# Liste des acronymes

KB knowledge base.

NER Named Entity Recognition.

NLP Natural Language Processing.

TALN Traitement automatique du language natuelle.

IA Intelligence artificielle.

RE Relation Extraction.

# Introduction Générale :

### **Contexte**

Dans les agences de maintien de l'ordre, la collecte et l'analyse précises des déclarations des suspects, des témoins et des victimes sont cruciales pour mener à bien les enquêtes criminelles. Les entretiens et les interrogatoires jouent un rôle central dans ces enquêtes, fournissant des informations essentielles qui peuvent déterminer la direction de l'enquête et influencer les décisions judiciaires. Cependant, la gestion de ces informations présente de nombreux défis, notamment la détection des contradictions dans les déclarations et la formulation de questions pertinentes pour obtenir des informations supplémentaires.

Traditionnellement, les enquêteurs prennent des notes manuelles ou enregistrent des conversations, ce qui nécessite un effort considérable pour analyser et comparer les informations recueillies. Cette approche peut être sujette à des erreurs humaines et à des pertes d'informations importantes. De plus, les enquêteurs peuvent rencontrer des difficultés lorsqu'ils sont confrontés à des déclarations ambiguës ou incohérentes, et lorsqu'ils doivent formuler des questions de suivi pour clarifier ou approfondir les réponses obtenues.

Avec l'avènement des technologies d'intelligence artificielle (IA) et du traitement automatique du langage naturel (TALN), il est désormais possible de développer des systèmes automatisés capables d'analyser les conversations de manière plus efficace et précise. Ces technologies peuvent aider à détecter les contradictions dans les déclarations, en comparant les nouvelles informations avec les données existantes dans le système. Elles peuvent également fournir des recommandations de questions basées sur le contexte de l'entretien, aidant ainsi les enquêteurs à obtenir des informations plus complètes et cohérentes.

Des systèmes similaires ont été développés dans divers domaines du maintien de l'ordre, tels que la détection de la fraude, la reconnaissance faciale et l'analyse prédictive du crime[[1]](#footnote-1) [[2]](#footnote-2). Ces systèmes montrent le potentiel de l'IA à transformer les pratiques d'enquête en automatisant des tâches complexes et en fournissant des analyses avancées. Cependant, un système spécifiquement conçu pour enregistrer les conversations d'enquête, détecter les contradictions et recommander des questions en temps réel représente une avancée significative dans ce domaine.

**Contribution**

Ce projet vise à combler cette lacune en fournissant un outil intégré et automatisé pour les enquêteurs. En exploitant les capacités des technologies d'IA et de TALN, le système proposé améliorera la précision et l'efficacité des enquêtes, tout en réduisant la charge cognitive des enquêteurs. Cette initiative s'inscrit dans une tendance plus large d'adoption de technologies avancées par les agences de maintien de l'ordre pour améliorer leurs capacités d'investigation et garantir une justice plus efficace et équitable.

**Structure de la mémoire**

Cette thèse est structurée pour fournir une exploration complète du développement et de la mise en œuvre d'un système basé sur l'IA pour l'analyse des entretiens des forces de l'ordre. Les chapitres suivants décrivent la progression de cette entreprise de recherche, abordant chacun des aspects cruciaux de la conception du système, de ses fonctionnalités, de son évaluation et de ses implications futures. La structure détaillée est la suivante :

**Chapitre 1 : Présentation de l’organisme d’accueil et Généralités**

* Dans ce chapitre, nous présenterons brièvement l'organisme d'accueil, son rôle et sa mission dans le contexte plus large de son domaine d'activité. Nous aborderons également quelques généralités sur le domaine.

**Chapitre 2 : État de l’art**

* Ce chapitre offre une exploration approfondie de la littérature pertinente, comprenant une introduction au Traitement du Langage Naturel (NLP), ses différentes tâches, ainsi qu'une discussion sur les lacunes de la recherche actuelle.

**Chapitre 3 : Conception**

* Où nous décrirons en détail la conception de notre contribution et de notre application.

**Chapitre 4 : Implémentation et évaluations**

* Où nous aborderons les aspects techniques de la mise en œuvre de notre système, ainsi que les évaluations réalisées.

**Conclusion générale**

* La thèse se termine par un résumé des contributions, des discussions sur les limitations et des suggestions pour les orientations futures de la recherche, encapsulant la signification et le potentiel du système développé.

Table of Contents

[Introduction Générale : 1](#_Toc167600275)

[**Contexte** 1](#_Toc167600276)

[Chapitre 1 : Présentation de l’organisme d’accueil et Généralités 5](#_Toc167600277)

[1 Présentation de l’organisme d’accueil 5](#_Toc167600278)

[1.1.1 Introduction 5](#_Toc167600279)

[1.1.2 La Gendarmerie Nationale 5](#_Toc167600280)

[1.1.3 INCC-GN 5](#_Toc167600281)

[1.2 Généralités 6](#_Toc167600282)

[1.2.1 Introduction 6](#_Toc167600283)

[1.2.2 Crime : 6](#_Toc167600284)

[1.2.3 Enquête : 6](#_Toc167600285)

[1.2.4 Audition 7](#_Toc167600286)

[1.2.5 Contradiction 7](#_Toc167600287)

[1.2.6 Recommandation de questions 7](#_Toc167600288)

[Chapitre 2 : État de l’art 7](#_Toc167600289)

[2.1 Traitement automatique du langage naturel 7](#_Toc167600290)

[2.2 Représentation du texte 8](#_Toc167600291)

[2.2.1 Représentation textuelle discrète 8](#_Toc167600292)

[2.2.2 Représentation textuelle continue 9](#_Toc167600293)

[2.2.3 Réseaux de Neurones Récurrents 10](#_Toc167600294)

[2.3.4 LSTM: Long-Short-Term-Memory 12](#_Toc167600295)

[2.3.5 Transformers 13](#_Toc167600296)

[2.3.6 BERT 15](#_Toc167600297)

[2.3 Les différentes taches de NLP 17](#_Toc167600298)

[2.3.1 Reconnaissance d’entités nommées 17](#_Toc167600299)

[2.3.1.1 Définition 17](#_Toc167600300)

[2.3.1.2 Les approches du NER 17](#_Toc167600301)

[2.3.2 Classification de texte 18](#_Toc167600302)

[2.3.3 Extraction de relations 18](#_Toc167600303)

[2.3.4 Similarité Des Textes 19](#_Toc167600304)

[2.4 **Travaux Connexes** 19](#_Toc167600305)

[2.5 Recherches dans la Contradiction 20](#_Toc167600306)

[2.6 Systèmes de recommandation 20](#_Toc167600307)

[2.7 Recommandation des questions 21](#_Toc167600308)

[2.8 Filtrage basé sur le contenu (Content-based filtering) 21](#_Toc167600309)

[Chapitre 3 : Conception 21](#_Toc167600310)

[3.1 Introduction 22](#_Toc167600311)

[3.2 Diagramme de cas d’utilisation 22](#_Toc167600312)

[3.3 Diagramme de classes 22](#_Toc167600313)

[3.4 Module de détection de la contradiction 22](#_Toc167600314)

[3.5 Module de recommandation des questions 23](#_Toc167600315)

# Chapitre 1 : Présentation de l’organisme d’accueil et Généralités

## 1 Présentation de l’organisme d’accueil

### 1.1.1 Introduction

Durant cette partie, nous présenterons l’organisme d’accueil au sein de laquelle nous avons effectué notre projet, nous parlerons d’abord de la gendarmerie nationale ensuite de L’institut Nationale de Criminalistique et de Criminologie et la relation entre les deux et nous finirons par aborder les besoins de notre organisme d’accueil.

### 1.1.2 La Gendarmerie Nationale

La Gendarmerie nationale d'Algérie est une force de sécurité chargée de maintenir l'ordre public, d'assurer la sécurité des citoyens et de défendre l'intégrité du territoire national. Elle opère sous l'autorité du ministère de la Défense nationale et joue un rôle crucial dans la protection des populations, la lutte contre la criminalité, le contrôle des frontières et la gestion des situations d'urgence. La Gendarmerie nationale algérienne est reconnue pour son professionnalisme, son engagement et son dévouement envers la sécurité et le bien-être des citoyens.

### 1.1.3 INCC-GN

L'Institut National de Criminalistique et de Criminologie de la Gendarmerie Nationale (INCC-GN) est une institution algérienne spécialisée dans la recherche, l'analyse et la résolution des affaires criminelles. Relevant de la Gendarmerie nationale, cet institut joue un rôle essentiel dans la lutte contre la criminalité en fournissant des expertises scientifiques et techniques aux enquêteurs sur le terrain. L'INCC-GN est doté de laboratoires modernes équipés des technologies les plus avancées, permettant l'analyse des preuves et des indices recueillis lors des enquêtes. Son personnel hautement qualifié, composé d'experts en criminalistique et en criminologie, travailles-en étroite collaboration avec les autorités judiciaires pour résoudre les affaires criminelles, apporter des éléments de preuve solides devant les tribunaux et contribuer à la sécurité publique. Ces missions incluent :

* Réaliser des expertises et examens scientifiques à la requête des magistrats, enquêteurs et autorités habilitées.
* Assurer une assistance scientifique aux unités lors des investigations complexes.
* Concevoir et réaliser des banques de données, conformément à la loi.
* Participer aux études et analyses relatives à la prévention et à la réduction de toute forme de criminalité.
* Contribuer à la définition d'une meilleure politique de lutte contre la criminalité.
* Initier et mener des travaux de recherche ayant trait à la criminalité en recourant à des technologies de pointe.
* Œuvrer au développement de la recherche appliquée et des méthodes d'investigation ayant été jugées efficaces dans les domaines de la criminologie et de la criminalistique sur les plans national et international.[[3]](#footnote-3)

Nous contribuons avec ce projet aux derniers objectifs mentionnés ci-dessus.



