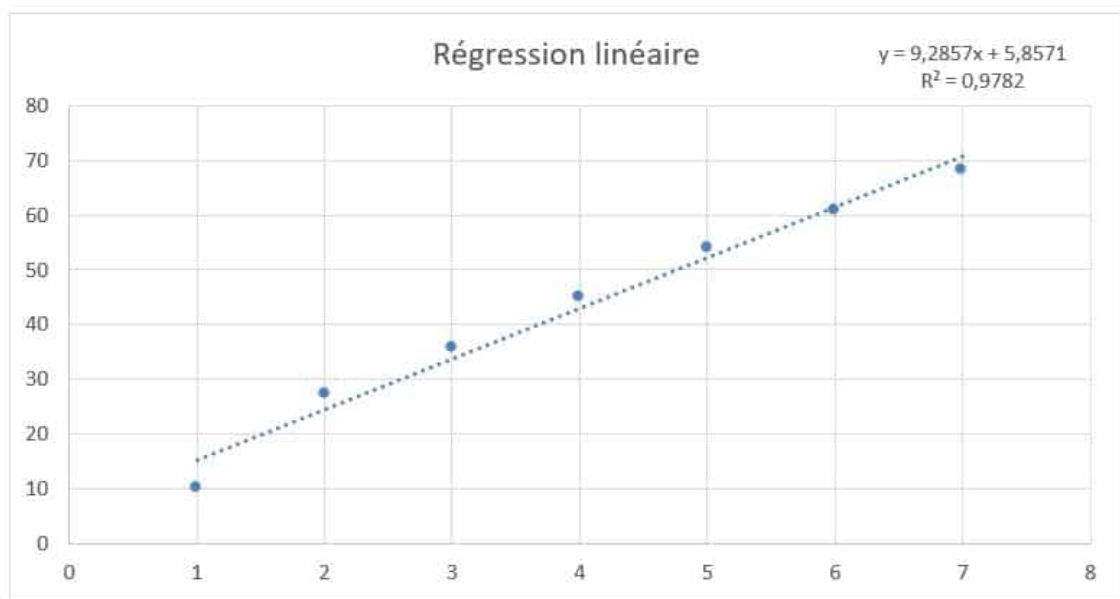


FIGURE 1.2 – Représentation graphique d'un exemple sur la régression linéaire.

### La présentation formelle :

- la présentation numérique : La présentation numérique de la régression linéaire implique d'exprimer les relations linéaires entre les variables sous forme d'équations. Par exemple, pour un modèle de régression linéaire simple avec une seule variable indépendante, la

représentation numérique peut être :

$$y = \beta_0 + \beta_1 * x + \varepsilon$$

où :

Y est la variable dépendante

X est la variable indépendante

$\beta_0$  est l'intercept

$\beta_1$  est le coefficient de pente

$\varepsilon$  est l'erreur résiduelle. Cette équation indique que la valeur de Y dépend de manière linéaire de X avec une certaine erreur résiduelle [6].

- La présentation par vecteur : La présentation par vecteur de la régression linéaire est couramment utilisée dans le contexte de l'algèbre linéaire. Elle utilise des vecteurs et des matrices pour représenter les variables et les coefficients du modèle. Par exemple, la représentation par vecteur pour un modèle de régression linéaire multiple peut être [7] :

$$y = x\beta + \varepsilon$$

où :

Y est le vecteur des variables dépendantes

X est la matrice des variables indépendantes

$\beta$  est le vecteur des coefficients de régression

$\varepsilon$  est le vecteur des erreurs résiduelles.

- La présentation matricielle : La présentation matricielle de la régression linéaire est une généralisation de la présentation par vecteur. Elle représente le modèle de régression linéaire à l'aide de matrices. Par exemple, pour un modèle de régression linéaire simple, la représentation matricielle peut être [8] :

$$y = x\beta + \varepsilon$$

où :

Y est une matrice des variables dépendantes

X est une matrice des variables indépendantes

$\beta$  est une matrice des coefficients de régression

$\varepsilon$  est une matrice des erreurs résiduelles.

### qualité de la prédiction :

L'évaluation de la qualité de prédiction en machine learning dépend du type de modèle utilisé et de l'objectif de la prédiction. Pour évaluer la qualité de prédiction d'un modèle, il est courant d'utiliser des métriques telles que l'erreur quadratique moyenne (MSE), l'erreur absolue moyenne (MAE), le coefficient de détermination ( $R^2$ ), la précision, le rappel, la F-mesure, etc. Ces métriques permettent de mesurer la distance entre les prédictions du modèle et les valeurs réelles. Il est également important de diviser les données en ensembles d'entraînement et de test pour évaluer la capacité du modèle à généraliser à de nouvelles données. En outre, il est possible d'utiliser des techniques telles que la validation croisée pour évaluer la qualité de prédiction du modèle sur plusieurs ensembles de données. Enfin, il est important de prendre en compte le contexte d'utilisation du modèle et de s'assurer que les prédictions sont fiables et cohérentes avec les données réelles [9].

### Les avantages et Les inconvénients de la régression linéaire [10] :

les avantages	les inconvénients
La régression linéaire est simple à mettre en œuvre et plus facile à interpréter les coefficients de sortie.	D'autre part, dans la technique de régression linéaire, les valeurs aberrantes peuvent avoir d'énormes effets sur la régression et les limites sont linéaires dans cette technique.
Lorsque vous savez que la relation entre la variable indépendante et dépendante a une relation linéaire, cet algorithme est le meilleur à utiliser car il est moins complexe que d'autres algorithmes.	Diversement, la régression linéaire suppose une relation linéaire entre les variables dépendantes et indépendantes. Cela signifie qu'il suppose qu'il existe une relation linéaire entre eux. Il suppose l'indépendance entre les attributs.
La régression linéaire est susceptible de surajustement, mais elle peut être évitée en utilisant certaines techniques de réduction de la dimensionnalité, des techniques de régularisation (L1 et L2) et la validation croisée.	Mais la régression linéaire examine également une relation entre la moyenne des variables dépendantes et les variables indépendantes. Tout comme la moyenne n'est pas une description complète d'une seule variable, la régression linéaire n'est pas une description complète des relations entre les variables.

TABLEAU 1.1 – Les avantages et les inconvénients de la régression linéaire.

### 1.6.2 La régression non linéaire :

La régression non linéaire est une forme d'analyse de régression dans laquelle les données sont ajustées à un modèle, puis exprimées sous forme de fonction mathématique. La régression linéaire simple relie deux variables (X et Y) avec une ligne droite ( $y = mx + b$ ), tandis que la régression non linéaire relie les deux variables dans une relation non linéaire (courbe) [11].

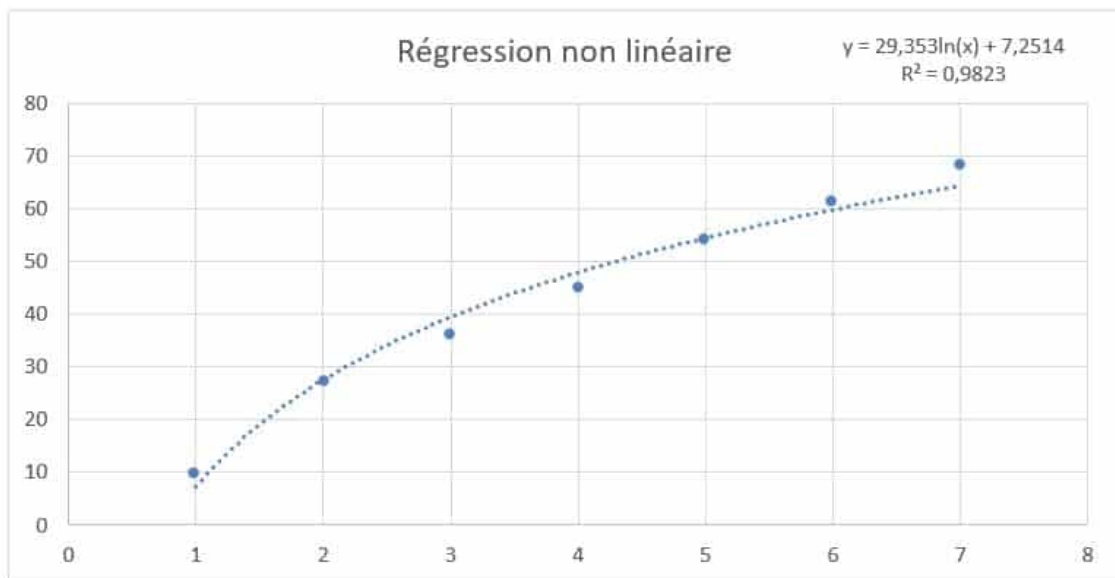


FIGURE 1.3 – Représentation graphique d'un exemple sur la régression non linéaire.

1. système incrémental  
De cette façon, la pente est calculée et les poids sont ajustés après chaque revenu attribué à la grille.
2. Système de paiement unique :

Dans ce mode, le réseau fournit tous les rayons d'entrée avant la mise à jour des poids, ce qui permet d'ajuster les poids et déformations de cette méthode après la fourniture du réseau dans l'ensemble du groupe de formation. Les tendances calculées dans chaque exemple de formation sont additionnées pour déterminer les modifications de poids et de dégradations [12].

Descente graduelle (Gradient Descent) :

Dans celui-ci les poids se déplacent en face de la fonction active, Dans lequel la distribution inverse doit être conforme à la méthode de calcul de la régression (la pente), par l'équation suivante :

$$\theta_1 = \theta_0 - \alpha * J$$

Tant que nous recherchons des valeurs  $\theta_1$  et  $\theta_0$  qui réduiront la valeur de J au minimum, comme les équations suivants :

$$\theta_0 := \theta_0 - \alpha \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (h_{\theta}(x_i) - y_i)$$

$$\theta_1 := \theta_1 - \alpha \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m ((h_{\theta}(x_i) - y_i)x_i)$$

Nous imposons les valeurs  $\theta_0 = 1$  et  $\theta_1 = 2$ , puis les réduirons progressivement jusqu'à atteindre la valeur la plus basse de j. mais nous voulons les valeurs de  $\theta$  globale pas les valeurs locaux [12].

Descente de gradient avec élan (GDM) :

Est identique à l'algorithme GD avec l'élan, Dans lequel la distribution inverse doit être conforme à la méthode de calcul de la régression (la pente), par l'équation suivante [12] :

$$\theta_1 = \theta_0 - \alpha * J + \mu(\theta_0 - \theta_{-1})$$

où :

$(\theta_1 - \theta_0)$  : Différence de poids

$\alpha$  : Learning Rate

$\mu$  : élan

J : Coefficient de régression.

Conjugate Gradient BP (CGF) :

Il se concentre sur le changement de gradient brusque à chaque fréquence afin de tirer profit d'un temps court, Coefficient de régression doit être calculer par l'équation suivante [12] :

$$\theta_1 = \theta_0 - \alpha * J + \mu P_k$$

où

$$P_k = -J_k + \beta_k P_{k-1} \text{ et } \beta_k = \frac{J_k^2}{J_{k-1}^2}$$

Quasi-Newton (BFGS) : Coefficient de régression doit être calculer par l'équation suivante :

Coefficient de régression doit être calculer par l'équation suivante :

$$[\theta_{k+1}] = [\theta_k] - [\alpha]_k^{-1} * J_k$$

Levenberg Marquardt (LM) :

Coefficient de régression doit être calculer par l'équation suivante :

$$[\theta_{k+1}] = [\theta_k] - [\alpha + \mu]_k^{-1} * J_k$$

où :  $\mu=0$  donc :

LM comme BFGS [12].

## 1.7 Conclusion :

En conclusion de ce qui précède, il est évident que l'intelligence artificielle (IA) est un programme intelligent, rapide et précis qui offre la capacité de résoudre des problèmes mathématiques et statistiques, ainsi que de prévoir les meilleures décisions. L'IA englobe diverses branches, parmi lesquelles l'apprentissage automatique occupe une place prépondérante, notamment dans sa forme supervisée axée sur la prédiction.

L'un des algorithmes statistiques utilisés dans le domaine de l'apprentissage automatique pour parvenir à des prédictions précises est l'algorithme de régression linéaire. Cet algorithme a été spécifiquement développé par le machine learning afin de fournir des prédictions les plus précises possible.

Dans le prochain chapitre, nous aborderons l'une des techniques prédictives les plus avancées : les réseaux de neurones artificiels.

Sommaire

---

2.1	Introduction : . . . . .	11
2.2	L'histoire des réseaux de neurones : . . . . .	11
2.3	le modèle Biologique : . . . . .	11
2.4	Le modèle mathématique : . . . . .	12
2.5	Les fonctions d'activations : . . . . .	13
2.6	L'architecture des réseaux de neurones : . . . . .	14
2.7	les types de réseaux de neurones : . . . . .	15
2.7.1	Les réseaux « feed forward » : . . . . .	15
2.8	L'apprentissage des réseaux de neurones : . . . . .	17
2.8.1	les types d'apprentissage : . . . . .	17
2.9	l'algorithme d'apprentissage : . . . . .	20
2.10	Le perceptron multicouche pour la prévision : . . . . .	20
2.11	Conclusion : . . . . .	20

---

## 2.1 Introduction :

Les réseaux de neurones artificiels jouent un rôle central dans le domaine de l'intelligence artificielle moderne, offrant des capacités de modélisation et d'apprentissage particulièrement puissantes. Leur utilisation s'est répandue dans de multiples domaines, allant de la reconnaissance d'images à la traduction automatique, en passant par la prédiction de résultats. Nous commencerons dans ce chapitre par retracer l'histoire et examiner les modèles des réseaux de neurones. Ensuite, nous examinerons les différents types de neurones ainsi que leur architecture, Nous aborderons également les divers types d'apprentissage associés aux réseaux de neurones. Enfin, nous présenterons en détail l'algorithme d'apprentissage, en mettant en évidence l'importance du perceptron multicouche dans le domaine de la prévision.

## 2.2 L'histoire des réseaux de neurones :

L'histoire des réseaux neuronaux remonte à plus loin que la plupart d'entre nous ne le pense. L'idée d'une "machine qui pense" se retrouve chez les Grecs de l'Antiquité, mais nous concentrons sur les principaux événements qui ont conduit à l'évolution de la réflexion sur les réseaux neuronaux, avec une popularité variable au fil des ans :

**1943** : Warren S. McCulloch et Walter Pitts publient "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity". Leurs travaux visent à comprendre comment le cerveau humain peut produire des modèles complexes à l'aide de cellules cérébrales interconnectées, ou neurones. Une des idées principales de leurs travaux est la comparaison des neurones à seuil binaire avec la logique booléenne (c'est-à-dire 0/1 ou vrai/faux).

**1958** : Frank Rosenblatt se voit attribuer la paternité du perceptron, documenté dans son travail de recherche intitulé "The Perceptron : A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain". Rosenblatt va un peu plus loin que McCulloch et Pitt, en ajoutant la notion de poids à l'équation. Rosenblatt a réussi à faire apprendre à un ordinateur, un IBM 704, à distinguer des cartes portant des inscriptions sur la gauche par rapport à des cartes portant des inscriptions sur la droite.

**1974** : Alors que de nombreux chercheurs contribuent à l'idée de rétropropagation, Paul Werbos est le premier aux États-Unis à observer son application au sein des réseaux neuronaux dans sa thèse de doctorat.

**1989** : Yann LeCun publie un article montrant comment l'utilisation de contraintes dans la rétropropagation et son intégration à l'architecture du réseau neuronal peuvent être utilisées pour entraîner des algorithmes. Ces travaux de recherche ont permis de réussir à utiliser un réseau neuronal pour reconnaître des codes postaux écrits à la main fournis par la poste américaine [13].

## 2.3 le modèle Biologique :

La compréhension et la modélisation du cerveau ont permis d'isoler le composant cellulaire de base du cerveau appelé neurone qui est l'unité de traitement de l'information dont les constituants sont les synapses, les dendrites, le noyau et l'axone comme le montre clairement la figure :

Chaque neurone reçoit un ensemble de potentiels excitateurs ou inhibiteurs, par l'intermédiaire des synapses qui le relient aux autres neurones, les dendrites calculent une somme pondérée de leurs entrées, selon le niveau d'activation obtenu, le noyau génère ou non un potentiel d'action qui se propage le long de l'axone. Ainsi, ce modèle biologique simple sert de base au modèle mathématique du neurone formel [14].