Figure 1.1 : Logo de La Gendarmerie Nationale

## 1.2 Généralités

### 1.2.1 Introduction

Cette partie est un bref aperçu des concepts auxquels notre étude s’intéresse notamment l’audition, contradiction, et la recommandation de questions. Les sections suivantes rassemblent quelques définitions et éléments préliminaires qui sont nécessaires pour la bonne compréhension du contenu du mémoire.

### 1.2.2 Crime :

Un crime, dans son essence la plus fondamentale, est un acte qui viole les lois établies par une société donnée. C'est un comportement considéré comme répréhensible et interdit par la loi, et qui entraîne des conséquences juridiques pour son auteur. Les crimes peuvent varier en gravité, allant des infractions mineures telles que le vol à l'étalage aux offenses les plus graves comme le meurtre ou le viol. Un crime qui a été découvert déclenche une enquête.

### 1.2.3 Enquête :

Une enquête est un processus systématique et méthodique visant à recueillir des informations, à examiner des preuves et à analyser des faits dans le but de découvrir la vérité sur un événement spécifique ou une série d'incidents. C'est une démarche essentielle dans le domaine de la justice et de la résolution de problèmes, utilisée par les autorités légales, les organismes d'application de la loi, les entreprises et d'autres entités pour élucider des questions complexes et prendre des décisions éclairées.

Le processus d'enquête implique généralement plusieurs étapes, notamment la collecte initiale d'informations, la planification de la méthode d'investigation, la collecte de preuves, l'analyse des données recueillies, la formulation de conclusions et, le cas échéant, la présentation des résultats devant un tribunal ou une autre instance compétente.

### 1.2.4 Audition

L'audition joue un rôle crucial dans le domaine de la sécurité publique, notamment dans le cadre des enquêtes judiciaires et des interventions policières. Elle permet de recueillir des informations essentielles auprès des témoins, des suspects et des victimes, contribuant ainsi à la résolution des affaires criminelles et à la protection des citoyens.

Les professionnels de la sécurité publique, tels que les officiers de police judiciaire, doivent posséder des compétences avancées en techniques d'interrogatoire pour obtenir des déclarations précises et fiables. L'audition efficace repose sur la capacité à poser des questions pertinentes, à détecter les contradictions et à évaluer la crédibilité des informations fournies.

### 1.2.5 Contradiction

Une contradiction se produit lorsqu'il existe une incohérence ou un conflit entre deux assertions, déclarations ou faits. C'est un phénomène qui peut survenir dans divers contextes, que ce soit dans des déclarations verbales, des documents écrits, des témoignages ou des arguments logiques. La détection et la compréhension des contradictions sont essentielles dans de nombreux domaines, notamment le droit, la recherche, la communication et la résolution de problèmes.

Dans un contexte juridique, la contradiction peut être utilisée pour remettre en question la crédibilité d'un témoignage ou d'une preuve présentée devant un tribunal. Les enquêteurs peuvent chercher à identifier des contradictions dans les déclarations des témoins ou les éléments de preuve présentés par la partie adverse afin de discréditer leur argumentation et de renforcer leur propre cas.

### 1.2.6 Recommandation de questions

La recommandation de questions est un processus visant à proposer des interrogations pertinentes et efficaces dans le cadre d'une enquête, d'un entretien ou d'une interaction. Cette pratique trouve son utilité dans divers domaines, notamment dans le cadre juridique, médical, professionnel et académique.

Dans le domaine juridique, la recommandation de questions est souvent utilisée lors des interrogatoires de témoins ou de suspects. Les enquêteurs peuvent bénéficier de recommandations basées sur des analyses de cas similaires, des modèles de comportement ou des profils psychologiques pour formuler des questions pertinentes et stratégiques afin de faire progresser l'enquête et obtenir des informations cruciales.

# Chapitre 2 : État de l’art

Dans ce chapitre, nous allons présenter les concepts de base liés à notre travail,

## 2.1 Traitement automatique du langage naturel

Le traitement automatique du langage naturel (TALN), ou Natural Language Processing (NLP) en anglais, est un domaine essentiel de l'intelligence artificielle qui vise à permettre aux machines de comprendre et d'interpréter le langage humain. Cette discipline repose sur la combinaison de la linguistique informatique, des techniques statistiques, et des algorithmes d'apprentissage automatique et d'apprentissage profond[[4]](#footnote-4).

Les technologies NLP permettent aux ordinateurs de traiter le texte et les données vocales de manière à extraire des informations significatives, comme le contexte, l'intention et les émotions[[5]](#footnote-5). Grâce à ces capacités, le NLP trouve des applications variées dans de nombreux domaines.

Par exemple, les systèmes de traduction automatique, les assistants virtuels comme Siri et Alexa, et les chatbots utilisent des techniques de NLP pour interagir avec les utilisateurs de manière fluide et naturelle. De plus, les entreprises emploient le NLP pour analyser les avis des clients, détecter le spam dans les emails, et identifier les entités nommées dans les documents.

Le traitement du langage naturel joue un rôle crucial dans l'avancement de diverses technologies contemporaines. Voici quelques exemples illustratifs :

• Modèles de langage comme GPT, chatbots

• Reconnaissances vocales

• Traduction automatique, analyse des sentiments

## 2.2 Représentation du texte

Pour que les machines puissent comprendre et analyser les modèles linguistiques, il est essentiel de convertir les mots en nombres. Ce processus, appelé représentation textuelle, est fondamental pour la plupart des tâches de traitement du langage naturel (NLP). La manière dont le texte est représenté influence grandement les performances des modèles d'apprentissage automatique. On distingue deux grandes catégories de représentations textuelles :

* Représentation textuelle discrète
* Représentation textuelle continue

### 2.2.1 Représentation textuelle discrète

Dans ce type de représentation, les mots sont représentés par des indices correspondant à leur position dans un dictionnaire dérivé d'un corpus plus large. Les méthodes suivantes sont couramment utilisées :

* One-Hot encoding
* Bag of Words
* CountVectorizer
* TF-IDF

#### 2.2.1.1 One-Hot encoding

Cette méthode représente chaque mot par un vecteur binaire de la taille du vocabulaire, avec un seul élément à 1 et tous les autres à 0.

Exemple : Pour le vocabulaire ["chat", "chien", "oiseau"], "chien" est représenté par [0, 1, 0].

Avantage : Simple à comprendre et implémenter.

Limite : Produit des vecteurs de grande taille pour les grands vocabulaires et ne capture pas les relations sémantiques entre les mots.

#### 2.2.1.2 Bag of words

La représentation par sac de mots, comme son nom l'indique intuitivement, place les mots dans un « sac » et calcule la fréquence d'apparition de chaque mot. Elle ne prend pas en compte l'ordre des mots ou les informations lexicales pour la représentation du texte.

L'intuition derrière la représentation par sac de mots est que des documents ayant des mots similaires sont similaires, indépendamment de la position des mots.

Avantage : Simple à implémenter et efficace pour les petites tâches.

Limite : Ne capture pas l'ordre des mots ni les relations sémantiques.

#### 2.2.1.3 CountVectorizer

Le CountVectorizer est une extension de BoW, où chaque document est représenté par un vecteur contenant le nombre de fois que chaque mot apparaît.

Exemple : Pour les phrases "le chat dort" et "le chien dort", "le chat dort" pourrait être représenté par [1, 1, 1, 0] en utilisant le même vocabulaire.

Avantage : Simple et intuitif, permet de quantifier l'importance des mots.

Limite : Ne prend pas en compte la fréquence relative des mots dans l'ensemble des documents.

#### 2.2.1.1 TF-IDF

Le TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency) pondère chaque mot en fonction de sa fréquence dans le document et de sa rareté dans l'ensemble des documents. Il combine deux mesures pour évaluer l'importance d'un mot dans un document :

* **TF (Term Frequency)** : la fréquence d'apparition d'un mot **m** dans un document **d**.
* **IDF (Inverse Document Frequency)** : la mesure de la rareté d'un mot dans l'ensemble des documents, calculée comme suit :

Où **N** est le nombre total de documents et **df(m)** le nombre de documents contenant le mot **m**.

Avantage : Réduit l'impact des mots courants et met en valeur les mots informatifs.

Limite : Les vecteurs restent de grande dimension et la méthode ne capture pas les relations contextuelles entre les mots.