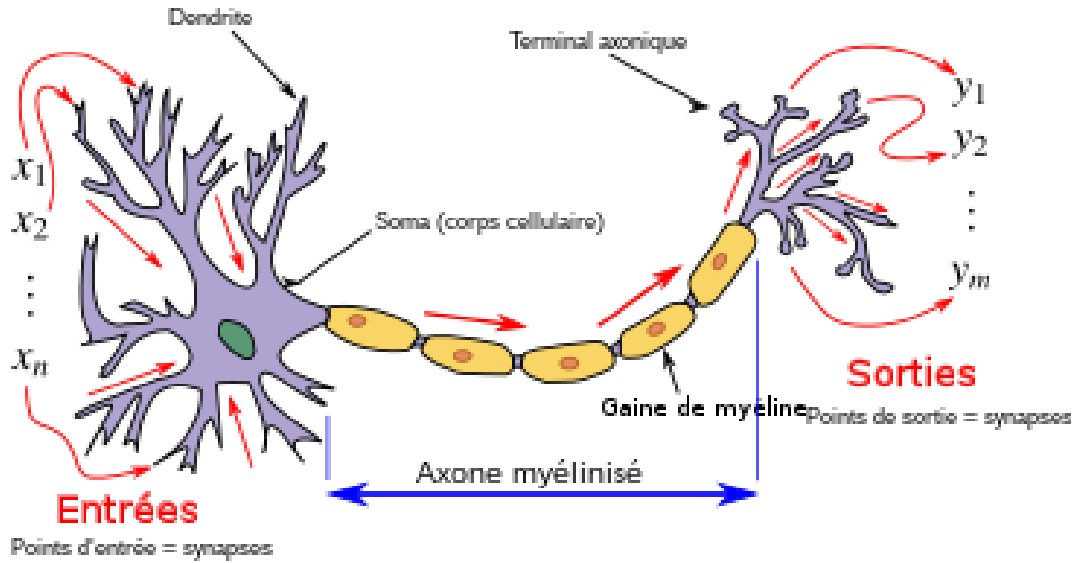


FIGURE 2.1 – La structure d’un neurone biologique.

## 2.4 Le modèle mathématique :

La Figure montre la structure d’un neurone artificiel. Chaque neurone artificiel est un processeur élémentaire. Il reçoit un nombre variable d’entrées en provenance de neurones amonts. À chacune de ces entrées est associée un poids  $w$ , abréviation de weight (« poids » en anglais) représentatif de la force de la connexion. Chaque processeur élémentaire est doté d’une sortie unique, qui se ramifie ensuite pour alimenter un nombre variable de neurones avals. À chaque connexion est associée un poids.

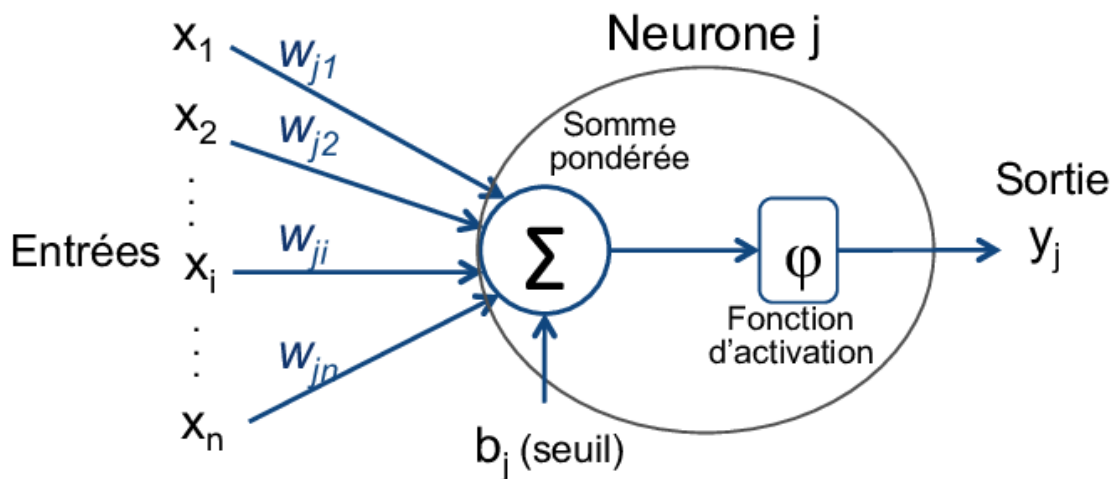


FIGURE 2.2 – la structure d’un neurone artificiel.

Le neurone réalise alors trois opérations sur ses entrées comme suit :

- **Pondération** : multiplication de chaque entrée par un paramètre appelé poids de connexion selon l’expression suivante :

$$e_i = \sum_{j=1}^n W_{ij} * X_i$$

Où :

$e_i$  : Entrée globale du neurone i

$X_i$  : Signaux d'entrée du neurone i

$W_{ij}$  : Poids associé au signal reliant le neurone i au neurone j de la couche précédente.

- **Sommation** : une sommation des entrées pondérées est effectuée.
- **Activation** : passage de cette somme dans une fonction, appelée fonction d'activation. La valeur calculée est la sortie du neurone qui est transmise aux neurones suivants [15].

## 2.5 Les fonctions d'activations :

Une fonction d'activation est une fonction mathématique utilisée sur un signal. Elle va reproduire le potentiel d'activation que l'on retrouve dans le domaine de la biologie du cerveau humain. Elle va permettre le passage d'information ou non de l'information si le seuil de stimulation est atteint. Concrètement, elle va avoir pour rôle de décider si on active ou non une réponse du neurone. Un neurone ne va faire qu'appliquer la fonction suivante [16] :

$$X = \sum (\text{entre} * \text{poids}) + \text{biais}$$

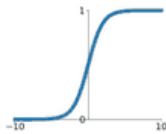
Il existe un grand nombre de fonctions d'activation, telles que :

- Sigmoide : produit une courbe en forme de S. Bien que de nature non linéaire, il ne tient toutefois pas compte des légères variations des entrées, ce qui entraîne des résultats similaires [16].
- Fonction de tangente hyperbolique (tanh) : Il s'agit d'une fonction supérieure comparée à Sigmoid. Cependant, elle rend moins bien compte des relations et elle est plus lente à converger [16].
- Unité linéaire rectifiée (ReLU) : Cette fonction converge plus rapidement, optimise et produit la valeur souhaitée plus rapidement. C'est de loin la fonction d'activation la plus populaire utilisée dans les couches cachées [16].
- Softmax : utilisé dans la couche de sortie car il réduit les dimensions et peut représenter une distribution catégorique [17].

## Activation Functions

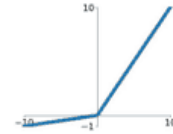
**Sigmoid**

$$\sigma(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$$



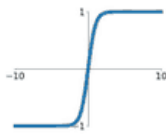
**Leaky ReLU**

$$\max(0.1x, x)$$



**tanh**

$$\tanh(x)$$

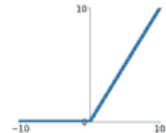


**Maxout**

$$\max(w_1^T x + b_1, w_2^T x + b_2)$$

**ReLU**

$$\max(0, x)$$



**ELU**

$$\begin{cases} x & x \geq 0 \\ \alpha(e^x - 1) & x < 0 \end{cases}$$

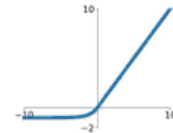


FIGURE 2.3 – Exemples des fonctions d'activations.

## 2.6 L'architecture des réseaux de neurones :

On distingue deux types d'architectures de réseaux de neurones : les réseaux de neurones « non bouclés » et les réseaux de neurones « bouclés ».

### 1. Les réseaux de neurones non bouclés :

Un réseau de neurones non bouclé réalise une ou plusieurs fonctions algébriques de ses entrées, par composition des fonctions réalisées par chacun de ses neurones. Il est représenté graphiquement par un ensemble de neurones connectés entre eux, l'information circulant des entrées vers les sorties sans retour en arrière. Un « Perceptron multicouche » est un réseau de neurones non bouclé qui a une structure particulière, très fréquemment utilisée : il comprend des entrées, une couche de neurones intermédiaires, dits neurones cachés, et des neurones de sortie. Les neurones de la couche cachée ne sont pas connectés entre eux.

Les réseaux de neurones non bouclés sont statiques : si les entrées sont indépendantes du temps, les sorties le sont également. Ils sont utilisés principalement pour effectuer des tâches d'approximation de fonction non linéaire, de modélisation statique de processus non linéaires ou de classification [18].

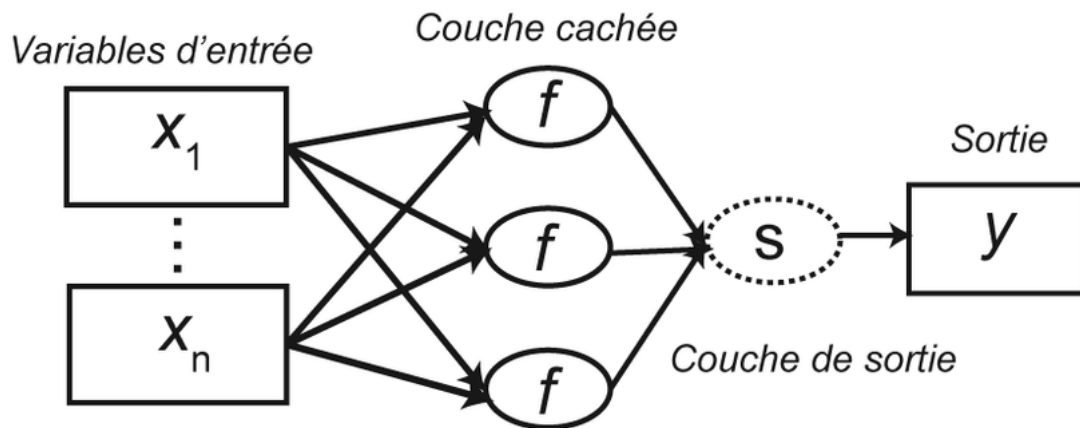


FIGURE 2.4 – Exemple d'un réseau de neurone non bouclé.

### 2. Les réseaux de neurones bouclés :

L'architecture la plus générale pour un réseau de neurones est le « réseau bouclé », dont le graphe des connexions est cyclique : lorsqu'on se déplace dans le réseau en suivant le sens des connexions, il est possible de trouver au moins un chemin qui revient à son point de départ (un tel chemin est désigné sous le terme de « cycle »). La sortie d'un neurone du réseau peut donc être fonction d'elle-même ; cela n'est évidemment concevable que si la notion de temps est explicitement prise en considération. Un réseau de neurones bouclé à temps discret est donc régi par une (ou plusieurs) équations aux différences non linéaires, résultant de la composition des fonctions réalisées par chacun des neurones et des retards associés à chacune des connexions. Les réseaux de neurones bouclés sont utilisés pour effectuer des tâches de modélisation de systèmes dynamiques, de commande de processus, ou de filtrage [15].

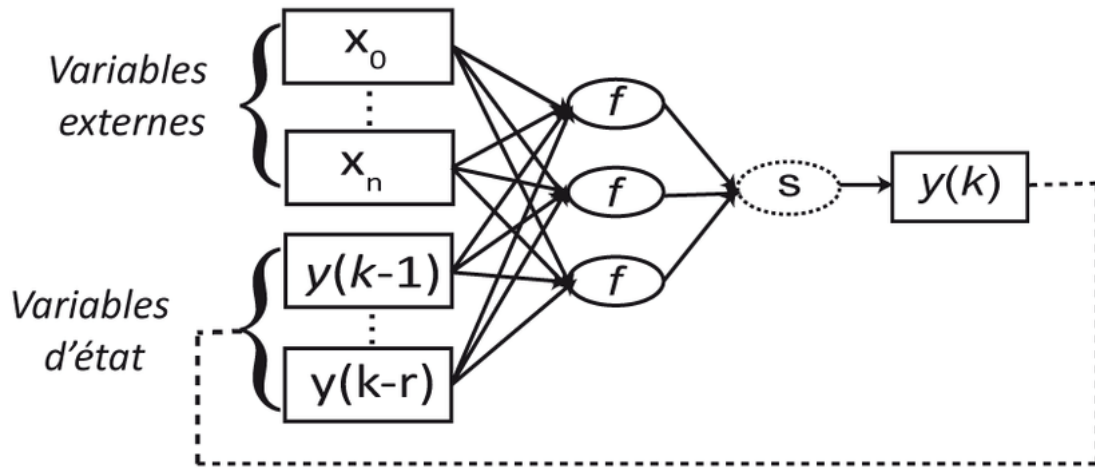


FIGURE 2.5 – Exemple d'un réseau de neurone bouclé.

## 2.7 les types de réseaux de neurones :

### 2.7.1 Les réseaux « feed forward » :

#### Les perceptron :

- Le perceptron mono-couche :  
C'est historiquement le premier RNA, c'est le perceptron de Rosenblatt. c'est un réseau simple, puisqu'il ne se compose que d'une couche d'entrée et d'une couche de sortie, il est calqué, à la base, sur le système visuel et de ce fait connu en premier dans la reconnaissance des formes. Cependant, il peut aussi être utilisé pour faire de la classification et pour résoudre des opérations logiques simples (telle 'ET' ou 'OU'). sa principale limite est qu'il ne peut résoudre que des problèmes linéairement séparables. il suit généralement un apprentissage supervisé selon la règle de correction de l'erreur (ou selon la règle de Hebb) [19].
- Le perceptron multi couche (PMC) :  
C'est une extension du précédent, avec une ou plusieurs couches cachées entre l'entrée et la sortie. Chaque neurone dans une couche est connecté à tous les neurones de la couche précédente et de la couche suivante (excepté pour les couches d'entrée et de sortie) et il n'y a pas de connexions entre les cellules d'une même couche. Les fonctions d'activation utilisées dans ce type de réseaux sont principalement les fonctions à seuil ou sigmoïdes. Il peut résoudre des problèmes non-linéairement séparables et des problèmes logiques plus compliqués, et notamment le fameux problème du XOR. il suit aussi un apprentissage supervisé selon la règle de correction de l'erreur [19].

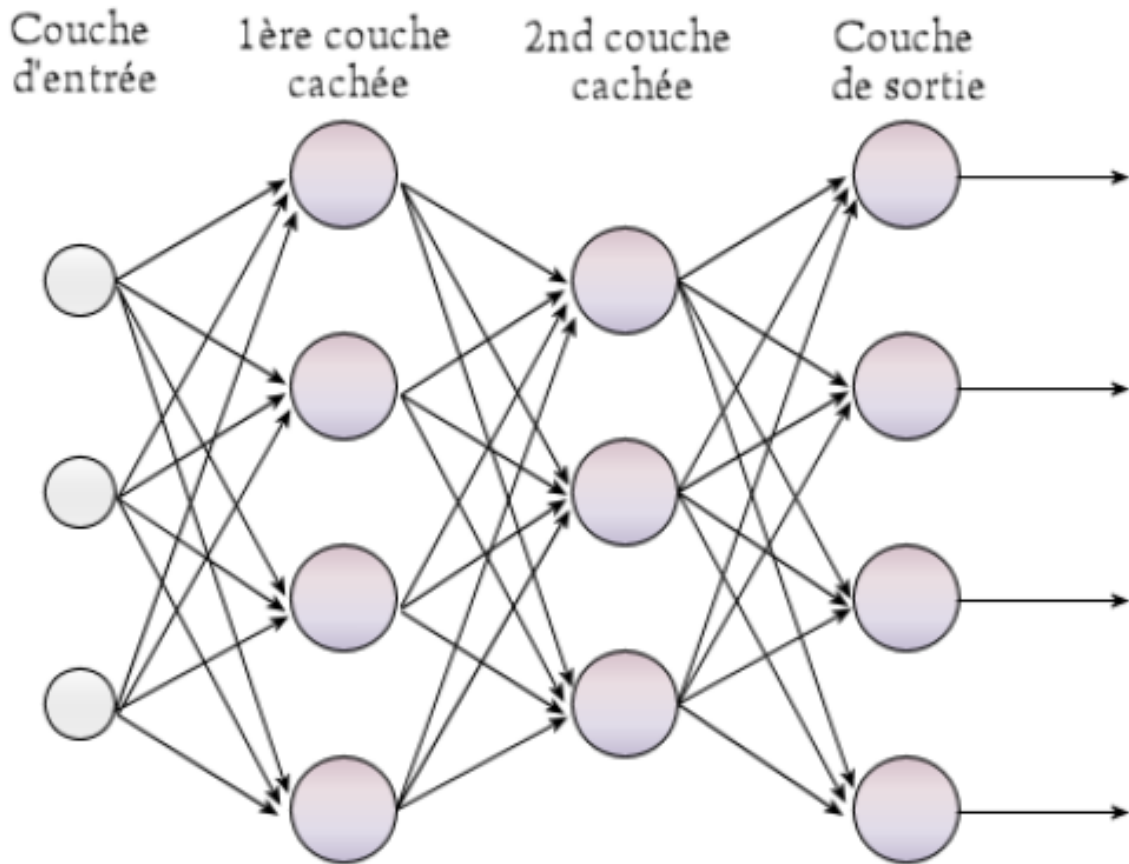


FIGURE 2.6 – Exemple d’une représentation d’un PMC.