### 2.2.2 Représentation textuelle continue

La représentation continue, ou distribuée, d'un texte se produit lorsque la représentation d'un mot dépend d'autres mots et n'est pas mutuellement exclusive. Les configurations des mots reflètent diverses métriques et concepts présents dans les données. Ainsi, les informations relatives à un mot sont réparties le long du vecteur qui le représente. Cela contraste avec la représentation discrète, où chaque mot est considéré comme unique et indépendant des autres.

Les méthodes courantes de représentation continue incluent :

* Matrices de cooccurrence
* Word2Vec
* GloVe

#### 2.2.2.1 Matrice de cooccurrence :

#### Cette représentation analyse la proximité des entités entre elles au sein d'un texte. Une entité peut être un seul mot, un bi-gramme (séquence de deux mots), ou même une phrase, bien que l'utilisation d'un seul mot soit la méthode la plus courante pour calculer la matrice. En examinant les co-occurrences, cette matrice permet de dévoiler les associations et les relations entre différents mots dans un corpus. Cela nous aide à comprendre comment les mots sont utilisés ensemble et à identifier les tendances et les motifs linguistiques présents dans le texte.

#### 2.2.2.2 Word2Vec :

Word2Vec est un algorithme de word embedding, qui représente les mots ou phrases d’un texte sous forme de vecteurs de nombres réels dans un modèle vectoriel. Développé par une équipe de recherche de Google sous la direction de Tomas Mikolov[[6]](#footnote-6), cet algorithme est devenu un outil essentiel dans le traitement du langage naturel.

Word2Vec propose deux architectures neuronales principales : CBOW (Continuous Bag of Words) et Skip-Gram.

* **CBOW (Continuous Bag of Words)** : Cette méthode tente de prédire un mot en se basant sur son contexte, c’est-à-dire les termes qui l’entourent dans une phrase. Elle est particulièrement efficace avec des ensembles de données plus petits et offre un temps d'entraînement rapide comparé à Skip-Gram.
* **Skip-Gram** : Cette méthode, à l'inverse de CBOW, prédit le contexte à partir du mot cible. Elle tend à mieux fonctionner avec des ensembles de données plus larges, bien qu’elle nécessite un temps d'entraînement plus long.

#### 2.2.2.3 GloVe :

GloVe (Global Vectors for Word Representation) est un algorithme d'embedding qui combine les avantages des méthodes basées sur le comptage (comme les matrices de cooccurrence) et des méthodes prédictives (comme Word2Vec), le qualifiant ainsi de méthode hybride. L'objectif principal de GloVe est de trouver des vecteurs de mots qui capturent les relations statistiques globales des cooccurrences de mots. L'algorithme s'appuie sur la fonction d'objectif suivante :

J=i,j=1∑V​f(Xij​)(wiT​wj​+bi​+bj​−log(Xij​))2

où :

* Xij représente le nombre de cooccurrences entre le mot i et le mot j
* wi wj sont les vecteurs de mots,
* bi et bj​ sont les biais associés à chaque mot,
* f est une fonction de pondération.

Ainsi, GloVe construit des vecteurs de mots wi et wj​ qui respectent les cooccurrences observées Xij, une statistique calculée globalement à partir de la matrice de cooccurrence.

### 2.2.3 Réseaux de Neurones Récurrents

### 2.2.3.1 Introduction

Les réseaux de neurones récurrents (RNN) sont une architecture de réseau de neurones spécialement conçue pour traiter des données séquentielles telles que le texte, l'audio, et plus encore. Contrairement aux réseaux de neurones classiques, qui traitent chaque donnée indépendamment, les RNN conservent une "mémoire" des états précédents. À chaque nouvelle entrée, les RNN concatènent cette entrée avec l'état précédent, ce qui permet au réseau d'apprendre et de comprendre le contexte global, comme le contexte d'une phrase ou d'un extrait audio, et ainsi de prédire le mot suivant.

Voici un exemple de la structure d’un réseau de neurones récurrent :

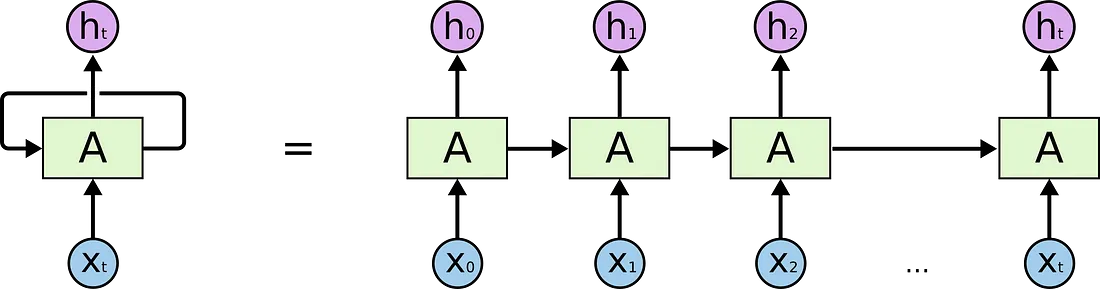


Figure 2 - source : https://medium.com/@jianqiangma/all-about-recurrent-neural-networks-9e5ae2936f6e

### 2.2.3.2 Fonctionnement des RNN

L'élément clé des RNN réside dans la structure de leurs cellules et la concaténation du vecteur d'état précédent avec les nouvelles données en entrée. Cette capacité de mémoire est illustrée par un vecteur hi qui représente l'itération en cours et conserve l'information nécessaire pour les étapes suivantes.

### 2.2.3.3 Limites des RNN Classiques

**Problème de Mémoire à Long Terme**

Un des principaux défis des RNN est la gestion de la mémoire à long terme. Prenons l'exemple d'une phrase complexe : "Unix est un système d’exploitation, il fut créé par Ken Thomson et Dennis Ritchie, ces deux personnages sont des légendes dans le domaine de l’informatique très peu reconnues par la nouvelle génération. Sans eux, le monde ne serait peut-être pas celui qu’il est aujourd’hui. Linux, un autre système d’exploitation apparu en 1991, est basé sur \*\*\*\*." Pour prédire "Unix" à la fin, le modèle doit se souvenir que "Unix est un système d’exploitation" mentionné au début, une tâche difficile pour un RNN classique.

**Problème de Parallélisation**

Les RNN traitant les données de manière séquentielle, leur entraînement ne peut pas tirer pleinement parti des optimisations matérielles et logicielles pour la parallélisation, ce qui ralentit considérablement leur processus d’apprentissage.

Pour surmonter ces limitations, des unités récurrentes plus complexes, telles que les cellules "gated" comme les LSTM (Long Short-Term Memory) et les GRU (Gated Recurrent Units), ont été développées. Ces cellules améliorent la gestion des flux de données et filtrent les informations pour ne conserver que les plus pertinentes.

### 2.3.4 LSTM: Long-Short-Term-Memory

### 2.3.4.1 Introduction

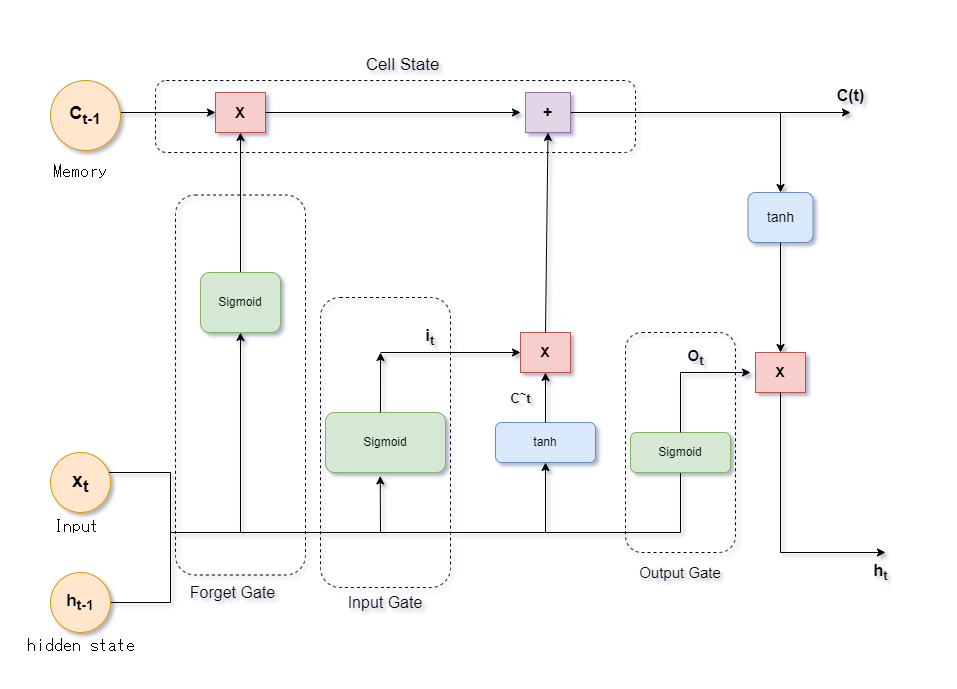
Les LSTM (Long Short-Term Memory) ont été créés pour résoudre le problème de la mémoire à long terme rencontré par les RNN classiques. Ces réseaux utilisent des cellules mémoire plus complexes, appelées "gated cells", qui contrôlent le flux de données. Une cellule LSTM se compose de trois états d'entrée/sortie et de trois portes internes, comme illustré ci-dessous.

Figure 3 - Structure d’une cellule de LSTM

### 2.3.4.2 Structure des Cellules LSTM

Les cellules LSTM se distinguent par leur capacité à retenir et à oublier des informations de manière sélective à travers trois types de portes : la porte d'oubli (forget gate), la porte d'entrée (input gate) et la porte de sortie (Output gate). Chaque porte joue un rôle crucial dans la gestion des données à chaque étape du traitement séquentiel.

**États de la Cellule**

* **Cell state**: Il s'agit de l'état de la cellule qui agrège les données de tous les états précédents. C'est ici que se trouve la "mémoire" à long terme du LSTM.
* **Hidden state**: Cet état encode la caractérisation de l'entrée précédente. Il est utilisé pour la sortie actuelle et également passé à la prochaine étape temporelle.
* **Current input**: C'est l'entrée actuelle, par exemple, un mot dans une phrase pour le traitement de texte.

**Portes des Cellules**

1. **Porte d'Oubli (Forget Gate)**:
   * La porte d'oubli décide quelles informations de l'état de la cellule doivent être oubliées. Cela se fait via une fonction sigmoïde suivie d'une multiplication pointwise.
   * Équation : ft=σ(Wf⋅[ht−1,xt]+bf)f\_t = \sigma(W\_f \cdot [h\_{t-1}, x\_t] + b\_f)ft​=σ(Wf​⋅[ht−1​,xt​]+bf​)
     + ftf\_tft​: Sortie de la porte d'oubli.
     + WfW\_fWf​: Poids de la porte d'oubli.
     + ht−1h\_{t-1}ht−1​: Sortie du LSTM précédent (à l'étape t−1t-1t−1).
     + xtx\_txt​: Entrée à l'état présent.
     + bfb\_fbf​: Biais de la porte d'oubli.
2. **Porte d'Entrée (Input Gate)**:
   * La porte d'entrée sélectionne les nouvelles informations à ajouter à l'état de la cellule. Elle utilise une combinaison de fonction sigmoïde et tanh pour ajouter les informations pertinentes à l'état de la cellule.
   * Équation : it=σ(Wi⋅[ht−1,xt]+bi)i\_t = \sigma(W\_i \cdot [h\_{t-1}, x\_t] + b\_i)it​=σ(Wi​⋅[ht−1​,xt​]+bi​)
     + iti\_tit​: Sortie de la porte d'entrée.
     + WiW\_iWi​: Poids de la porte d'entrée.
     + bib\_ibi​: Biais de la porte d'entrée.
3. **Porte de Sortie (Output Gate)**:
   * La porte de sortie décide quelles informations de l'état de la cellule vont influencer la sortie à la prochaine étape. Elle combine les informations des portes précédentes pour former la sortie "hidden", utilisée soit comme prochaine entrée hth\_tht​, soit pour effectuer une prédiction yty\_tyt​.
   * Équation : ot=σ(Wo⋅[ht−1,xt]+bo)o\_t = \sigma(W\_o \cdot [h\_{t-1}, x\_t] + b\_o)ot​=σ(Wo​⋅[ht−1​,xt​]+bo​)
     + oto\_tot​: Sortie de la porte de sortie.
     + WoW\_oWo​: Poids de la porte de sortie.
     + bob\_obo​: Biais de la porte de sortie.

Les LSTM permettent de retenir des informations pertinentes sur de longues séquences de données grâce à leurs portes intelligentes. Elles filtrent les informations et maintiennent celles qui sont cruciales pour des prédictions précises. La combinaison des états de la cellule et des portes permet aux LSTM de surmonter les limitations des RNN classiques, particulièrement en ce qui concerne la mémoire à long terme et la parallélisation des données.

### 2.3.5 Transformers

### 2.3.5.1 Introduction

Le Transformer, une innovation majeure dans le domaine de l'apprentissage profond, a été dévoilé en 2017 dans l'essai "Attention is all you need"[[7]](#footnote-7). Conçu par une équipe de chercheurs talentueux de Google Brain et Google Research, ce modèle révolutionnaire a été conçu pour pallier les lacunes observées dans les architectures précédentes, telles que les RNN et les LSTM.

Au cœur du Transformer réside son mécanisme d'attention, qui permet au modèle de prendre en compte le contexte global de l'entrée. Contrairement aux RNN, qui traitent les données de manière séquentielle et donc lente, le Transformer peut exploiter la parallélisation pour accélérer considérablement le processus d'entraînement. Ci-dessous l’architecture du transformer :

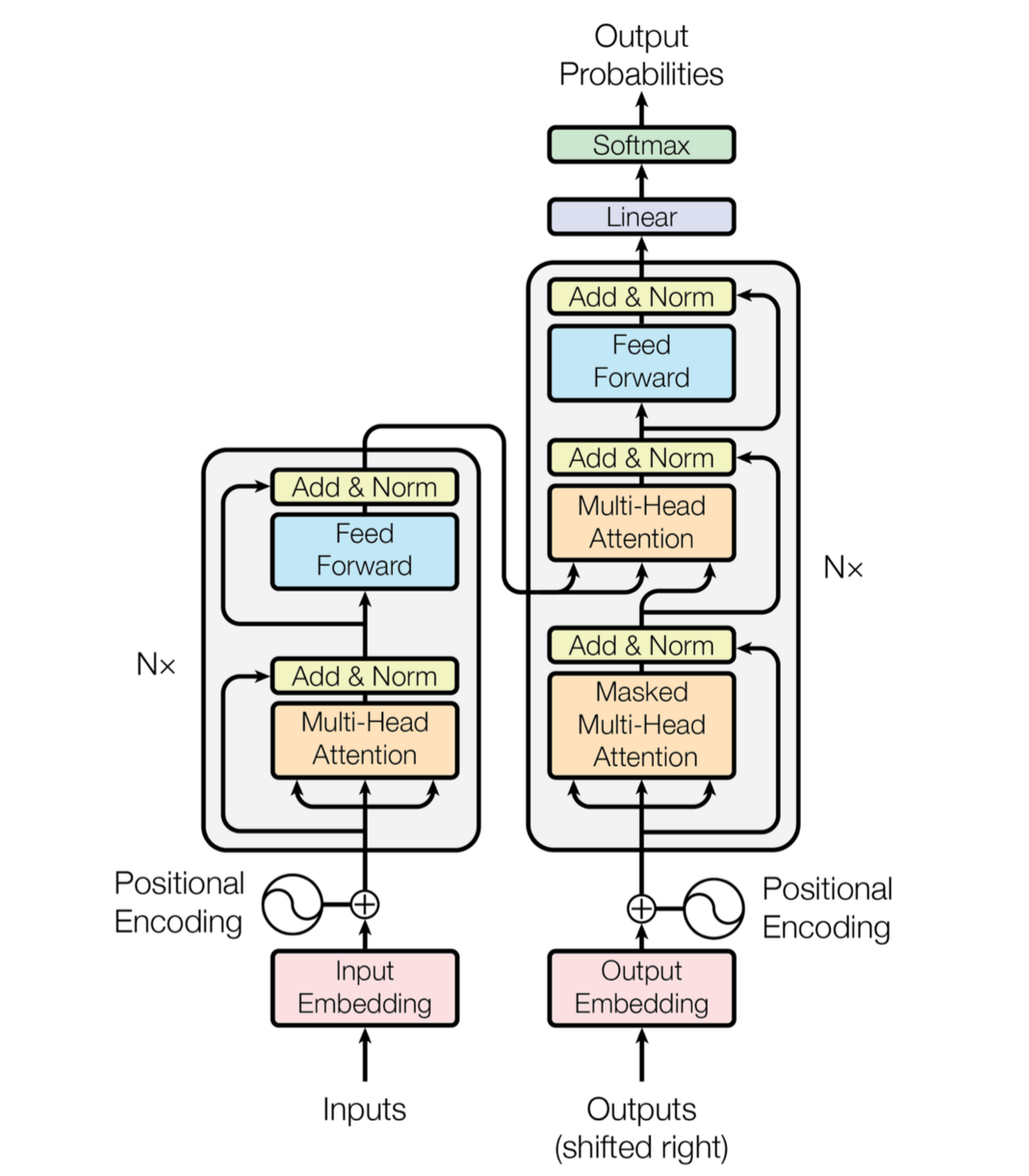


Figure 5 - L’architecture du transformer

Nous allons maintenant expliquer les mécanismes clé qui forme le transformer :

### 2.3.5.2 Mécanisme d’attention

Le concept fondamental du mécanisme d'attention, connu sous le nom de self-attention, est au cœur de l'architecture Transformer. Ce mécanisme analyse les relations entre les différents mots d'une séquence afin de produire une représentation contextuelle pertinente, enrichissant ainsi les informations présentes dans notre entrée.