— Les réseaux à fonction radiale :

Ce sont les réseaux que l’on nomme aussi RBF (pour « Radial Basic Functions »). l’architecture est la même que pour les PMC cependant, les fonctions de base utilisées ici sont des fonctions Gaussiennes. Les RBF seront donc employés dans les mêmes types de problèmes que les PMC à savoir, en classification et en approximation de fonctions, particulièrement. L’apprentissage le plus utilisé pour les RBF est le mode hybride et les règles sont soit, la règle de correction de l’erreur soit, la règle d’apprentissage par compétition [19].

**les réseaux « feedback » :**

- Les cartes auto-organisatrices de kohonen : Ce type de réseau, appelé SOM (Self Organised Maps), est un réseau à apprentissage non-supervisé qui établit une carte discrète, ordonnée topologiquement, en fonction de patterns d’entrée. Le réseau forme ainsi une sorte de treillis où chaque nœud du treillis est un neurone associé à un vecteur de poids. La correspondance entre chaque vecteurs de poids est calculée pour chaque entrée. Par la suite, le vecteur de poids ayant la meilleure corrélation, ainsi que certains de ses voisins, vont être modifiés afin d’augmenter encore cette corrélation. Les LVQ (Learning Vector Quantization) sont un cas particulier des SOM où seul le nœud ayant la meilleur corrélation est adaptée. on parle, pour ce type de réseau où seul le « vainqueur » est sélectionné, de réseaux à compétition [19].
- Les réseaux de Hopfield : Les réseaux de hopfield sont donc des réseaux récurrents et entièrement connectés. Dans ce type de réseau, chaque neurone est connecté à chaque autre neurone et il n’y a aucune différenciation entre les neurones d’entrée et de sortie.ils fonctionnent comme une mémoire associative non-linéaire et sont capables de trouver un objet stocké en fonction de représentations partielles ou bruitées. L’application principale

des réseaux de Hopfield est l'entrepot de connaissances mais aussi la résolution de problèmes d'optimisation. Le mode d'apprentissage utilisé ici est le mode non-supervisé [19].

- Les art : Les réseaux ART (Adaptative Resonance Théorie) sont des réseaux à apprentissage par compétition. Le problème majeur qu'il se pose dans ce type de réseaux est le dilemme « stabilité /plasticité ». En effet, dans un apprentissage par compétition, rien ne garantit que les catégories formées vont rester stable. La seule possibilité, pour assurer la stabilité, serait que le coefficient d'apprentissage tende vers zéro, mais le réseau perdrait alors sa plasticité. Les ART ont été connus spécifiquement pour contourner ce problème. dans ce genre de réseau, les vecteurs de poids ne seront adaptés que si l'entrée fournie est suffisamment proche, d'un prototype déjà connu par le réseau. On parlera alors de résonance. A l'inverse, si l'entrée s'éloigne trop des prototypes existants, une nouvelle catégorie va alors se créer, avec pour prototype, l'entrée qui a engendré sa création. Il est à noter qu'il existe deux principaux types de réseaux ART : les ART-1 pour des entrées binaires et les ART-2 pour des entrées continues. Le mode d'apprentissage des ART peut être supervisé ou non [19].

## 2.8 L'apprentissage des réseaux de neurones :

L'apprentissage automatique (machine-learning en anglais) est une discipline scientifique, qui est aussi l'un des champs d'étude de l'intelligence artificielle. L'apprentissage automatique fait référence au développement, à l'analyse et à l'implémentation de méthodes qui permettent à une machine (au sens large) d'évoluer grâce à un processus d'apprentissage, et ainsi de remplir des tâches qu'il est difficile ou impossible de remplir par des moyens algorithmiques plus classiques. Des systèmes complexes peuvent être analysés, y compris pour des données associées à des valeurs symboliques (ex : non pas un nombre, mais une probabilité ou un intervalle de définition sur un attribut numérique) ou un ensemble de modalités possibles sur un attribut de valeur (numérique) ou catégoriel. L'analyse peut même concerner des données présentées sous forme de graphes ou d'arbres ou encore de courbes (par exemple courbe d'évolution temporelle d'une mesure ; on parle alors de données continues, par opposition aux données discrètes associées à des attributs-valeurs classiques) [20].

### 2.8.1 les types d'apprentissage :

Il existe de nombreux types de règles d'apprentissage qui peuvent être regroupées en trois catégories : les règles d'apprentissage supervisé, non supervisé, et renforcé. Mais l'objectif fondamental de l'apprentissage reste le même : soit la classification, l'approximation de fonction ou encore la prévision. Dans l'optique de la prévision, l'apprentissage consiste à extraire des régularités (à partir des exemples) qui peuvent être transférées à de nouveaux exemples [21].

#### Apprentissage supervisé

La machine est enseignée par l'exemple dans l'apprentissage supervisé. Pendant ce temps, l'opérateur donne à l'algorithme de la machine un ensemble de données connu avec les entrées et les sorties souhaitées. Et le système doit trouver comment obtenir ces entrées et ces sorties. Bien que l'opérateur connaisse les solutions appropriées au problème. L'algorithme reconnaît les modèles dans les données, apprend des observations et génère des prédictions. De plus, l'algorithme crée des prédictions, qui sont ensuite rectifiées par l'opérateur, et ce processus est répété jusqu'à ce que l'algorithme atteigne un haut degré d'efficacité. Premièrement, la classification, deuxièmement, la régression et enfin, la prévision sont tous des sous-ensembles de l'apprentissage supervisé [21].

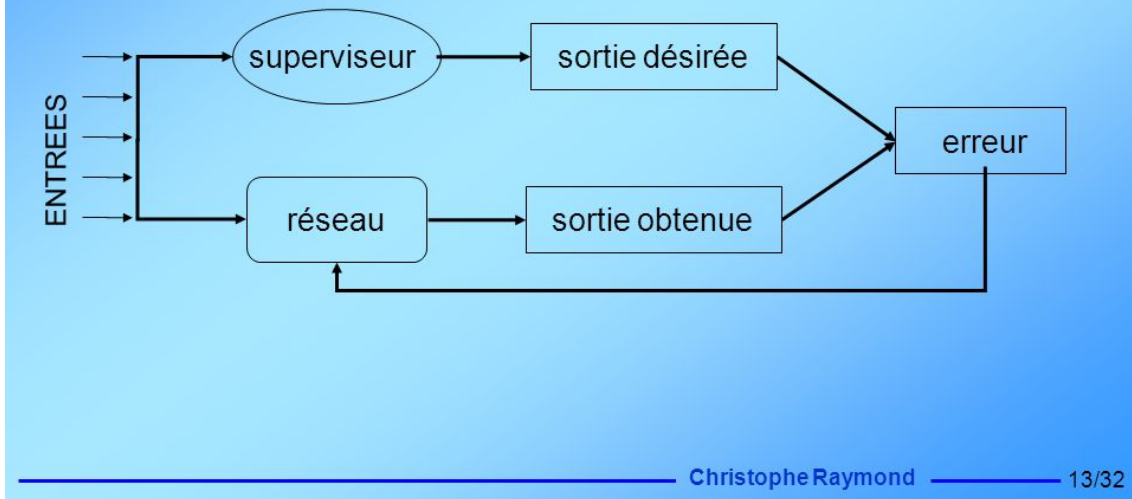


FIGURE 2.7 – L'apprentissage supervisé.

## Apprentissage renforcé

L'apprentissage par renforcement concerne les procédures d'apprentissage enrégimentées. Dans lequel un algorithme machine est un ensemble d'actions, de paramètres et de valeurs finales à suivre. Suite à la définition des règles, l'algorithme d'apprentissage automatique tente d'explorer plusieurs options et possibilités. Surveillant et évaluant ainsi chaque sortie pour déterminer celle qui est idéale. De plus, l'apprentissage par renforcement instruit les machines par essais et erreurs. De plus, il apprend des expériences précédentes et commence à ajuster sa stratégie en réaction à la situation pour atteindre le meilleur résultat potentiel [21].

## Apprentissage non supervisé

Dans ce cas, l'algorithme d'apprentissage automatique examine les données pour détecter des modèles. Pendant ce temps, il n'y a pas de clé de réponse ou d'opérateur humain pour fournir des conseils. Au contraire, en analysant les données accessibles, la machine détermine les corrélations et les associations. De plus, l'algorithme de la machine est laissé pour comprendre les grands ensembles de données. Et traite également ces données dans un processus d'apprentissage non supervisé. Mais ensuite, l'algorithme tente d'organiser ces données pour décrire leur structure. Cela pourrait toutefois impliquer de regrouper les données en grappes ou de les organiser de manière plus organisée. Au fur et à mesure qu'il évalue des données supplémentaires, sa capacité à prendre des décisions en fonction de ces données augmente et s'affine Les activités suivantes entrent dans le cadre de l'apprentissage non supervisé :

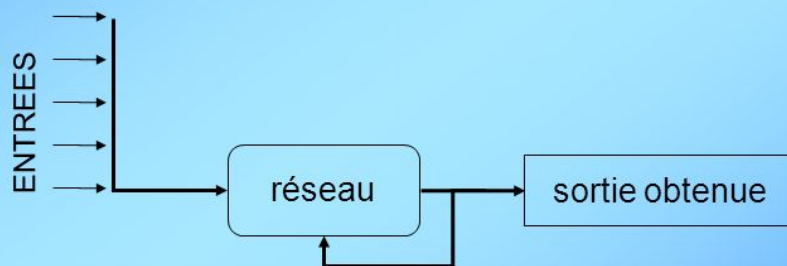
**regroupement** est le processus de regroupement de collections de données comparables (sur la base de critères définis). Il est essentiel de segmenter les données en différents groupes et d'analyser chaque ensemble de données pour découvrir les tendances.

**La réduction de dimension** est le processus de réduction du nombre de variables dans l'en-

quête pour obtenir les informations exactes requises [21].



# Apprentissage non supervisé



Christophe Raymond

14/32

FIGURE 2.8 – L'apprentissage non supervisé.

## 2.9 l'algorithme d'apprentissage :

L'algorithme d'apprentissage est la méthode mathématique qui va modifier les poids de connexions afin de converger vers une solution qui permettra au réseau d'accomplir la tâche désirée. L'apprentissage est une méthode d'identification paramétrique qui permet d'optimiser les valeurs des poids du réseau.

Plusieurs algorithmes itératifs peuvent être mis en œuvre, parmi lesquels on note : l'algorithme de rétropropagation, la Méthode Quasi-Newton, Algorithme de BFGS etc. ....

### **Le plus connu c'est l'Algorithme de rétropropagation :**

L'algorithme de rétropropagation (ARP) ou de propagation arrière « backpropagation » est l'exemple d'apprentissage supervisé le plus utilisé à cause de l'écho médiatique de certaines applications spectaculaires telles que la démonstration de Sejnowski et Rosenberg (1987) dans laquelle l'ARP est utilisé dans un système qui apprend à lire un texte. Un autre succès fut la prédiction des cours du marché boursier et plus récemment la détection de la fraude dans les opérations par cartes de crédit.

La technique de rétropropagation du gradient (Backpropagation en anglais) est une méthode qui permet de calculer le gradient de l'erreur pour chaque neurone du réseau, de la dernière couche vers la première. L'historique des publications montre que l'ARP a été découvert indépendamment par différents auteurs mais sous différentes appellations. Le principe de la rétropropagation peut être décrit en trois étapes fondamentales : acheminement de l'information à travers le réseau ; rétropropagation des sensibilités et calcul du gradient ; ajustement des paramètres par la règle du gradient approximé. Il est important de noter que l'ARP souffre des limitations inhérentes à la technique du gradient à cause du risque d'être piégé dans un minimum local. Il suffit que les gradients ou leurs dérivées soient nuls pour que le réseau se retrouve bloqué dans un minimum local. Ajoutons à cela la lenteur de convergence surtout lorsqu'on traite des réseaux de grande taille (c'est à dire pour lesquels le nombre de poids de connexion à déterminer est important).

Pour rendre l'optimisation plus performante, on peut utiliser des méthodes de second ordre telles que les méthodes dites de Quasi-Newton ou de Newton modifiée [22].

## 2.10 Le perceptron multicouche pour la prévision :

En supposant qu'il existe une série chronologique contenant des observations ( $X_1, X_2, X_3, \dots, X_{n-1}, X_n$ ) et prédit les valeurs futures de la variable  $X_{n+1}, X_{n+2}$ , c'est à-dire les valeurs de recherche, et que la série est définie comme l'existence d'un nombre réel appelé  $P$  dimension et que la fonction  $f$  soit :  $t > p \quad X(t) = f(x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-p}) \dots \dots \dots (2)$  La prévision consiste donc en  $N$  des valeurs pour une série temporelle donnée. Et ensuite calculer la fonction logistique  $Y_t =$  utilisée dans la conversion des données au linéaire [23].

## 2.11 Conclusion :

En conclusion, les réseaux de neurones offrent des perspectives prometteuses pour résoudre des problèmes complexes et pour améliorer les performances des systèmes intelligents. Leur potentiel est encore en expansion grâce aux avancées constantes dans le domaine de l'apprentissage automatique et de l'intelligence artificielle.

Sommaire

---

<b>3.1</b>	<b>Introduction :</b> . . . . .	<b>22</b>
<b>3.2</b>	<b>L'objectif de système de prévision de la consommation de la charge électrique :</b> . . . . .	<b>22</b>
<b>3.3</b>	<b>La technique utilisée dans le système existant :</b> . . . . .	<b>22</b>
<b>3.4</b>	<b>Modèle Neuronal proposé :</b> . . . . .	<b>23</b>
3.4.1	Architecture : . . . . .	23
<b>3.5</b>	<b>La conception d'application :</b> . . . . .	<b>25</b>
3.5.1	Choix UML comme outil de modélisation : . . . . .	25
<b>3.6</b>	<b>L'environnement de conception :</b> . . . . .	<b>43</b>
3.6.1	Star UML : . . . . .	43
<b>3.7</b>	<b>Conclusion :</b> . . . . .	<b>44</b>

---

### 3.1 Introduction :

Avant de commencer le développement d'une application web, il est essentiel de réaliser une analyse approfondie et d'élaborer une conception qui permet de formaliser les étapes préliminaires du processus. Cela garantit que le développement de l'application correspond au mieux aux besoins spécifiques du web. La phase d'analyse a pour objectif de recenser les résultats attendus en termes de fonctionnalités. La phase de conception, quant à elle, consiste en une description générale, souvent basée sur le langage, du fonctionnement futur du système, afin de faciliter sa réalisation. Dans ce chapitre nous avons décrits l'architecture de notre application et les diagrammes d'UML ainsi que le diagramme de cas d'utilisation ; le diagramme de classe et les diagrammes de séquences.