Le processus de self-attention repose sur trois vecteurs clés : le vecteur de requête (q), le vecteur de clé (k) et le vecteur de valeur (v). Chacun de ces vecteurs est indexé en fonction de la position du mot dans la séquence (par exemple, q1, k1 et v1 pour le premier mot). Ces vecteurs sont calculés en multipliant l'incorporation (embedding) de la séquence d'entrée par trois matrices, qui sont ajustées pendant le processus d'entraînement du Transformer.

### 2.3.5.3 Encodeur et Décodeur

En ce qui concerne l'architecture spécifique du Transformer, l'encodeur et le décodeur jouent des rôles essentiels. L'encodeur est constitué d'un empilement de N = 6 couches identiques, chaque couche comprenant deux sous-couches : un mécanisme de multi-têtes self-attention et un réseau de feed-forward. L'entrée de chaque encodeur est la sortie du précédent, avec le premier encodeur recevant un vecteur d'incorporation et la sortie du dernier encodeur étant utilisée dans le décodeur.

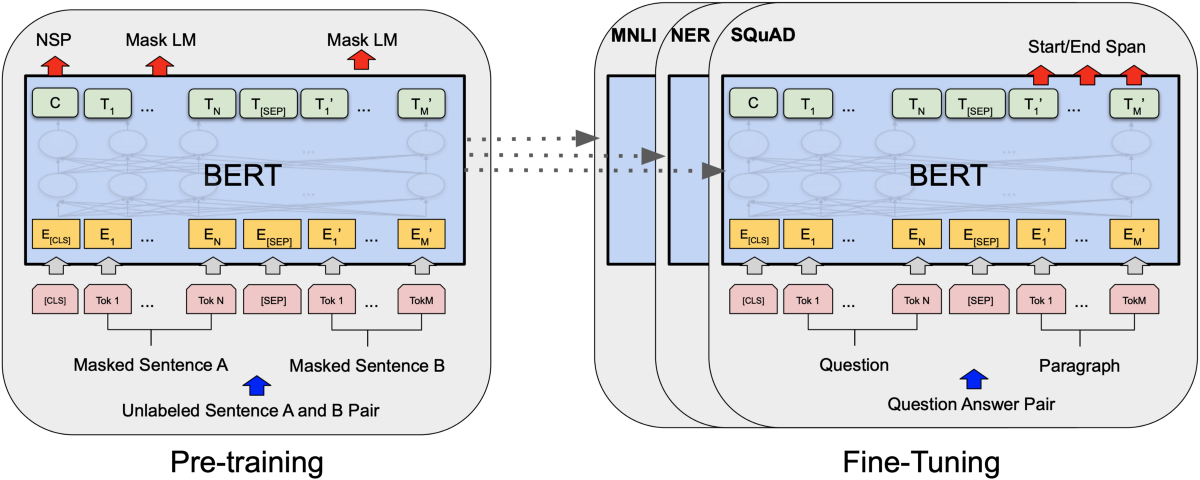
Le décodeur, similaire à l'encodeur, est également composé de 6 couches identiques, intégrant une sous-couche de self-attention et un réseau feed-forward. De plus, le décodeur comprend une couche d'attention encodeur-décodeur, qui permet au décodeur de se concentrer sur les parties pertinentes de la séquence d'entrée pendant le processus de décodage. Finalement, le dernier décodeur est connecté à un bloc de réseau neuronal linéaire + Soft-max, qui identifie les correspondances dans le vocabulaire pour les sorties du dernier encodeur.

### 2.3.6 BERT

### 2.3.6.1 Introduction

BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) se présente comme un modèle transformateur révolutionnaire conçu par une équipe de Google en 2018[[8]](#footnote-8). Il réinvente la pré-entraînement de représentations profondes bidirectionnelles à partir de texte non étiqueté en conditionnant conjointement les contextes gauche et droit, dans le but d'acquérir une compréhension approfondie du contexte linguistique.

Grâce au réglage fin (fine-tuning), réalisé en ajoutant une seule couche de sortie supplémentaire, BERT peut produire des résultats de pointe. Cette avancée est rendue possible grâce à la technique de Masked LM, permettant un entraînement bidirectionnel dans des modèles jusque-là inatteignables. Ci-dessous, nous décrivons les procédures générales de pré-entraînement et de réglage fin pour BERT :

Figure 6 - L'Architecture de BERT pour le Pré-entraînement et le Réglage Fin

### 2.3.6.2 Aperçu Architectural de BERT

BERT se compose d'un encodeur de transformateur multicouche bidirectionnel, avec deux variantes : le modèle de base et le modèle large. La distinction réside dans le nombre de couches, la taille cachée et le nombre de têtes d'auto-attention. La représentation des données d'entrée peut englober à la fois des phrases simples et des paires de phrases au sein d'une seule séquence de tokens, facilitant ainsi la mise en œuvre de tâches de TALN sur des données conversationnelles.

### 2.3.6.3 Pré-entraînement

Deux concepts clés sous-tendent l'ascension de BERT en tant que modèle standard pour l'apprentissage par transfert :

* **Masked LM** : Pour chaque séquence, un pourcentage de mots est remplacé par le token [MASK], incitant le modèle à les prédire en fonction du contexte fourni par les autres mots non masqués de la séquence.
* **Prédiction de la Phrase Suivante (NSP)** : Au cours de l'entraînement de BERT, le modèle reçoit des paires de phrases en entrée et apprend à prédire si la deuxième phrase de la paire est la phrase suivante dans le document d'origine. Tout au long de l'entraînement, 50 % des entrées sont une paire dans laquelle la deuxième phrase est la phrase suivante dans le document d'origine, tandis que dans les 50 % restants, une phrase aléatoire du corpus est choisie comme deuxième phrase. Ce concept est essentiel pour comprendre la relation entre deux phrases, cruciale pour des tâches de TALN telles que la réponse aux questions et l'inférence en langage naturel.

### 2.3.6.4 Réglage Fin de BERT

Le réglage fin permet à BERT de modéliser de nombreuses tâches de TALN, à un coût relativement faible, en ajoutant simplement une couche au modèle de base :

* Les tâches de classification, telles que l'analyse des sentiments, consistent à ajouter une couche de classification au-dessus de la sortie du transformateur pour le token [CLS].
* Pour la Reconnaissance d'Entités Nommées (NER), où le modèle reçoit une séquence de texte et doit annoter les différents types d'entités qu'elle contient, un modèle NER peut être entraîné en alimentant le vecteur de sortie de chaque token dans une couche de classification qui prédit l'étiquette.

## 2.3 Les différentes taches de NLP

Les subtilités du langage humain rendent extrêmement complexe la tâche de développer des logiciels capables de comprendre avec précision le sens voulu des textes ou d’autres données. Des phénomènes tels que les homonymes, les homophones, le sarcasme, les métaphores et les variations de la structure des phrases ne sont que quelques exemples des défis que présente le langage humain. Ces subtilités, qui peuvent prendre des années à être maîtrisées par les humains, doivent être apprises par les programmeurs dès le début pour que les applications basées sur le langage naturel puissent reconnaître et comprendre correctement ces nuances, et ainsi être véritablement utiles.

Dans le domaine du traitement automatique du langage naturel (TALN), plusieurs tâches sont définies pour aider les ordinateurs à interpréter les données textuelles. Voici quelques exemples de ces tâches qui nous utilisons dans notre projet :

### 2.3.1 Reconnaissance d’entités nommées

### 2.3.1.1 Définition

La reconnaissance d'entités nommées (Named Entity Recognition ou NER en anglais) est une sous-tâche de l'extraction d'informations visant à identifier et classer les mots clés, appelés entités, présents dans un document. Cette technologie permet de regrouper ces entités en catégories prédéfinies. Par exemple, dans un texte, la NER peut détecter et distinguer des mentions de personnes et de lieux, qui appartiennent à des catégories distinctes.

### 2.3.1.2 Les approches du NER

Comme évoqué précédemment, la reconnaissance d'entités nommées a pour but de repérer et de classer des mots dans un document textuel. Pour réaliser cette tâche, trois méthodes principales sont utilisées : l'approche statistique, l'approche basée sur des règles et l'approche hybride, qui combine les deux premières.[[9]](#footnote-9)

#### 2.3.1.2.1 Approche basé sur les règles

Cette méthode repose sur la définition d'un ensemble de règles grammaticales, syntaxiques, etc., établies par des linguistes, ainsi que sur l'utilisation de dictionnaires. Elle implique l'analyse du texte fourni en entrée pour identifier les entités et leurs catégories en appliquant les règles prédéfinies. Bien que cette approche offre une grande précision, elle exige un investissement considérable en termes de travail humain.

#### 2.3.1.2.2 Approche basée statistique

Cette méthode, contrairement à la précédente, s'appuie sur des règles statistiques et logiques pour atteindre le même objectif, en utilisant diverses techniques d'apprentissage automatique.