### 3.2 L'objectif de système de prévision de la consommation de la charge électrique :

La prévision de la consommation d'électricité peut servir à atteindre divers objectifs, notamment l'amélioration de l'efficacité énergétique, la diminution des dépenses et la garantie d'un approvisionnement électrique stable. Voici quelques exemples d'objectifs associés à la prévision de la consommation électrique :

- Prévision : Un objectif d'un système de prévision de la consommation d'électricité est de fournir des prévisions précises de la demande future en électricité. Par exemple, RTE Portail Services en France utilise des prévisions météorologiques pour prédire la consommation d'électricité pour le lendemain [24].
- Surveillance en temps réel : Un autre objectif est de surveiller la consommation d'électricité en temps réel [25].
- Gestion de l'énergie : Un système de prévision de la consommation d'électricité peut également aider à gérer l'utilisation de l'énergie de manière plus efficace. Par exemple, Sia Partners fournit des outils pour industrialiser les modèles de prévision et intégrer les contraintes métier afin d'optimiser la production et la consommation d'énergie [26].
- Équilibrage des charges : La prévision de la consommation d'électricité peut aider à équilibrer la charge sur le réseau électrique et assurer un approvisionnement stable en électricité [27].
- Conservation de l'énergie : La prévision de la consommation d'électricité peut également aider à promouvoir la conservation de l'énergie en encourageant les consommateurs à réduire leur consommation pendant les périodes de forte demande [25].

En résumé, l'utilisation d'un système de prévision de la consommation d'électricité permet d'améliorer l'efficacité énergétique, de réduire les coûts et de garantir un approvisionnement électrique stable en fournissant des prévisions précises, une surveillance en temps réel, une répartition équilibrée des charges, une gestion efficace de l'énergie et une promotion de la conservation de l'énergie.

### 3.3 La technique utilisée dans le système existant :

Suite à notre sortie de terrain au sein de l'entreprise « Sonelgaz » on a constaté que Chaque année, la réserve que Sonelgaz utilise augmente la valeur de 4%, et c'est une précaution en prévision que si dans chaque maison leur consommation d'électricité augmente, par exemple, l'introduction d'un nouvel appareil et ainsi de suite, ce pourcentage couvre cette consommation et n'entraîne pas la pression qui provoque la coupure de l'électricité.

### 3.4 Modèle Neuronal proposé :

#### 3.4.1 Architecture :

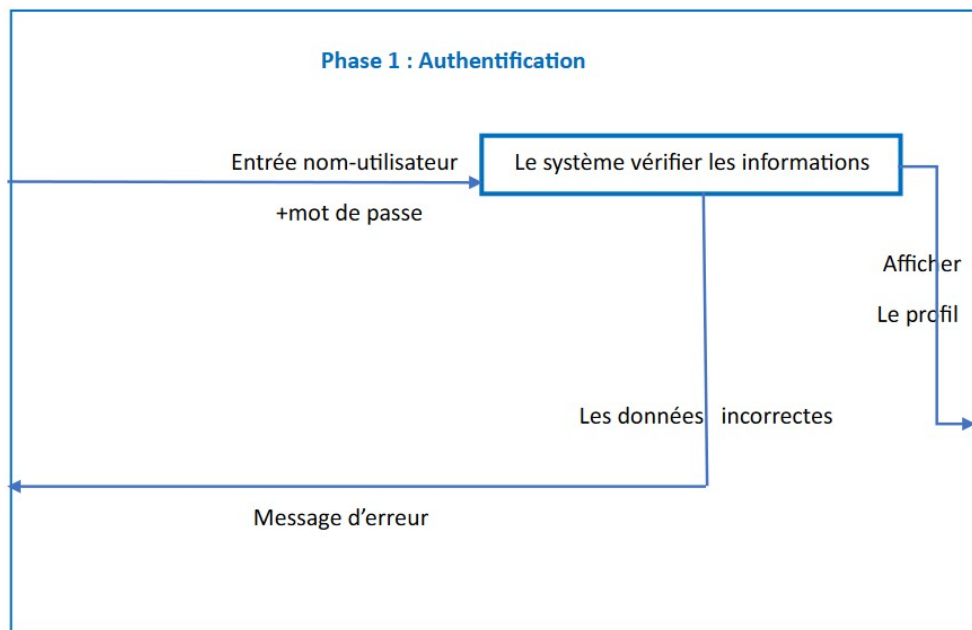


FIGURE 3.1 – 1ère phase.

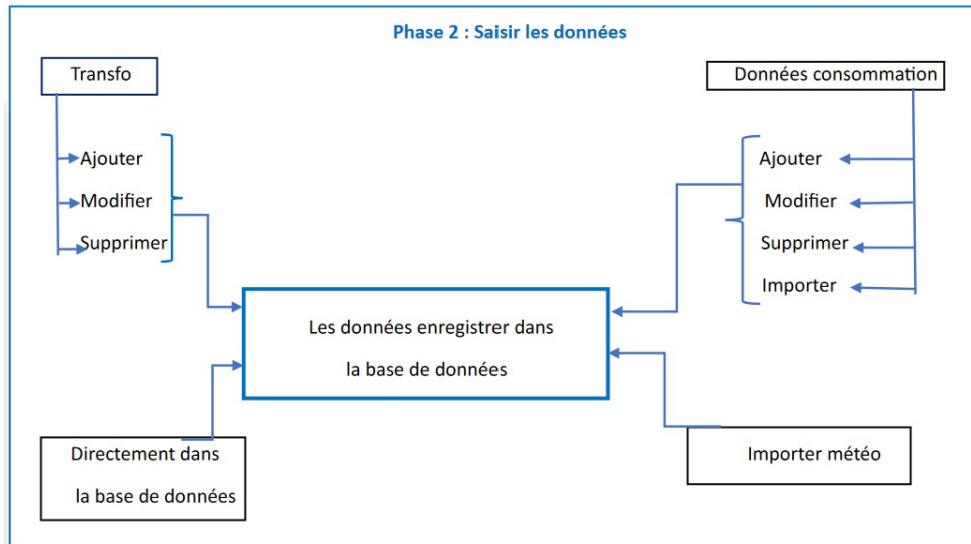


FIGURE 3.2 – 2ème Phase.

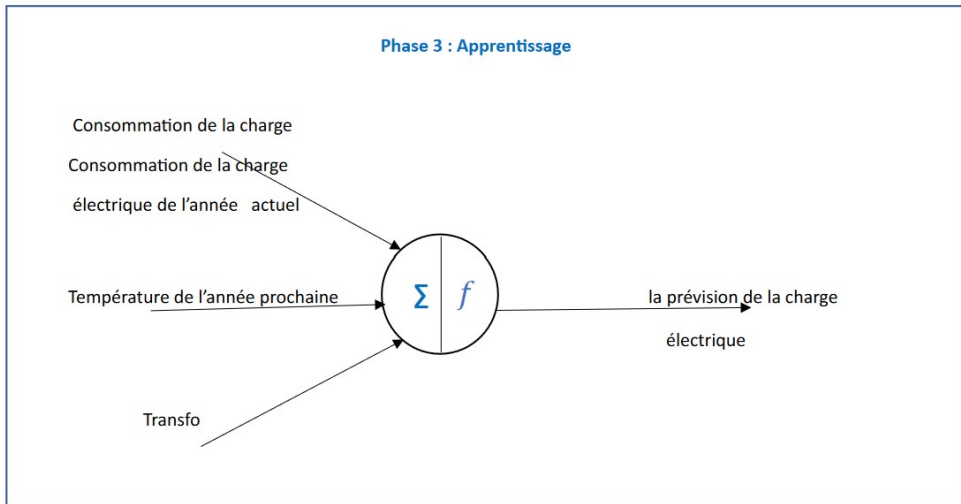


FIGURE 3.3 – 3ème phase.

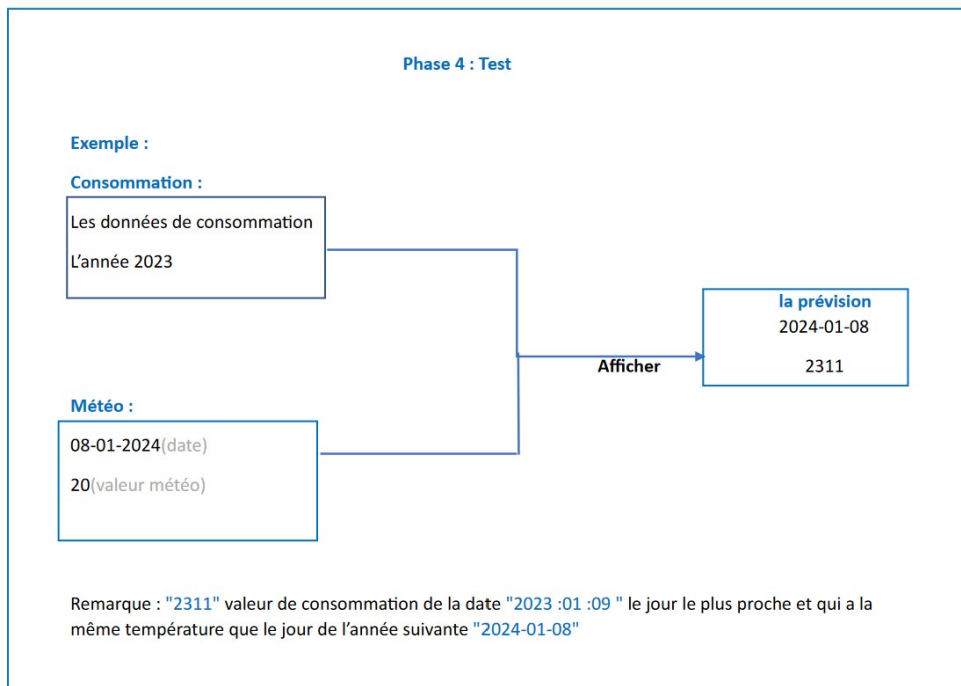


FIGURE 3.4 – 4ème Phase.

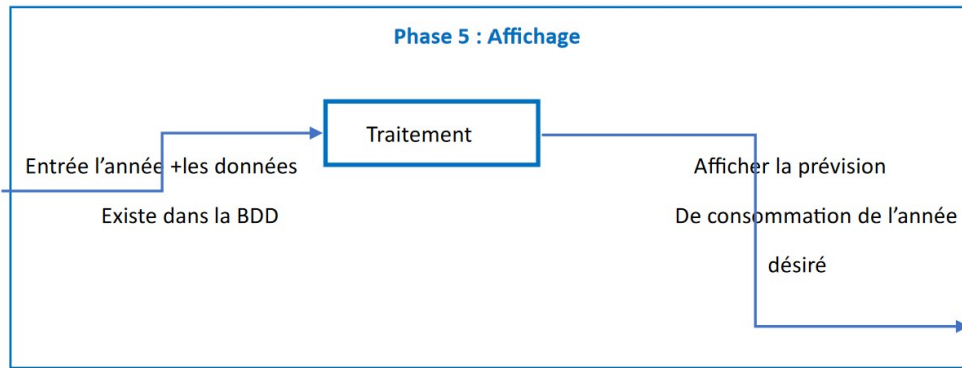


FIGURE 3.5 – 5ème Phase.

## 3.5 La conception d'application :

### 3.5.1 Choix UML comme outil de modélisation :

Le langage UML (Unified Modeling Language, ou langage de modélisation unifié) a été pensé pour être un langage de modélisation visuelle commun, et riche sémantiquement et syntaxiquement. Il est destiné à l'architecture, la conception et la mise en œuvre de systèmes logiciels complexes par leur structure aussi bien que leur comportement. UML a des applications qui vont au-delà du développement logiciel, notamment pour les flux de processus dans l'industrie, c'est un langage graphique de modélisation des données et des traitements destiné aux projets d'entreprises désirant édifier ou modifier tout ou partie de leur système d'information ou développer des logiciels applicatifs. Le langage UML sera utilisé pour modéliser et standardiser notre problématique [28].

**Les diagrammes d'UML :**

— **Le diagramme de cas d'utilisation :**

Le diagramme de cas d'utilisation permet d'identifier les possibilités d'interaction entre le système et les acteurs, c'est-à-dire toutes les fonctionnalités que doit fournir le système.

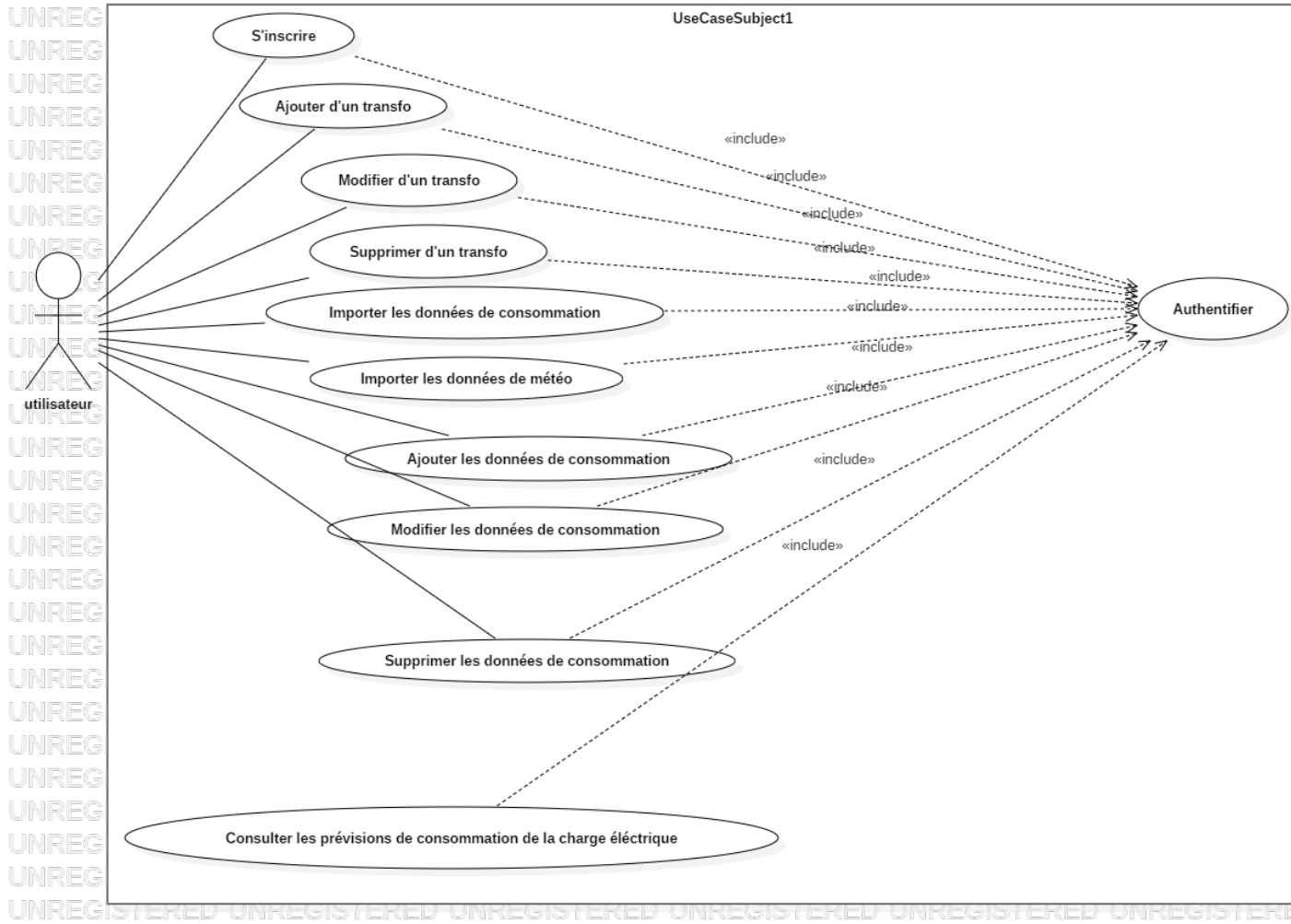


FIGURE 3.6 – Le diagramme de cas d'utilisation.

### Description textuelle des cas d'utilisation :

Pour rendre notre diagramme des cas d'utilisation plus lisible et afin de décrire le comportement d'un système, les concepteurs d'UML proposent l'utilisation d'une technique nommée la description textuelle des cas d'utilisation.