* **Apprentissage supervisé** : Cette méthode nécessite un corpus annoté pour entraîner le modèle. Le principal inconvénient est qu'elle ne se généralise pas bien, en raison du manque de grands ensembles de données pour ce type de tâche, ce qui nous pousse à envisager d'autres approches.
* **Apprentissage semi-supervisé** : Cette approche commence avec un corpus où seules quelques données sont étiquetées. Le modèle est d'abord entraîné sur ces données, puis le processus est itéré pour détecter d'autres entités similaires aux premières. Ce processus est répété en utilisant les résultats précédents pour affiner le modèle.
* **Apprentissage non supervisé** : Cette technique utilise le clustering, qui consiste à regrouper des éléments apparaissant dans des contextes similaires. Pour un texte donné, le modèle tente de trouver le groupe le plus similaire.

Malgré l'efficacité des méthodes d'apprentissage automatique et profond, le manque de grands ensembles de données les empêche d'atteindre la précision des approches basées sur des règles dans des domaines spécifiques. Cependant, ces méthodes offrent de meilleures performances en termes de généralisation.

#### 2.3.1.2.3 Approche Hybride

Dans cette approche, l'objectif est de fusionner les techniques basées sur des règles avec celles basées sur des statistiques pour tirer le meilleur parti des deux méthodes. L'idée est de parvenir à un compromis pour obtenir des résultats optimaux.

### 2.3.2 Classification de texte

La classification de texte est l'une des applications de TALN les plus largement utilisées en raison de ses nombreuses utilisations dans le monde réel telles que l'analyse des sentiments[[10]](#footnote-10) [[11]](#footnote-11) les critiques de produits[[12]](#footnote-12), la classification des actualités, ou la classification de l'intention de l'utilisateur dans les requêtes de recherche.

La classification de texte consiste à attribuer des catégories ou des étiquettes à des documents textuels en fonction de leur contenu. Cette technique permet de rendre les informations non structurées plus accessibles et exploitables. En utilisant des algorithmes sophistiqués, la classification de texte aide à automatiser et à accélérer le processus de tri et d'organisation de grandes quantités de données textuelles, ce qui est essentiel dans de nombreux domaines, de la recherche académique à l'industrie.

### 2.3.3 Extraction d'informations

L'extraction d'informations est la tâche de traitement du langage naturel (NLP) qui extrait des informations sémantiques structurées à partir de texte. Ces informations incluent des relations binaires - par exemple, des interactions biochimiques entre deux protéines[[13]](#footnote-13) ou des événements n-aires - c'est-à-dire des événements avec plus de deux arguments tels que des attaques terroristes, où chaque attaque est associée à plusieurs arguments, y compris l'emplacement de l'attaque, l'identité de l'attaquant, le nombre de victimes, le montant des dommages matériels, et ainsi de suite.[[14]](#footnote-14) L'extraction d'informations permet de nombreuses applications réelles importantes telles que la découverte de traitements potentiels pour les maladies ou la surveillance des attaques terroristes à partir de documents de presse.

### 2.3.4 Extraction de relations

### 2.3.4.1 Introduction

L'extraction de relations est une sous tache de l’extraction d’informations (IE) qui vise à identifier et à extraire les liens sémantiques entre différents éléments dans un texte. Ces éléments peuvent être des entités telles que des personnes, des lieux ou des événements, et les relations entre eux peuvent être diverses, allant des simples associations binaires aux structures plus complexes impliquant plusieurs entités. L'objectif principal de l'extraction de relations est de transformer le texte non structuré en données exploitables, facilitant ainsi la compréhension automatique des informations contenues dans les documents textuels. Cette tâche est cruciale dans de nombreux domaines, notamment la recherche d'informations, l'analyse des médias sociaux, la veille stratégique et la médecine.

### 2.3.4.2 Les approches du RE

Plusieurs approches existent pour l’extraction de relations[[15]](#footnote-15) :

#### 2.3.4.2.1 Approche basé sur les règles

Ces méthodes sont également appelées méthodes basées sur des patterns (motifs) construits manuellement. Ces types de méthodes définissent un ensemble de patterns d'extraction pour un ensemble prédéfini de relations. Ensuite, ces patterns d'extraction sont comparés au texte. Si un pattern correspond, une relation correspondant à ce pattern est trouvée dans le texte.

Par exemple un pattern pour les hyponymes comme ‘such X as Y’ avec le texte ‘such actors as angelina’ donne hyponyme(actor,angelina).

Les méthodes basées sur des règles nécessitent une expertise du domaine et des connaissances linguistiques pour définir des modèles d'extraction. Ces méthodes sont spécifiques à un domaine, reposant sur une structure de document fixe et des relations cibles prédéfinies. Lorsqu'on passe d'un domaine à un autre, il devient nécessaire de redéfinir les relations cibles et les modèles d'extraction. Par conséquent, les méthodes basées sur des règles demandent un effort manuel considérable et ne conviennent pas pour des corpus hétérogènes.

#### 2.3.4.2.2 Approche basé sur l’apprentissage non supervisé

Les méthodes non supervisées ne nécessitent pas de données annotées. La plupart des méthodes non supervisées d'extraction de relations utilisent une approche basée sur le clustering. L'une des premières approches non supervisées d'extraction de relations basée sur le clustering ont utilisé un étiqueteur d'entités nommées pour extraire les entités afin de se concentrer uniquement sur les relations avec les entités nommées mentionnées. Les étapes principales de la méthode d'apprentissage non supervisée sont :

1. Identification des entités nommées dans le corpus de texte
2. Identification des entités nommées co-occurrentes et de leur contexte
3. Regroupement des paires d'entités en fonction de la similarité de leur contexte
4. Attribution d'un nom de relation sémantique à chaque groupe.

#### 2.3.4.2.3 Approche basé sur l’apprentissage supervisé

Les méthodes supervisées nécessitent une grande quantité de données d'entraînement, annotées avec un ensemble d'entités et de relations. Elles utilisent ces données d'entraînement pour former un classificateur, qui extraira ensuite les relations des données de test. Il existe deux types de méthodes supervisées : les méthodes basées sur les caractéristiques et les méthodes basées sur les noyaux.

* Les méthodes basées sur les caractéristiques (features) :

Un ensemble de caractéristiques est généré pour chaque relation dans les données d'entraînement, puis un classificateur est entraîné à extraire une nouvelle instance de relation.

* Les méthodes basées sur les noyaux (kernal) :

Dans les approches basées sur les noyaux, des fonctions de noyau sont utilisées pour déterminer la similarité entre deux représentations d'instances de relation.

#### 2.3.4.2.3 Approche basé sur l’apprentissage semi-supervisé

La création de données pour les méthodes supervisées d'extraction de relations implique des coûts, des efforts et du temps. Cependant, les méthodes supervisées peuvent automatiser le processus de génération de données étiquetées grâce à des algorithmes de bootstrap. Cette approche offre deux avantages clés :

* Elle réduit l'effort nécessaire pour créer des données étiquetées
* Elle tire parti des données non étiquetées disponibles gratuitement.

L'algorithme de bootstrap repose sur une grande quantité de données non étiquetées et un petit ensemble d'instances de départ représentant le type de relation souhaité. Par exemple, pour extraire la relation "CapitaleDe", des exemples de départ comme (New Delhi, Inde), (Canberra, Australie) et (Londres, Angleterre) peuvent être utilisés pour développer un modèle d'extraction. Avec ces exemples de départ en entrée, l'algorithme de bootstrap est conçu pour identifier des relations similaires impliquant des paires d'entités telles que (Paris, France). La Figure 7 illustre le modèle pour extraire des motifs et des tuples de départ en utilisant une approche d'apprentissage semi-supervisé.

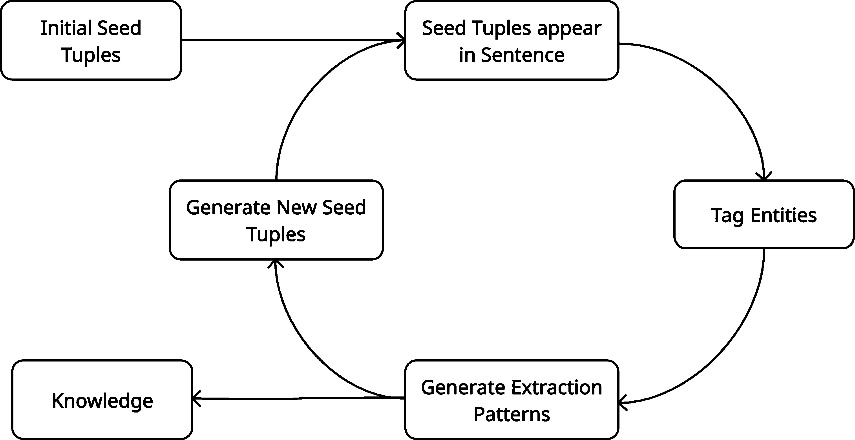


Figure 7 - Etapes pour l'apprentissage semi-supervisé de RE

#### 2.3.4.2.4 Approche de supervision distante

Ces méthodes sont également appelées méthodes supervisées faiblement ou basées sur la connaissance. Les chercheurs ont proposé une méthode dans laquelle les données d'entraînement sont automatiquement générées en alignant le texte avec une base de connaissances (KB), ce qui élimine le besoin d'étiquetage manuel. La supervision distante repose sur l'idée que si deux entités partagent une relation dans une KB, toutes les phrases mentionnant ces entités pourraient exprimer cette relation.