#### 1. Cas d'utilisation « authentifier » :

Nom du cas d'utilisation	Authentifier
Objectif	Ce cas permet à l'utilisateur (Administrateur, Utilisateur) de s'identifier auprès du système et d'accéder aux fonctionnalités qui lui sont attribuées.
Acteurs	Administrateur, Utilisateur.
Pré-condition	Existence des données dans la base de données
Scénario nominal	(a) Se connecter (b) L'utilisateur insère les informations puis clique sur connexion (c) Le système vérifie les informations insérées (d) Valider et afficher la page d'accueil
Scénario alternatif	(a) A1-les informations entrées sont erronés (b) L'enchaînement A1 démarre au point <b>(c)</b> du scénario nominal (c) le système indique à l'utilisateur que les informations sont erronées (avec un message) (d) Reprendre au point <b>(b)</b> du scénario nominal
Post - condition	Affichage de la page d'accueil de l'utilisateur authentifié

TABLEAU 3.1 – Description de cas d'utilisation Authentifier.

## 2. Cas d'utilisation « s'inscrire » :

Nom du cas d'utilisation	S'inscrire
Objectif	Ça cas permet à l'Utilisateur de crée un compte
Acteurs	Utilisateur.
Pré-condition	Authentication.
Scénario nominal	<ul style="list-style-type: none"> <li>(a) choisissez la page 'éléments de base'</li> <li>(b) L'utilisateur insère les informations puis clique sur inscription.</li> <li>(c) Le système vérifie les informations insérées</li> <li>(d) Valider et ajouter le compte dans la base de données.</li> </ul>
Scénario alternatif	<ul style="list-style-type: none"> <li>— A1-les informations entrées sont erronés</li> <li>— L'enchaînement A1 démarre au point <b>(b)</b> du scénario nominal</li> <li>— le système indique à l'utilisateur que les informations sont erronées (avec un message)</li> </ul>
Post - condition	Enregisterer le compte dans la base de données

TABLEAU 3.2 – Description de cas d'utilisation S'inscrire.

### 3. Cas d'utilisation « ajouter d'un transfo : »

Nom du cas d'utilisation	Ajouter d'un transfo
Objectif	Ce cas permet à l'administrateur d'ajouter un nouveau transfo à la base de données.
Acteurs	Administrateur, Utilisateur.
Pré-condition	Authentification
Scénario nominal	<ul style="list-style-type: none"> <li>(a) choisissez la page 'éléments de base'</li> <li>(b) Saisir les informations désirées de transfo</li> <li>(c) Choisir option ajouter</li> <li>(d) Le système vérifie les informations</li> <li>(e) Enregistrer le transfo dans la base de données</li> </ul>
Scénario alternatif	<ul style="list-style-type: none"> <li>— A1 : les informations entrées par l'utilisateur sont incorrectes</li> <li>— L'enchaînement A1 commence au point <b>(d)</b></li> <li>— le système envoie un message d'erreur</li> </ul>
Post - condition	Le système enregistre le nouveau transfo

TABLEAU 3.3 – Description de cas d'utilisation Ajouter d'un transfo.

#### 4. Cas d'utilisation « Modifier d'un transfo : »

Nom du cas d'utilisation	Modifier d'un transfo
Objectif	Ça cas permet à l'utilisateur de modifier les informations d'un transfo
Acteurs	Administrateur, Utilisateur.
Pré-condition	Authentification
Scénario nominal	<ul style="list-style-type: none"> <li>(a) choisissez la page 'éléments de base'</li> <li>(b) Sélectionner le transfo désiré</li> <li>(c) Afficher les informations de transfo</li> <li>(d) Modifier les informations</li> <li>(e) Choisir option modification</li> <li>(f) Le système vérifie les informations</li> <li>(g) Enregistrer les informations désirées de transfo dans la base de données.</li> </ul>
Scénario alternatif	<ul style="list-style-type: none"> <li>— A1 : les informations entrées par l'utilisateur sont incorrectes</li> <li>— L'enchaînement A1 démarre au point <b>(f)</b> du scénario nominal</li> <li>— le système envoie un message d'erreur</li> </ul>
Post - condition	Le système modifie et enregistre les nouvelles informations de transfo.

TABLEAU 3.4 – Description de cas d'utilisation Modifier d'un transfo.

### 5. Cas d'utilisation « Supprimer d'un transfo : »

Nom du cas d'utilisation	Supprimer d'un transfo
Objectif	Ce cas permet à l'utilisateur de faire une suppression d'un transfo qui est n'est plus nécessaire dans la base de données
Acteurs	Administrateur, Utilisateur.
Pré-condition	Authentification
Scénario nominal	<ul style="list-style-type: none"> <li>(a) choisissez la page 'éléments de base'</li> <li>(b) Sélectionner le transfo à supprimer</li> <li>(c) Supprimer le transfo désiré</li> </ul>
Scénario alternatif	Aucun.
Post - condition	Le système supprime les données sélectionnées dans la base de données.

TABLEAU 3.5 – Description de cas supprimer d'un transfo .

### 6. Cas d'utilisation « Importer les données de consommation : »

Nom du cas d'utilisation	Importer les données de consommation
Objectif	Ce cas permet à l'utilisateur d'importer les données de consommation comme un fichier texte
Acteurs	Administrateur, Utilisateur.
Pré-condition	Authentification.
Scénario nominal	<ul style="list-style-type: none"> <li>(a) choisissez la page 'Traitement'</li> <li>(b) L'utilisateur clique sur le bouton importer consommation</li> <li>(c) Le fichier est importé</li> </ul>
Scénario alternatif	<ul style="list-style-type: none"> <li>— A1-problème de téléchargement de fichier sur la base de données</li> <li>— le système envoie un message d'erreur</li> </ul>
Post - condition	Le système enregistrée les données de consommation dans la base de données.

TABLEAU 3.6 – Description de cas d'utilisation Importer les données de consommation.

## 7. Cas d'utilisation « Importer les données de météo : »

Nom du cas d'utilisation	Importer les données de météo
Objectif	Ce cas permet à l'utilisateur d'importer les données de météo comme un fichier texte
Acteurs	Administrateur, Utilisateur.
Pré-condition	Authentication.
Scénario nominal	<ul style="list-style-type: none"> <li>(a) choisissez la page 'Traitement'</li> <li>(b) L'utilisateur clique sur le bouton importer météo</li> <li>(c) Le fichier est importé</li> </ul>
Scénario alternatif	<ul style="list-style-type: none"> <li>— A1-problème de téléchargement de fichier sur la base de données</li> <li>— le système envoie un message d'erreur</li> </ul>
Post - condition	Le système enregistrée les données de météo dans la base de données.

TABLEAU 3.7 – Description de cas d'utilisation Importer les données de météo.

## 8. Cas d'utilisation « Ajouter les données de consommation : »

Nom du cas d'utilisation	Ajouter les données de consommation
Objectif	Ce cas permet à l'administrateur d'ajouter les données de consommation à la base de données.
Acteurs	Administrateur, Utilisateur.
Pré-condition	Authentification
Scénario nominal	<ul style="list-style-type: none"> <li>(a) choisissez la page 'Traitement'</li> <li>(b) Choisir option ajouter</li> <li>(c) Saisir les informations désirées de consommation</li> <li>(d) Choisir option ajouter</li> <li>(e) Le système vérifie les informations</li> <li>(f) Enregistrer les données de consommation dans la base de données</li> </ul>
Scénario alternatif	<ul style="list-style-type: none"> <li>— A1 : les informations entrées par l'utilisateur sont incorrectes</li> <li>— L'enchaînement A1 commence au point <b>(e)</b></li> <li>— le système envoie un message d'erreur et reprend au point <b>(c)</b></li> </ul>
Post - condition	Le système enregistre les données de consommation dans la base de données.

TABLEAU 3.8 – Description de cas d'utilisation Ajouter les données de consommation.

### 9. Cas d'utilisation « Modifier les donnée de consommation : »

Nom du cas d'utilisation	Modifier les données de consommation
Objectif	Ça cas permet à l'utilisateur de modifier les informations de consommation
Acteurs	Administrateur, Utilisateur.
Pré-condition	Authentification
Scénario nominal	<ul style="list-style-type: none"> <li>(a) choisissez la page 'Traitement'</li> <li>(b) Afficher les informations de consommation</li> <li>(c) Sélectionner les informations désirées</li> <li>(d) Modifier les informations</li> <li>(e) Choisir option modification</li> <li>(f) Le système vérifie les informations</li> <li>(g) Enregistrer les informations désirées dans la base de données.</li> </ul>
Scénario alternatif	<ul style="list-style-type: none"> <li>— A1 : les informations entrées par l'utilisateur sont incorrectes</li> <li>— L'enchaînement A1 démarre au point <b>(f)</b> du scénario nominal</li> <li>— le système envoie un message d'erreur</li> </ul>
Post - condition	Le système modifie et enregistre les nouvelles informations de consommation dans la base de données.

TABLEAU 3.9 – Description de cas d'utilisation Modifier les données de consommation.

### 10. Cas d'utilisation « Supprimer les données de consommation »

Nom du cas d'utilisation	Supprimer les données de consommation
Objectif	Ce cas permet à l'utilisateur de supprimer des données sans importance dans la base de données.
Acteurs	Administrateur, Utilisateur.
Pré-condition	Authentification
Scénario nominal	<ul style="list-style-type: none"> <li>(a) choisissez la page 'Traitement'</li> <li>(b) Sélectionner les données à supprimer</li> <li>(c) Supprimer les données désirées</li> </ul>
Scénario alternatif	Aucun.
Post - condition	Le système supprime les données sélectionnées dans la base de données.

TABLEAU 3.10 – Description de cas d'utilisation Supprimer les données de consommation.

### 11. Cas d'utilisation « Consultez les prévisions de consommation de la charge électrique : »

Nom du cas d'utilisation	Consultez les prévisions de consommation de la charge électrique
Objectif	Ça cas permet à l'utilisateur de visualiser la charge électrique pour l'année suivante.
Acteurs	Administrateur, Utilisateur.
Pré-condition	Authentification
Scénario nominal	<ul style="list-style-type: none"> <li>(a) choisissez la page 'affichage'</li> <li>(b) choisissez l'option afficher</li> <li>(c) afficher le resultat</li> </ul>
Scénario alternatif	le système envoie un message d'erreur.
Post - condition	Le système affiche la consommation de la charge électrique pour l'année suivante

TABLEAU 3.11 – Description de cas d'utilisation Consultez les prévisions de consommation de la charge électrique.

— **Les diagrammes de séquence :**

Le diagramme de séquence représente le déroulement séquentiel des traitements et des interactions entre les éléments du système et /ou de ses acteurs.

1. Cas d'utilisation « Authentifier » :

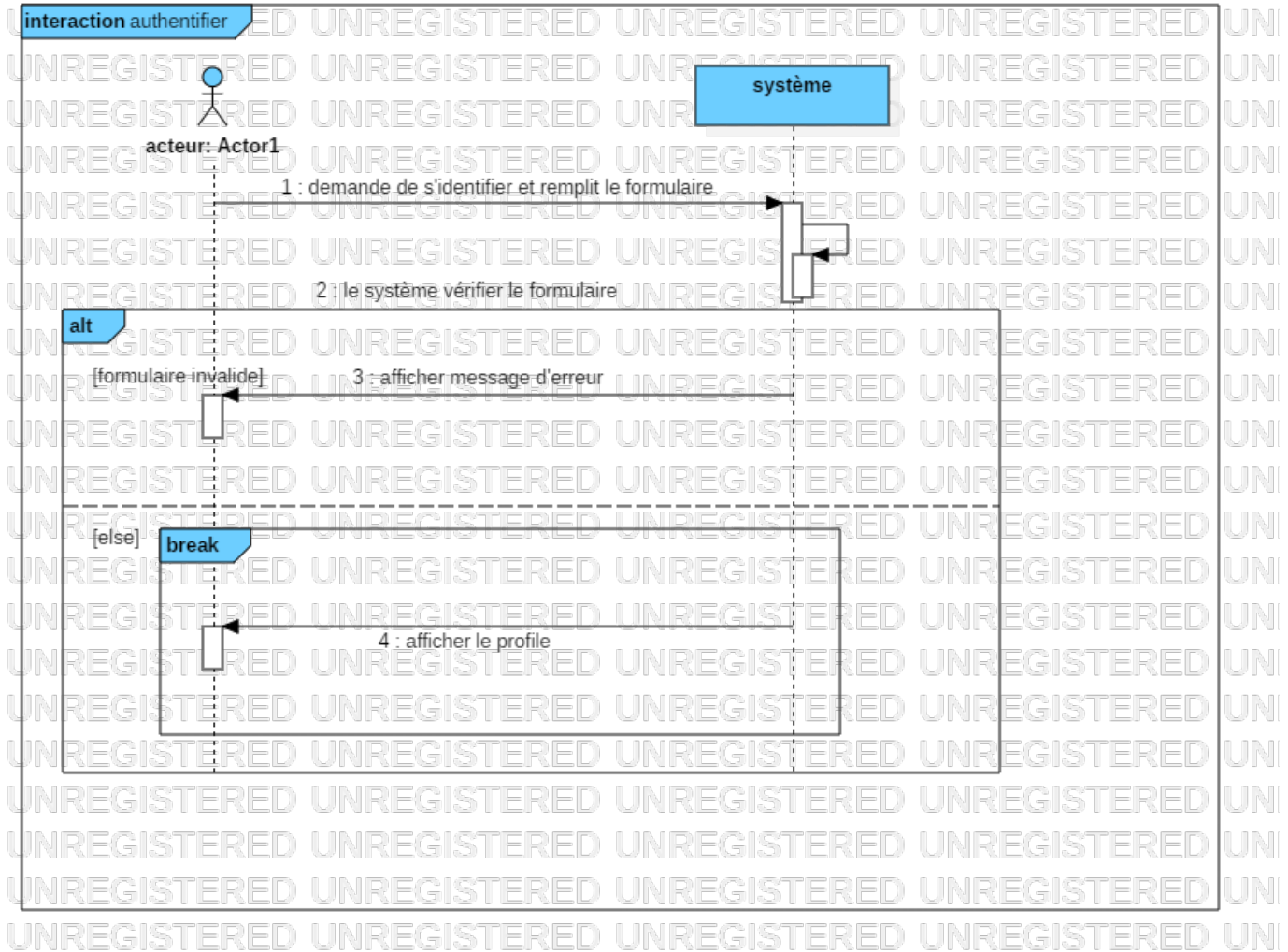


FIGURE 3.7 – Le diagramme de séquence de cas authentifier.