La supervision distante utilise une base de connaissances comme Freebase pour extraire les relations entre entités. Lorsqu'une paire d'entités apparaît à la fois dans une phrase et dans la KB, la phrase est liée de manière heuristique à la relation correspondante de la KB. Par exemple, dans la phrase "Bill Gates est le fondateur de Microsoft", si "Bill Gates" et "Microsoft" sont répertoriés comme un triplet (entité1 : Bill Gates, entité : Microsoft, relation : fondateur\_de) dans Freebase, alors ces entités représentent la relation "fondateur\_de".

#### 2.3.4.2.5 Approche basé apprentissage profond

L'utilisation de l'apprentissage profond dans l'extraction de relations a considérablement révolutionné la façon dont nous abordons cette tâche. Les réseaux de neurones profonds permettent une représentation complexe et hiérarchique des données textuelles, ce qui les rend particulièrement adaptés à la capture de nuances et de contextes subtils présents dans les relations entre entités. Par exemple, les architectures telles que les réseaux de neurones récurrents (RNN) ou les transformers peuvent prendre en compte la séquentialité du langage naturel, permettant ainsi une compréhension plus profonde des dépendances contextuelles. De plus, les modèles de langue pré-entraînés, comme BERT, ont démontré leur capacité à capturer des informations sémantiques riches, ce qui est crucial pour l'extraction précise des relations.

### 2.3.5 Similarité des phrases

### 2.3.5.1 Introduction

La similarité des phrases est la tâche qui consiste à déterminer à quel point deux textes sont similaires. Les modèles de similarité des phrases convertissent les textes d'entrée en vecteurs (embeddings) qui capturent les informations sémantiques et calculent à quel point ils sont proches (similaires) entre eux. Cette tâche est particulièrement utile pour la recherche d'informations et le clustering.[[16]](#footnote-16)

### 2.3.5.2 Approches pour la similarité des phrases

Plusieurs méthodes existent :

#### 2.3.5.2.1 Approches basé vecteurs sparses :

Ces approches utilisant les représentations discutées précédemment, Bag of words et tf-idf.

L'utilisation des représentations en sac de mots (Bag of Words) et du TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency) pour mesurer la similarité des phrases est une méthode couramment employée en traitement automatique des langues. Le modèle sac de mots transforme un texte en une matrice de termes, où chaque phrase est représentée par la fréquence des mots qu'elle contient. Bien que simple, cette approche ignore l'ordre des mots, ce qui peut limiter sa capacité à saisir le sens contextuel. Pour améliorer cette représentation, le TF-IDF pondère les fréquences des termes en tenant compte de leur importance dans le corpus, réduisant l'impact des mots courants et accentuant ceux plus significatifs. En utilisant ces représentations, les phrases peuvent être comparées à l'aide de mesures de similarité telles que le cosinus, permettant d'évaluer la proximité sémantique entre elles. Bien que ces méthodes soient moins sophistiquées que les modèles d'apprentissage profond modernes, elles restent efficaces et largement utilisées pour des tâches telles que la recherche d'informations, le clustering de textes et la classification de documents.

L'utilisation des représentations en sac de mots (Bag of Words) et du TF-IDF pour mesurer la similarité des phrases présente plusieurs inconvénients, notamment la création de vecteurs clairsemés (sparse). Ces méthodes transforment chaque phrase en un vecteur de grande dimension où chaque dimension correspond à un mot unique du corpus. Étant donné que chaque phrase ne contient qu'un sous-ensemble des mots possibles, la plupart des dimensions de ces vecteurs sont nulles, ce qui conduit à des vecteurs extrêmement clairsemés.

Cette sparsité pose plusieurs problèmes. Premièrement, elle rend difficile la capture des relations sémantiques entre les mots, car les représentations ne prennent pas en compte l'ordre des mots ni les contextes dans lesquels ils apparaissent. Deuxièmement, la haute dimensionnalité des vecteurs peut entraîner des inefficacités en termes de stockage et de calcul, rendant les opérations de similarité, comme la mesure de la similarité cosinus, plus coûteuses et moins robustes. Enfin, les vecteurs clairsemés sont sensibles au bruit et peuvent manquer de généralisation, ce qui limite leur efficacité pour des tâches complexes nécessitant une compréhension fine des nuances linguistiques. Ces limitations ont conduit à l'adoption de méthodes plus avancées, telles que les embeddings de mots et les modèles de langue pré-entraînés, qui offrent des représentations denses et contextuelles mieux adaptées à la tâche de similarité de phrases.

#### 2.3.5.2.1 Approches basé embeddings :

L'utilisation des embeddings a transformé la manière dont nous abordons la similarité des phrases en offrant des représentations vectorielles denses et contextuelles des mots et des documents. Les word embeddings, tels que Word2Vec et GloVe, capturent des relations sémantiques entre les mots en les plaçant dans un espace vectoriel continu où des mots similaires sont proches les uns des autres. Ces représentations surpassent les modèles traditionnels comme le sac de mots et TF-IDF en considérant le contexte dans lequel les mots apparaissent. Cependant, les word embeddings présentent des limitations. Ils ne capturent que les relations de mots isolés et ignorent les nuances contextuelles des phrases. De plus, les embeddings statiques ne changent pas en fonction du contexte, ce qui peut conduire à des ambiguïtés pour des mots ayant plusieurs sens.

Pour pallier ces problèmes, des méthodes comme Doc2Vec ont été développées pour générer des embeddings de documents en prenant en compte l'ensemble de la phrase ou du texte. Doc2Vec produit des vecteurs denses pour des phrases, des paragraphes ou des documents entiers, offrant ainsi une meilleure capture des contextes larges et des relations sémantiques plus globales. Néanmoins, Doc2Vec peut être complexe à former et nécessite une quantité substantielle de données pour produire des représentations de haute qualité.

Des avancées plus récentes, telles que les modèles de langage contextuels comme BERT et GPT, utilisent des techniques de pré-entraînement sur de vastes corpus textuels pour créer des embeddings qui changent en fonction du contexte. Ces modèles offrent des représentations contextuelles riches, capturant les nuances fines des phrases et permettant une compréhension approfondie du langage naturel. Malgré leurs performances impressionnantes, ces modèles nécessitent une grande puissance de calcul pour l'entraînement et l'inférence, ce qui peut être un obstacle pour certaines applications.

## 2.4 **Travaux Connexes**

Dans le domaine de l'analyse des entretiens des forces de l'ordre, en particulier en ce qui concerne la détection des contradictions et la recommandation de questions, il existe une absence notable de systèmes ou de projets existants directement comparables à la portée et aux objectifs de notre travail. Alors que les technologies de l'intelligence artificielle (IA) ont été largement adoptées dans divers secteurs et applications, leur intégration dans le contexte spécialisé de l'analyse des entretiens des forces de l'ordre reste relativement peu explorée.

Malgré la reconnaissance croissante du potentiel de l'IA pour améliorer les processus d'investigation, notamment dans des tâches telles que l'examen de l'écriture manuscrite[[17]](#footnote-17), la littérature et les systèmes existants ignorent largement les exigences nuancées de l'analyse des entretiens des forces de l'ordre. L'absence de systèmes dédiés à la détection des contradictions et à la recommandation de questions dans ce domaine souligne la nécessité d'approches innovantes adaptées aux défis spécifiques et aux objectifs des agences d'investigation.

De plus, bien que les systèmes pilotés par l'IA pour l'analyse textuelle et les applications de traitement automatique du langage naturel (TALN) aient été largement étudiés dans d'autres domaines, tels que le service client ou les soins de santé, leur adaptation aux subtilités de l'analyse des entretiens des forces de l'ordre est limitée. Les recherches et projets existants dans des domaines adjacents ne parviennent pas à répondre aux exigences uniques de l'analyse des entretiens dans les contextes d'enquête, laissant un écart significatif dans les capacités requises pour des pratiques d'investigation complètes et efficaces.

## 2.5 Recherches dans la Contradiction

La détection de contradiction en traitement automatique du langage naturel (TALN) implique l'identification et le traitement des énoncés qui sont mutuellement exclusifs ou en conflit de signification. Cette tâche est cruciale dans diverses applications de TALN telles que l'analyse de sentiment, la réponse aux questions et les systèmes de dialogue, où la compréhension de la cohérence et de la consistance des entrées textuelles est essentielle.

Une approche courante de la détection de contradiction consiste à utiliser des modèles d'apprentissage automatique, en particulier des réseaux neuronaux. Ces modèles sont entraînés sur des ensembles de données annotés contenant des paires de phrases étiquetées comme contradictoires ou non-contradictoires[[18]](#footnote-18). Des techniques telles que les réseaux siamois ou les architectures basées sur les transformateurs comme BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers) sont largement utilisées à cette fin. En apprenant des représentations contextuelles des phrases, ces modèles peuvent efficacement capturer les relations sémantiques et identifier les contradictions.