## 2. Cas d'utilisation « Sinscrire » :

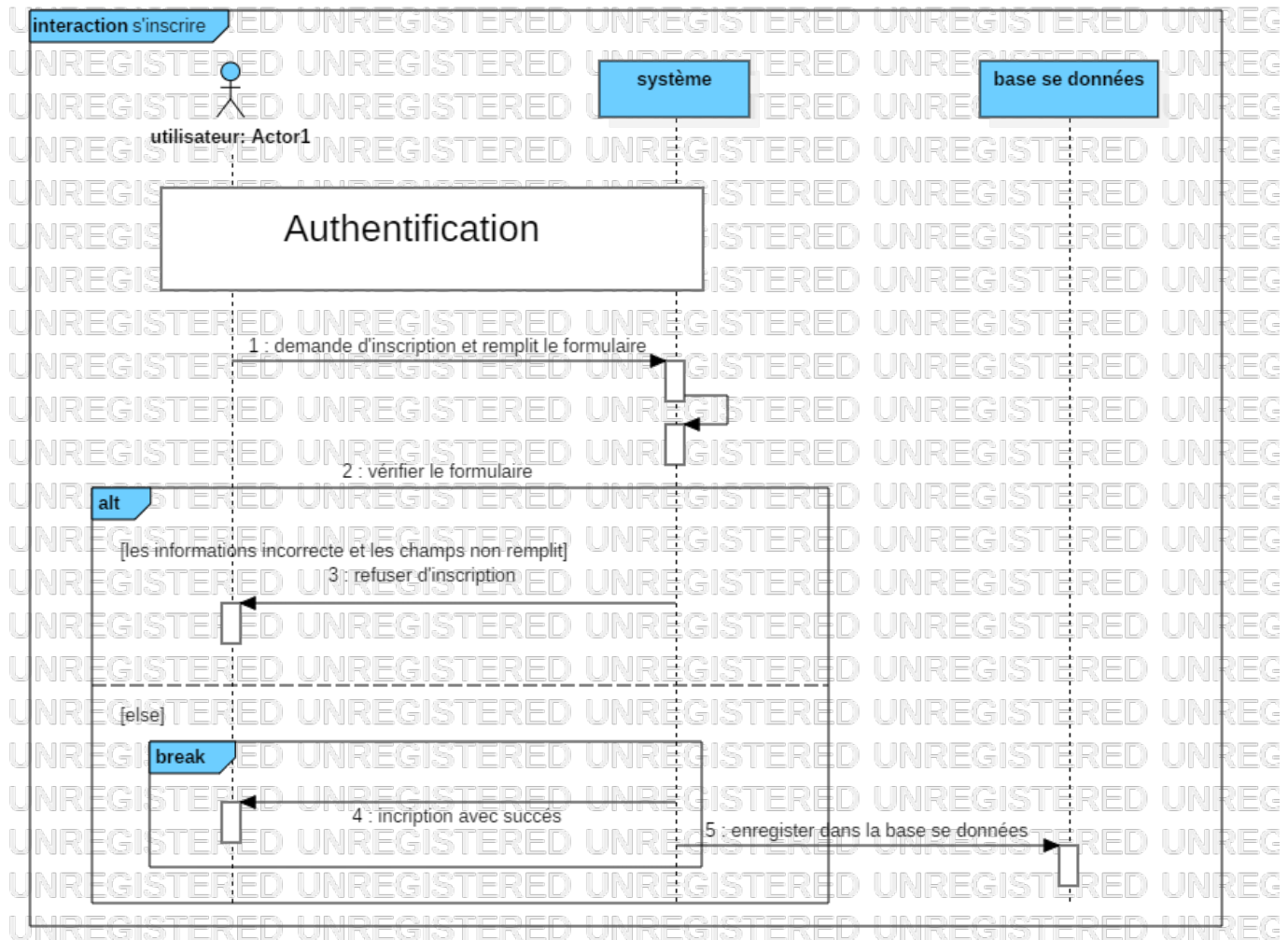


FIGURE 3.8 – Le diagramme de séquence de cas s’inscrire.

3. Cas d'utilisation « Importer les données de consommation » :

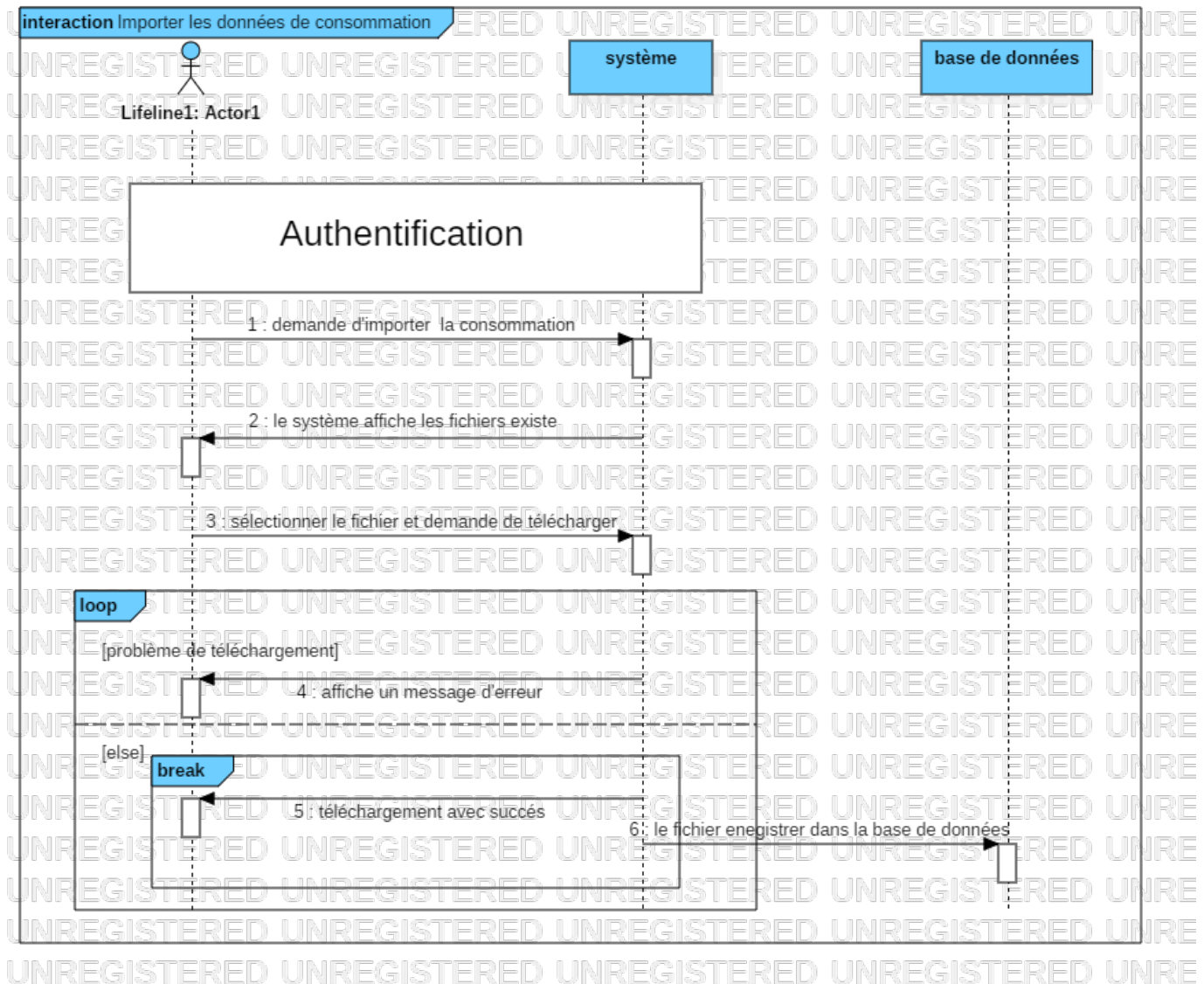


FIGURE 3.9 – Le diagramme de séquence de cas importer les données de consommation.

**Remarque :** c'est le même diagramme pour le cas (Importer les données de météo).

4. Cas d'utilisation « Supprimer d'un transfo » :

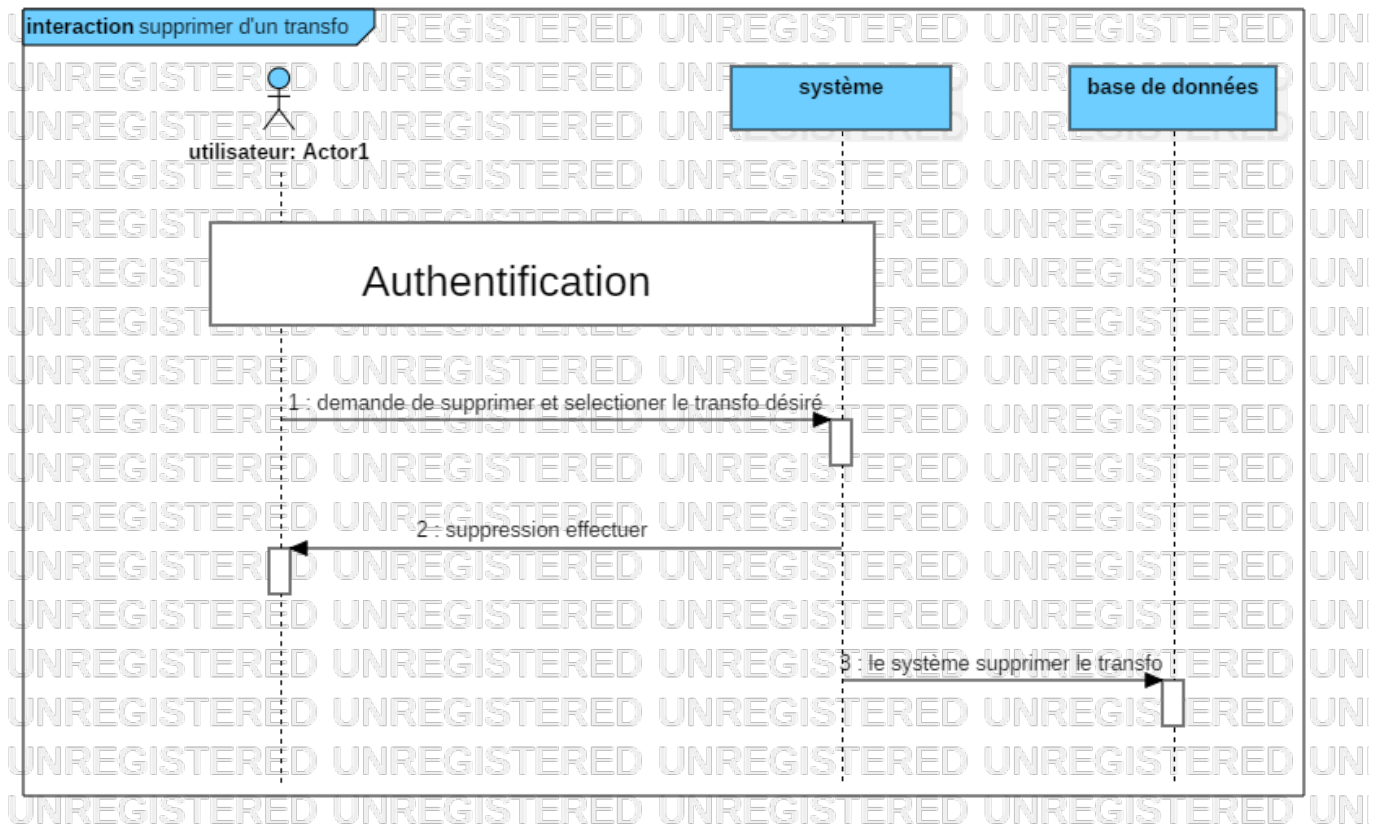


FIGURE 3.10 – Le diagramme de séquence de cas supprimer d'un transfo.

**Remarque :** c'est le même diagramme pour le cas (supprimer les données de consommation).

5. Cas d'utilisation « Modifier d'un transfo » :

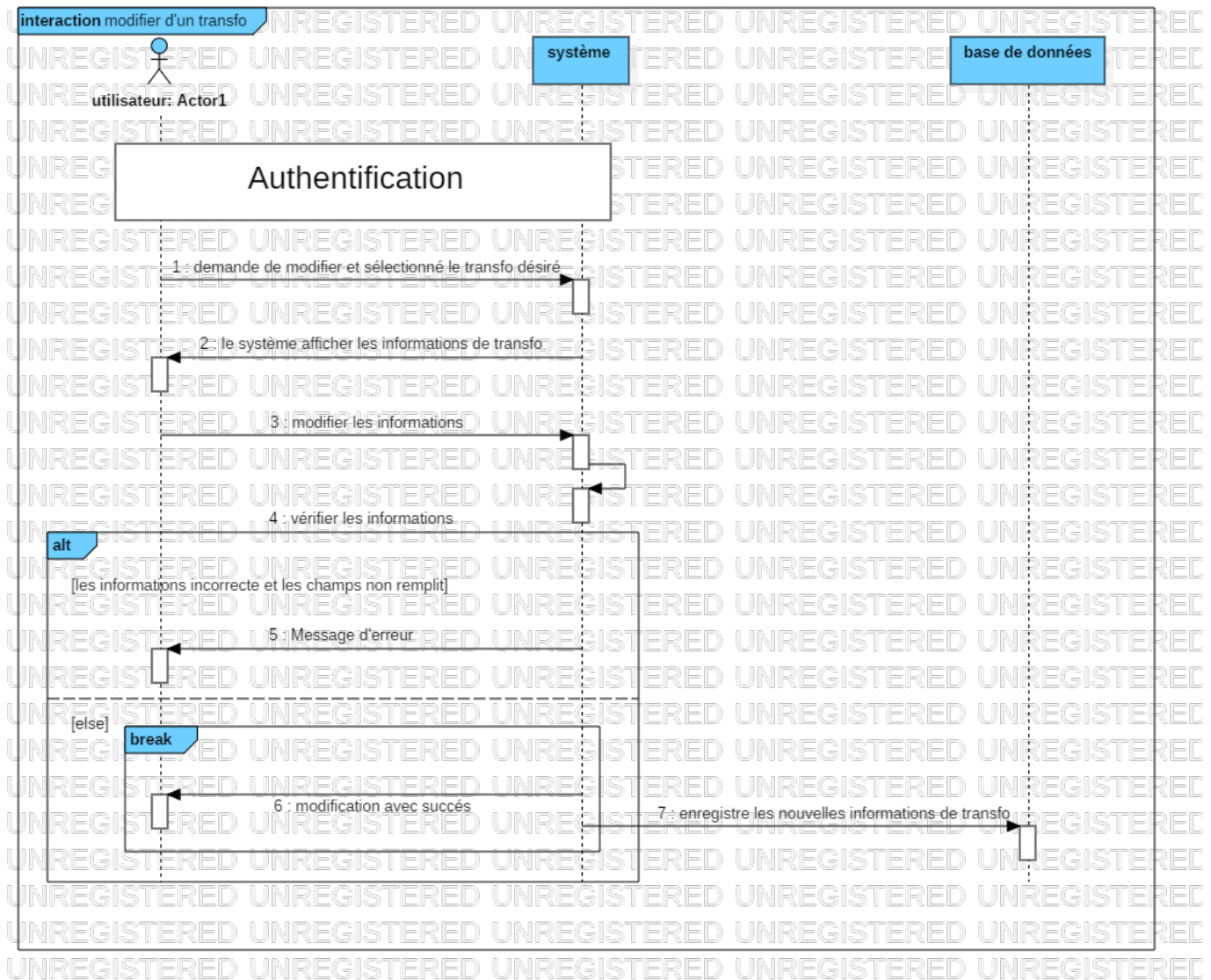


FIGURE 3.11 – Le diagramme de séquence de cas modifier d'un transfo.

**Remarque :** c'est le même diagramme pour le cas (Modifier les données de consommation).

## 6. Cas d'utilisation « Ajouter d'un transfo »

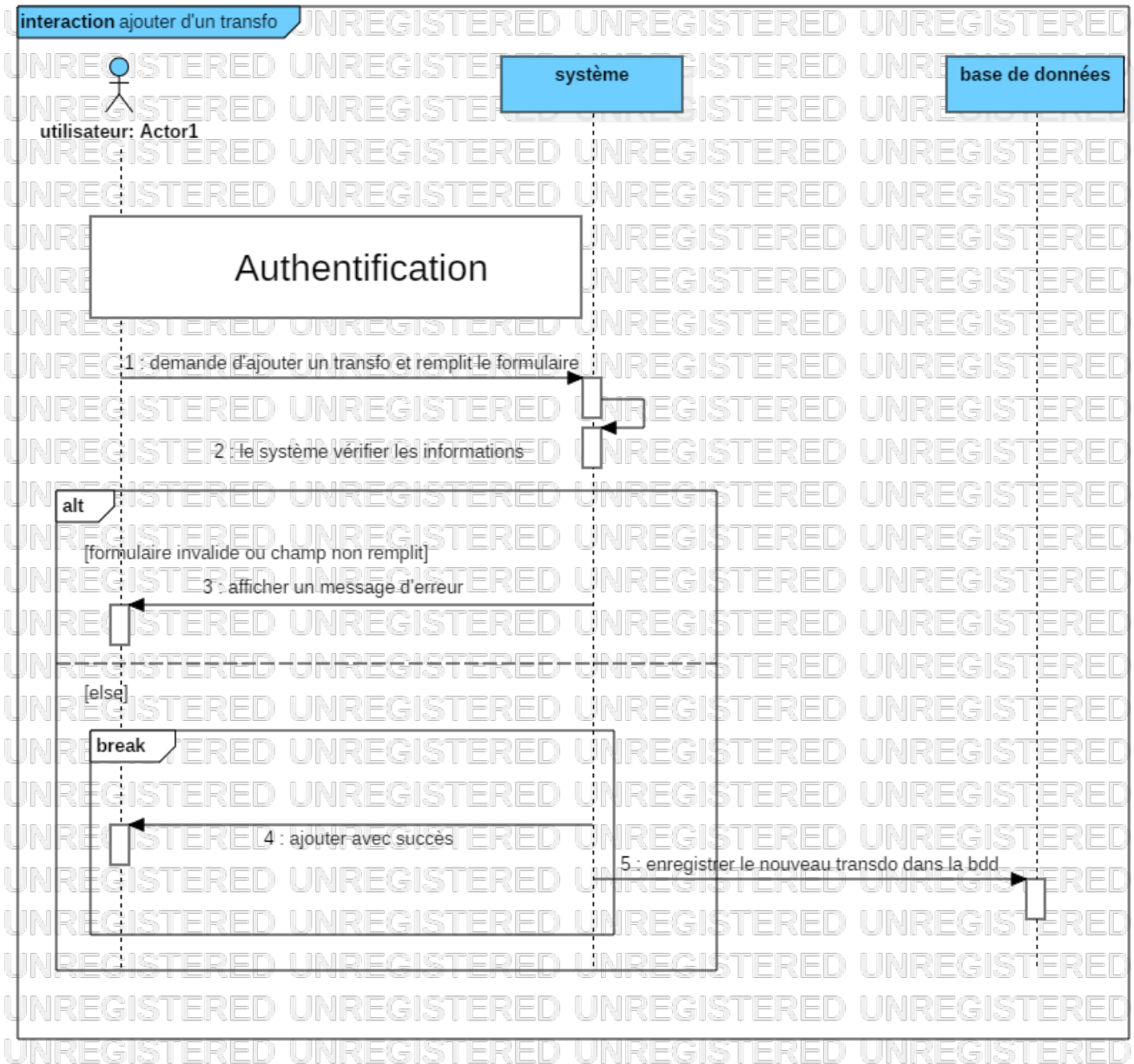


FIGURE 3.12 – Le diagramme de séquence de cas ajouter d'un transfo.

**Remarque :** c'est le même diagramme pour le cas (Ajouter les données de consommation).

7. Cas d'utilisation « Consulter les prévisions de consommation » :

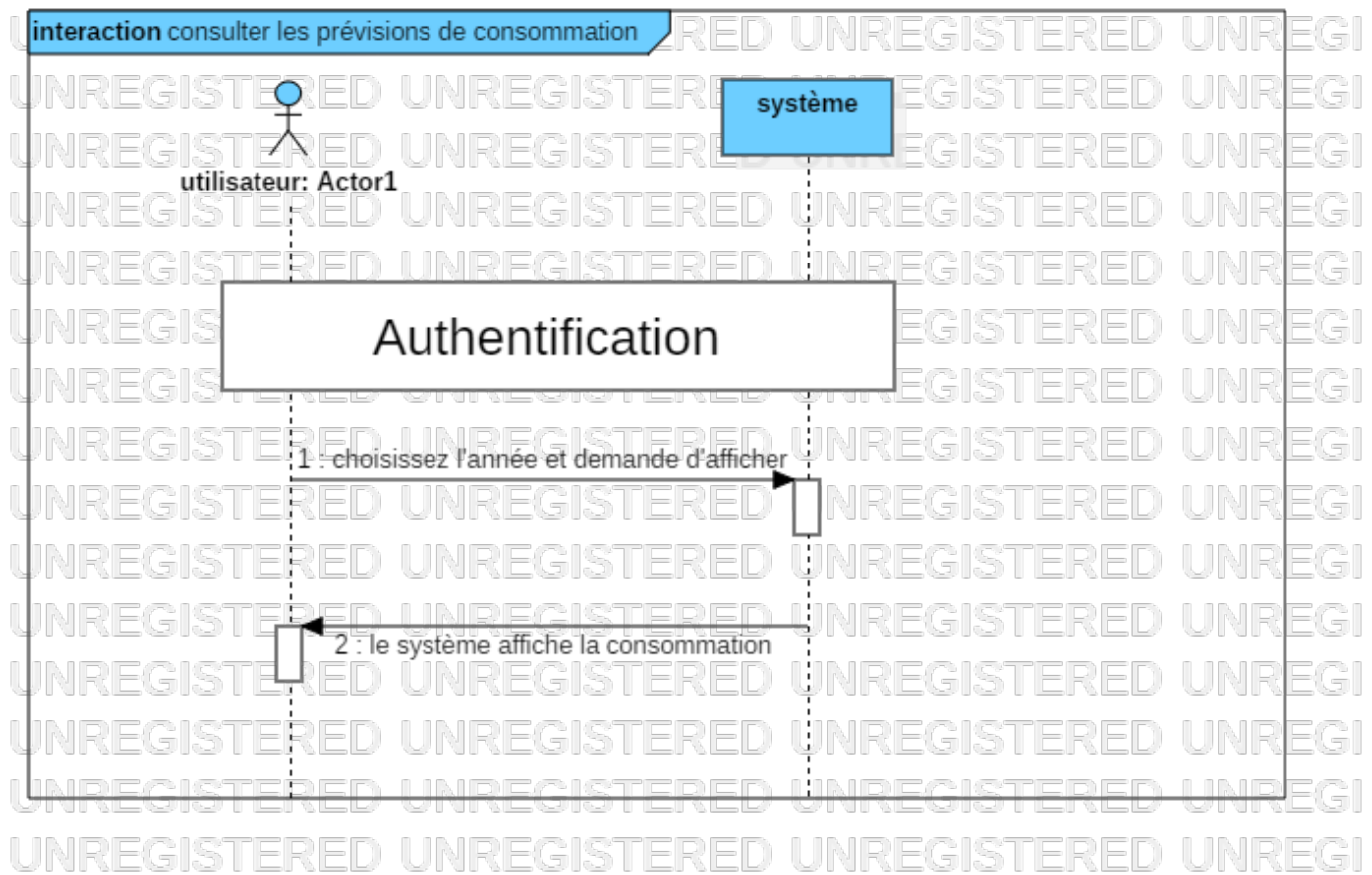


FIGURE 3.13 – Le diagramme de séquence de cas consulter les prévisions de consommation .

— **Le diagramme de classe :**

Le modèle des classes d'UML saisit la structure statistique d'un système en montrant les objets, les attributs et les opérations qui caractérisent chaque classe d'objets.

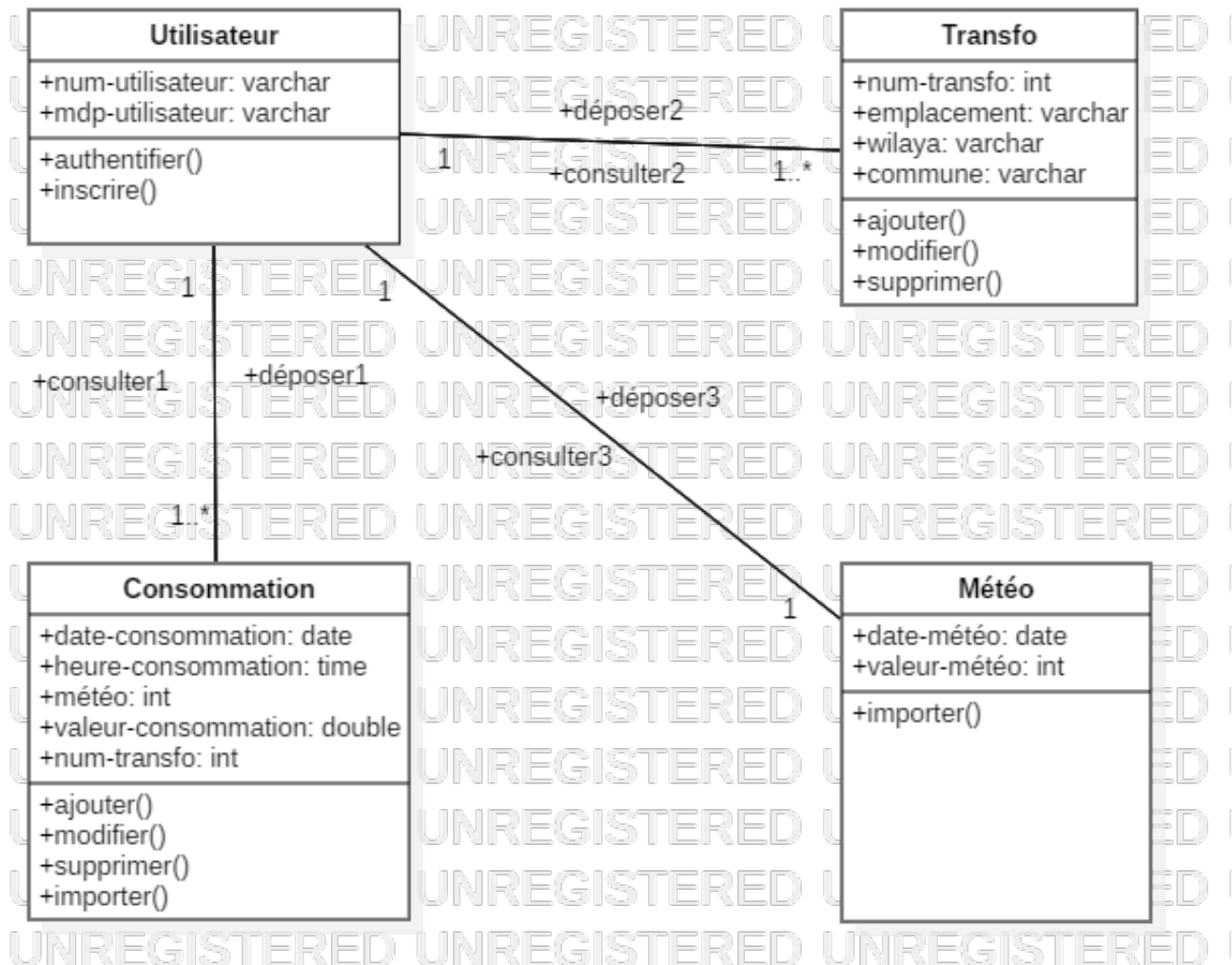


FIGURE 3.14 – Le diagramme de classe.

### 3.6 L'environnement de conception :

#### 3.6.1 Star UML :

StarUML est un logiciel de modélisation UML (Unified Modeling Language) open source qui peut remplacer dans bien des situations des logiciels commerciaux et coûteux comme Rational Rose1 ou Together2 . Étant simple d'utilisation, nécessitant peu de ressources système, supportant UML 2, ce logiciel constitue une excellente option pour une familiarisation à la modélisation. Cependant, seule une version Windows est disponible [29].



FIGURE 3.15 – Star UML logo.

### 3.7 Conclusion :

Ce chapitre se focalise sur les aspects analytiques et conceptuels de notre application, en utilisant le langage de conception UML. Dans la phase d'analyse, nous avons défini le diagramme de cas d'utilisation, tandis que pour la conception, nous avons élaboré les diagrammes de séquence et de classe.

Le chapitre suivant sera dédié à la mise en œuvre concrète de notre application, mettant en lumière les différentes fonctionnalités qu'elle propose. Nous aborderons les aspects de réalisation, en décrivant les étapes de développement et les choix technologiques effectués. De plus, nous explorerons en détail les fonctionnalités spécifiques de l'application et leur intégration dans l'ensemble du système.

Ce passage permet de souligner l'importance de la transition du stade conceptuel à la phase de réalisation, où l'application prendra vie et offrira des fonctionnalités concrètes aux utilisateurs.

Sommaire

---

<b>4.1</b>	<b>Introduction :</b>	<b>46</b>
<b>4.2</b>	<b>Les outils de développement :</b>	<b>46</b>
4.2.1	Les outils matériels :	46
4.2.2	Les outils logiciels :	46
4.2.3	Les langages de développement :	48
<b>4.3</b>	<b>Les différentes interfaces de notre application :</b>	<b>49</b>
<b>4.4</b>	<b>Conclusion :</b>	<b>52</b>

---

## 4.1 Introduction :

Le but principal de ce chapitre est de montrer le résultat final. Il se compose de deux parties : la première partie présente les outils de développement matériels et logiciels et les langages utilisés, et la deuxième partie présente certaines interfaces de notre application.

## 4.2 Les outils de développement :

### 4.2.1 Les outils matériels :

Nous avons choisi ces outils de développement matériels suivant :

matériels	PC LENOVO	Mac BOOK Pro
Processeur	Intel(R) Core(TM) i5-3320M CPU @ 2.60 GHz, 2601 MHz	Intel(R) Core(TM) i7-5557U CPU @ 3.10 GHz, 2601 MHz
Mémoire RAM	4,00Go	16.00 GB
Système	Windows 7	windows 10 Pro

TABLEAU 4.1 – Matériels utilisé.

### 4.2.2 Les outils logiciels :

Pour obtenir une application utilisable, nous avons choisi les outils de développement suivant :

#### 1. NetBeans :

NetBeans est un environnement de développement intégré (EDI), placé en open source par Sun en juin 2000 sous licence CDDL et GPLv2 (Common Development and Distribution License). En plus de Java, NetBeans permet également de supporter différents autres langages, comme Python, C, C++, JavaScript, XML, Ruby, PHP et HTML. Il comprend toutes les caractéristiques d'un IDE moderne (éditeur en couleur, projets multi-langage, refactoring, éditeur graphique d'interfaces et de pages Web). Conçu en Java, NetBeans est disponible sous Windows, Linux, Solaris (sur x86 et SPARC), Mac OS X ou sous une version indépendante des systèmes d'exploitation (requérant une machine virtuelle Java). Un environnement Java Development Kit JDK est requis pour les développements en Java. NetBeans constitue par ailleurs une plate forme qui permet le développement d'applications spécifiques (bibliothèque Swing (Java)). L'IDE NetBeans s'appuie sur cette plate forme. Dans notre projet on a utilisé NetBeans-17-bin-windows-x64.exe [30].



FIGURE 4.1 – Netbeans logo.

## 2. **EasyPhp :**

EasyPHP est un package WAMP, une plateforme de développement Web, servant à faire fonctionner localement (sans se connecter à un serveur externe) des scripts PHP. EasyPHP n'est pas en soi un logiciel, mais un environnement comprenant deux serveurs (un serveur web Apache et un serveur de bases de données MySQL), un interpréteur de script (PHP), ainsi qu'une administration SQL PhpMyAdmin. Il dispose d'une interface d'administration servant à gérer les alias (dossiers virtuels disponibles sous Apache), et le démarrage/arrêt des serveurs. Il permet par conséquent d'installer en une seule fois tout l'indispensable au développement local du PHP. Par défaut, le serveur Apache crée un nom de domaine virtuel (en local) `http : //127.0.0.1` ou `http : //localhost`. Ainsi, lorsqu'on choisit "Web local" dans le menu d'EasyPHP, le navigateur s'ouvre sur cette URL et affiche la page `index.php` de ce site qui correspond en fait au contenu du dossier `www` d'EasyPHP. EasyPHP est parfois utilisé comme une application portable, c'est-à-dire lancé sur une clé USB [31].

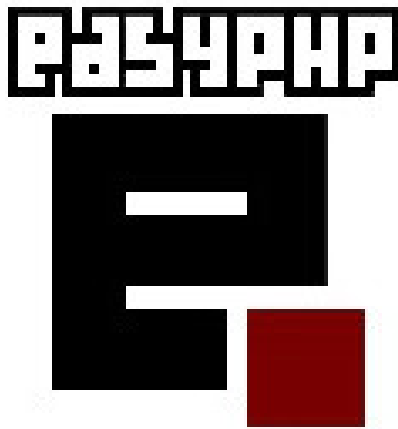


FIGURE 4.2 – EasyPhp logo.

## 3. **Apache :**

Le serveur Apache est l'un des serveurs Web gratuits les plus performants du marché. Il a été créé en 1995 par Rob McCool [32].

4. **Connecteur MYSQL :** c'est un logiciel qui permet de connecter la base de donnée avec l'application.

### 4.2.3 Les langages de développement :

#### 1. Java :

Java est un langage de programmation multiplateforme créé en 1995 par James Gosling chez Sun Microsystems (qui appartient aujourd'hui à l'entreprise Oracle). Avant son nom actuel, le langage de programmation a d'abord été appelé «OAK», d'après un chêne qui se trouvait à l'extérieur du bureau de James Gosling. Une des particularités principales qui différencie le langage Java des autres langages comme le C ou le C++ est la manière dont il est exécuté et compilé sur une machine. Le compilateur Java, nommé javac, ne traduit pas directement le code source en langage machine comme les autres compilateurs. Il le traduit en un langage intermédiaire appelé bytecode. Ce bytecode est ensuite interprété par un autre programme : la machine virtuelle java ou JVM (pour Java Virtual Machine en anglais) [33], il utilise un JDK pour développer les applications java ; dans notre application on a utilisé jdk 20.



FIGURE 4.3 – java logo.

#### 2. SQL :


SQL (Structured Query Language) est un langage de « programmation » standardisé qui est utilisé pour gérer des bases de données relationnelles et effectuer diverses opérations sur les données qu'elles contiennent. Créé à l'origine dans les années 1970, SQL est régulièrement utilisé non seulement par les administrateurs de bases de données, mais aussi par les développeurs qui écrivent des scripts d'intégration de données et les analystes de données qui cherchent à mettre en place et à exécuter des requêtes analytiques.

Les utilisations du SQL comprennent la modification des tables de base de données et des structures d'index, l'ajout, la mise à jour et la suppression de lignes de données et la récupération de sous-ensembles d'informations dans une base de données pour le traitement des transactions et les applications analytiques. Les requêtes et autres opérations SQL prennent la forme de commandes écrites sous forme d'instructions – les instructions SQL les plus courantes sont les suivantes : sélectionner, ajouter, insérer, mettre à jour, supprimer, créer, modifier et tronquer.

SQL est devenu le langage de programmation standard de facto pour les bases de données relationnelles après leur apparition à la fin des années 1970 et au début des années 1980. Également connus sous le nom de bases de données SQL, les systèmes relationnels comprennent un ensemble de tables contenant des données en lignes et en colonnes. Chaque colonne d'un tableau correspond à une catégorie de données — par exemple, le nom ou l'adresse du client — tandis que chaque ligne contient une valeur de données pour la colonne qui se croise [34].

## 4.3 Les différentes interfaces de notre application :

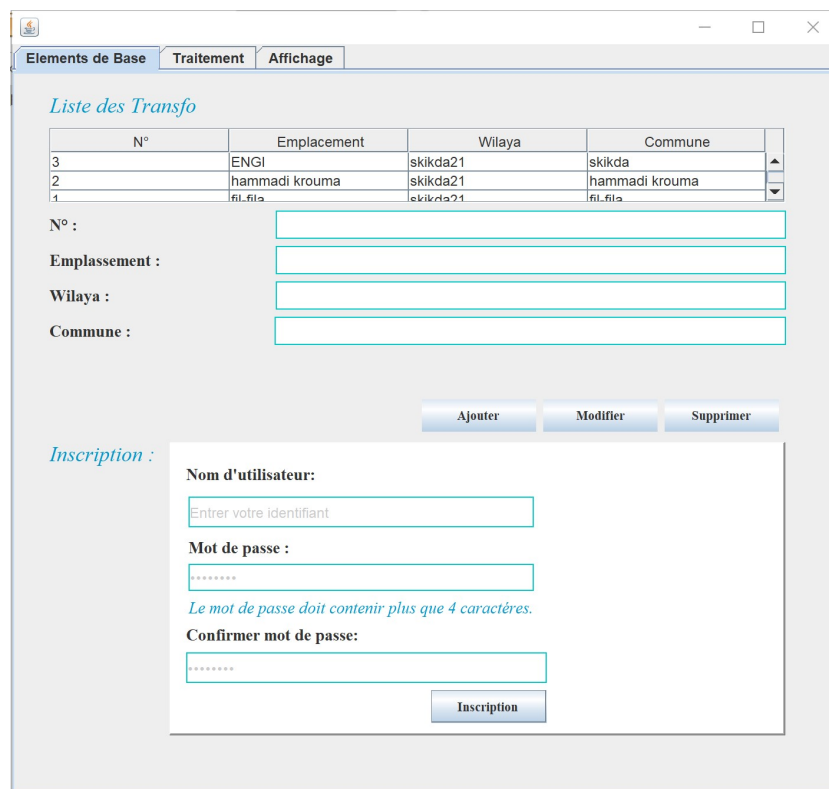
### — Interface d'authentification



The screenshot shows a window titled "Connexion" with a blue padlock icon on the left. On the right, there are two input fields: "Nom d'utilisateur :" containing the text "admin" and "Mot de passe:" containing six asterisks. A "Connexion" button is located at the bottom right.

FIGURE 4.4 – Interface d'authentification.

### — Interface des éléments de base



The screenshot shows a window titled "Liste des Transfo" with three tabs: "Elements de Base", "Traitement", and "Affichage". It features a table with the following data:

N°	Emplacement	Wilaya	Commune
3	ENGI	skikda21	skikda
2	hammadi krouma	skikda21	hammadi krouma
1	fil. fila	skikda21	fil. fila

Below the table are four input fields labeled "N° :", "Emplacement :", "Wilaya :", and "Commune :". At the bottom, there are three buttons: "Ajouter", "Modifier", and "Supprimer".

Below the buttons is an "Inscription" section with the following fields:

- Nom d'utilisateur: Entrez votre identifiant
- Mot de passe : (masked with asterisks)
- Le mot de passe doit contenir plus que 4 caractères.
- Confirmer mot de passe: (masked with asterisks)
- Inscription button

FIGURE 4.5 – Interface d'éléments de base.

## — Interface de traitement

*Importation des données :*

*Ajout des données de Cnsm:*

Date :

Heure :

Metéo :

N° Transfo :

Consommation :

Ajouter Modifier Supprimer

FIGURE 4.6 – Interface de traitement.

## — Interface d’affichage

*Consommation de l'année :*

N° Transfo	Date / Mois / Année	Heure	Consommation

FIGURE 4.7 – Interface d’Affichage.

— Interfaces des tables de la base de données





















	Table ▲	Action	Lignes <sup>1</sup>	Type	Interclassement	Taille	Perte
<input type="checkbox"/>	consommation	    	286	MyISAM	latin1_swedish_ci	16,2 Kio	1,8 Kio
<input type="checkbox"/>	meteo	    	343	MyISAM	latin1_swedish_ci	8,9 Kio	184 o
<input type="checkbox"/>	transfo	    	18	MyISAM	latin1_swedish_ci	2,7 Kio	-
<input type="checkbox"/>	utilisateur	    	4	MyISAM	latin1_swedish_ci	2,1 Kio	-
	4 table(s)	Somme	651	MyISAM	latin1_swedish_ci	29,8 Kio	2,0 Kio

FIGURE 4.8 – Interface de Table de base de données globale.




































	Colonne	Type	Interclassement	Attributs	Null	Défaut	Extra	Action
<input type="checkbox"/>	<u>date</u>	date			Non	Aucun		      
<input type="checkbox"/>	<u>heure</u>	time			Non	Aucun		      
<input type="checkbox"/>	<u>meteo</u>	int(11)			Non	Aucun		      
<input type="checkbox"/>	<u>num_transfo</u>	int(11)			Non	Aucun		      
<input type="checkbox"/>	<u>valeur_cnsm</u>	double			Non	Aucun		      

FIGURE 4.9 – Interface de table de base de données de consommation.















	Colonne	Type	Interclassement	Attributs	Null	Défaut	Extra	Action
<input type="checkbox"/>	<u>date</u>	date			Non	Aucun		      
<input type="checkbox"/>	<u>valeur_meteo</u>	int(11)			Non	Aucun		      

FIGURE 4.10 – Interface de table de base de données de météo.





























	Colonne	Type	Interclassement	Attributs	Null	Défaut	Extra	Action
<input type="checkbox"/>	<u>num</u>	int(11)			Non	Aucun		      
<input type="checkbox"/>	<u>emplacement</u>	varchar(30)	latin1_swedish_ci		Non	Aucun		      
<input type="checkbox"/>	<u>wilaya</u>	varchar(30)	latin1_swedish_ci		Non	Aucun		      
<input type="checkbox"/>	<u>commune</u>	varchar(30)	latin1_swedish_ci		Non	Aucun		      

FIGURE 4.11 – Interface de table de base de données de transfo.















	Colonne	Type	Interclassement	Attributs	Null	Défaut	Extra	Action
<input type="checkbox"/>	<u>nom</u>	varchar(30)	latin1_swedish_ci		Non	Aucun		      
<input type="checkbox"/>	<u>mpasse</u>	varchar(30)	latin1_swedish_ci		Non	Aucun		      

FIGURE 4.12 – Interface de table de base de données d'utilisateur.

## 4.4 Conclusion :

Ce chapitre final aborde la concrétisation de l'application à travers sa mise en œuvre effective. Pour ce faire, nous avons utilisé divers logiciels et plateformes logicielles qui se complètent mutuellement. Le produit final obtenu se distingue par sa fiabilité, son interactivité, sa dynamique et son interface conviviale.

Il convient de souligner que cette application offre encore des possibilités d'extension et d'amélioration. Des fonctionnalités supplémentaires peuvent être ajoutées pour répondre à de nouveaux besoins ou pour améliorer l'expérience utilisateur. Les commentaires des utilisateurs et les évolutions technologiques futures peuvent également être pris en compte pour rendre l'application encore plus performante.

## Conclusion générale

La prédiction joue un rôle essentiel dans de nombreux aspects de notre vie quotidienne et dans divers domaines d'activité. Elle nous permet d'anticiper et de prendre des décisions éclairées, ce qui contribue à améliorer notre efficacité, notre productivité et notre qualité de vie.

Le problème de prévision de la consommation d'électricité est d'une importance cruciale dans le secteur de l'énergie. Les modèles de prévision jouent un rôle essentiel dans la planification, l'optimisation des ressources et la prise de décision stratégique des entreprises énergétiques.

Les modèles de prévision traditionnels, tels que les méthodes statistiques, ont été largement utilisés avec succès pendant de nombreuses années. Cependant, avec l'avènement des modèles neuronaux, de nouvelles opportunités et améliorations significatives ont été apportées à la prévision de la consommation d'électricité.

Les modèles neuronaux, tels que les réseaux de neurones profonds, offrent une flexibilité et une capacité d'apprentissage automatique avancées. Ils sont capables de capturer des modèles complexes et non linéaires présents dans les données de consommation d'électricité, ainsi que de prendre en compte d'autres variables influençant la demande, telles que les conditions météorologiques, les jours fériés et les tendances saisonnières. Les modèles neuronaux permettent également une adaptation continue grâce à la mise à jour régulière des données, ce qui améliore la précision des prévisions au fil du temps. De plus, ils peuvent être utilisés pour prédire des horizons de temps variés, allant des prévisions à court terme à celles à long terme. Ces réseaux de neurones fournissent des résultats satisfaisants proches de la réalité.

Cependant, il convient de noter que la mise en œuvre de modèles neuronaux pour la prévision de la consommation d'électricité nécessite des compétences techniques avancées et une compréhension approfondie des principes de l'apprentissage automatique. Le choix et le prétraitement appropriés des variables d'entrée, ainsi que la validation rigoureuse des modèles, sont des étapes cruciales pour obtenir des résultats fiables.

En résumé, malgré les défis techniques et les limites d'interprétabilité, les modèles neuronaux se révèlent être des outils puissants pour la prévision de la consommation d'électricité. Leur capacité à capturer les modèles complexes, à prendre en compte des variables multiples et à fournir des prévisions précises en font des outils précieux pour le secteur de l'énergie, permettant une meilleure planification, une gestion efficace des ressources et une prise de décision éclairée.

Cette application nous permet de voir et de prédire la consommation d'électricité dans le futur, en tenant compte des fluctuations saisonnières et de la température en fonction de la consommation actuelle d'électricité, mais au final, cette application a des résultats précis dans une certaine mesure. Projets qui peuvent avoir un impact sur la consommation d'électricité, cela peut aussi inclure l'ajout d'appareils électriques, l'installation de panneaux solaires, la mise en place de mesures d'efficacité énergétique, etc. En bref, une application qui calcule la consommation d'électricité en tenant compte de la valeur précédente et de la présence de projets peut contribuer à une gestion plus efficace de l'énergie, à une meilleure planification budgétaire et à une prise de décision plus éclairée.

# Bibliographie

---

- [1] <https://www.netapp.com/fr/artificial-intelligence/what-is-artificial-intelligence/>
- [2] <https://www.cea.fr/comprendre/Pages/nouvelles-technologies/essentiel-sur-intelligence-artificielle>.
- [3] <https://www.sap.com/france/products/artificial-intelligence/what-is-machine-learning>.
- [4] <https://www.wallstreetmojo.com/predictive-modeling/techniques>
- [5] <https://aws.amazon.com/fr/what-is/linear-regression/>
- [6] James, W. (2013). HASTIE e TIBSHIRANI. An introduction to statistical learning.
- [7] Bishop, C. M., Nasrabadi, N. M. (2006). Pattern recognition and machine learning . New York : springer.
- [8] Neter, J., Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Wasserman, W. (1996). Applied linear statistical models.
- [9] <https://moncoachdata.com/blog/regression-lineaire-avec-python/>
- [10] <https://stacklima.com/ml-avantages-et-inconvenients-de-la-regression-lineaire/>
- [11] <https://thepressfree.com/definition-de-la-regression-non-lineaire/>
- [12] Louali Laissaoui, « L'application de l'approche neuronale pour la prévision du rayonnement solaire », master académique, université d'Adrar, 2019.
- [13] <https://www.ibm.com/fr-fr/cloud/learn/neural-networks>
- [14] Lynda.AMIMER, « Modélisation et Commande des Systèmes Non Linéaires Fractionnaires par des Réseaux de Neurones Fractionnaires » Ingénieur UMMTO, Université de Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 2015.
- [15] Youcef.BEN YOUSEF, «Simulation par les réseaux de neurones du comportement dynamique d'un réacteur continu parfaitement agité», master académique, université KASDI-MERBAH Ouargla, 2020.
- [16] <https://deeplylearning.fr/cours-theoriques-deep-learning/fonction-dactivation/>
- [17] <https://moncoachdata.com/blog/comprendre-les-reseaux-de-neurones/>
- [18] <https://www.universalis.fr/encyclopedie/reseaux-de-neurones-formels/2-quelques-definitions/>
- [19] BEGHADADI,H.A., SENOUCI,M. (2005). RESEAUX DE NEURONES.
- [20] <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Apprentissage-automatique.html>
- [21] <https://businessyield.com/fr/business-strategies/machine-learning/>
- [22] Mohamed Yessin AMMAR, « mise en œuvre de réseaux de neurones pour la modélisation de cinétiques réactionnelles en vue de la transposition batch /continu », Thèse de doctorat, Ecole Nationale d'ingénieurs de Sfax Tunisie, 2007.
- [23] HAMIDANE, Abderrazake.,HAMIDANE, Rabie.(2018). Predicting using the artificial neural networks :Comparative study between linear regression and neural networks.
- [24] Adham Ismail Tammam , « Lissage optimal de la charge en présence de sources d'énergies renouvelables via le pilotage de la consommation des chauffe-eau », Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de philosophie doctor, université de montréal, 2016.

- [25] <https://www.moncowatt.fr/>
- [26] <https://www.sia-partners.com/fr/nos-expertises/previsions-de-production-et-de-consommation-deelectricite>
- [27] Imane IHSANE, « Prévision à court terme et gestion des consommations d'énergie électrique dans l'habitat » , Thèse de doctorat, Université De Nantes, 2020.
- [28] <https://www.lucidchart.com/pages/fr/langage-uml>
- [29] <https://inf1410.telug.ca/telugDownload.php?file=2014/01/INF1410-PresentationStarUML.pdf>
- [30] <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/NetBeans.html>
- [31] <http://www.standard-du-web.com/easyphp.php>
- [32] <https://www.twaino.com/blog/creation-site-web/serveur-apache/>
- [33] ). <https://www.data-transitionnumerique.com/apprenez-programmation-java/>
- [34] <https://actualiteinformatique.fr/data/definition-sql-structured-query-language>