Une autre technique consiste à exploiter les caractéristiques linguistiques et les règles d'inférence logique pour détecter les contradictions. Cette approche implique souvent de représenter les phrases sous une forme structurée, telle que des formes logiques ou des graphes sémantiques, puis d'appliquer des techniques de raisonnement formel pour vérifier les incohérences. Cependant, cette approche peut rencontrer des défis pour gérer l'ambiguïté et la scalabilité.

De plus, des recherches récentes ont exploré l'intégration de sources de connaissances externes, telles que les bases de connaissances du bon sens ou les graphes de connaissances mondiaux, pour améliorer la détection de contradiction. En incorporant des connaissances de fond sur le monde, les modèles peuvent mieux comprendre les indices contextuels et formuler des jugements plus éclairés sur la plausibilité des énoncés.

## 2.6 Systèmes de recommandation

Les systèmes de recommandation sont des outils essentiels dans divers domaines, allant du commerce en ligne aux plateformes de streaming, en passant par les réseaux sociaux. Ils utilisent des techniques d'apprentissage automatique et de traitement du langage naturel pour analyser les préférences et les comportements des utilisateurs afin de proposer des contenus ou des produits pertinents. Par exemple, Amazon et Netflix emploient des algorithmes de filtrage collaboratif et de filtrage basé sur le contenu pour améliorer l'expérience utilisateur[[19]](#footnote-19). En combinant des méthodes telles que les réseaux de neurones et les modèles de graphes de connaissances, ces systèmes peuvent fournir des recommandations personnalisées et contextuellement adaptées [[20]](#footnote-20). De plus, les avancées récentes dans l'utilisation des modèles de transformateurs, comme BERT et GPT, ont permis d'améliorer considérablement la précision des recommandations en comprenant mieux le contexte et les intentions des utilisateurs [[21]](#footnote-21).

## 2.7 Recommandation des questions

La recherche spécifique dédiée uniquement aux systèmes de recommandation de questions dans l'analyse des entretiens des forces de l'ordre est limitée, mais le domaine le plus large des systèmes de recommandation et de recherche d'informations fournit des méthodologies pertinentes applicables à ce domaine. Les systèmes de recommandation de questions visent à aider le personnel de l'application de la loi à formuler des questions pertinentes lors d'enquêtes ou d'interrogatoires. Les techniques de traitement automatique du langage naturel (TALN) et d'apprentissage automatique sont souvent exploitées pour analyser les données textuelles et suggérer des questions pertinentes en fonction du contexte, des données historiques et des connaissances du domaine[[22]](#footnote-22). Ces systèmes peuvent utiliser des approches telles que le filtrage collaboratif, le filtrage basé sur le contenu ou des méthodes hybrides pour générer des recommandations de questions personnalisées adaptées à des scénarios d'enquête spécifiques.

## 2.8 Filtrage basé sur le contenu (Content-based filtering)

Le filtrage basé sur le contenu est une technique clé dans les systèmes de recommandation, utilisée pour proposer des éléments similaires à ceux que l'utilisateur a déjà appréciés. Contrairement au filtrage collaboratif, qui repose sur les préférences des autres utilisateurs, le filtrage basé sur le contenu analyse les caractéristiques des éléments eux-mêmes pour fournir des recommandations. Par exemple, dans le domaine de la musique ou des films, les systèmes de recommandation peuvent utiliser des informations telles que les genres, les acteurs, ou les artistes pour suggérer des contenus similaires [[23]](#footnote-23). Cette méthode utilise souvent des techniques de traitement du langage naturel pour extraire et analyser les caractéristiques des textes, telles que les descriptions de produits ou les résumés de films [[24]](#footnote-24). De plus, l'intégration des réseaux de neurones et des modèles de représentation de texte comme TF-IDF ou les embeddings de mots a permis d'améliorer la précision et la pertinence des recommandations basées sur le contenu [[25]](#footnote-25).

# Chapitre 3 : Conception

## 3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous détaillerons la conception de notre système. Nous commençons par présenter les diagrammes de cas d’utilisations et de classes pour avoir une vue globale du système. Puis nous passons à nos modules de détection de la contradiction et de recommandation des questions.

## 3.2 Diagramme de cas d’utilisation

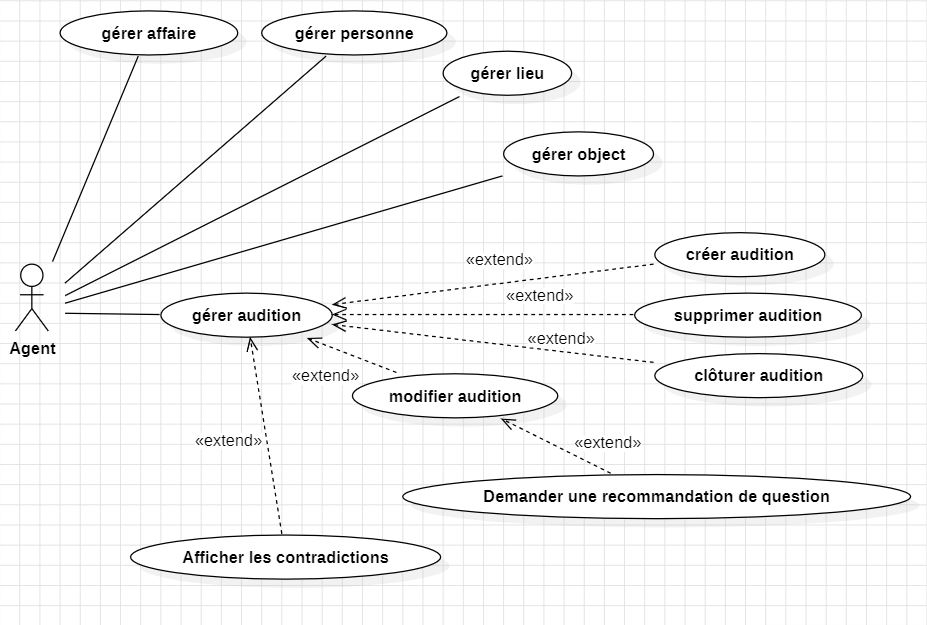


Figure 8 - diagramme de cas d'utilisation

## 3.3 Diagramme de classes

To be done

## 3.4 Module de détection de la contradiction

Notre approche consiste à proposer un modèle de reconnaissance d’entités nommées, puis combiner ce dernier avec un modèle d’extraction de relation afin d’avoir les relations définies pour ensuite détecter les contradictions. Ce processus est exécuté à chaque entrée d’une paire question-réponse.

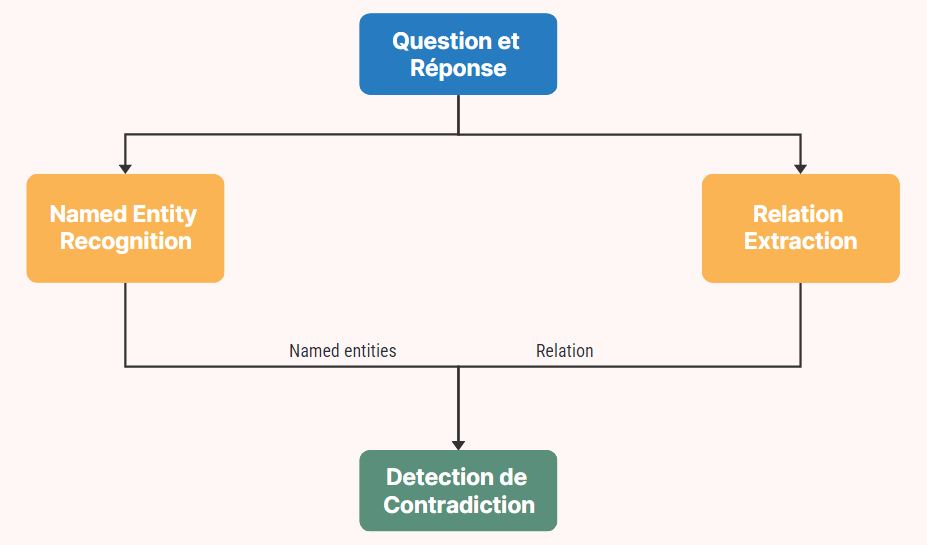


Figure 9 - Schéma global de la détection de la contradiction

## 3.5 Module de recommandation des questions

### 3.5.1 Introduction

Le module de recommandation des questions vise à assister les agents de la force publique pendant les interviews en générant des questions pertinentes et contextuelles. Ce module est crucial pour maintenir le flux de l'entretien, surtout lorsque l'agent ne sait plus quelles questions poser pour obtenir des informations complètes et cohérentes de la part de l'interviewé.

### 3.5.2 Description de l’approche

Pour la Recommandation de questions, on fait un content-based filtering pour choisir les auditions qui ont des features communes avec l’audition en question. Puis, pour chaque audition résultante, on passe leurs paires question-réponse au modèle de similarité de phrases pour trouver les paires les plus similaires à la dernière paire de l’audition en question, ce qui nous donne les questions suivantes à recommander.

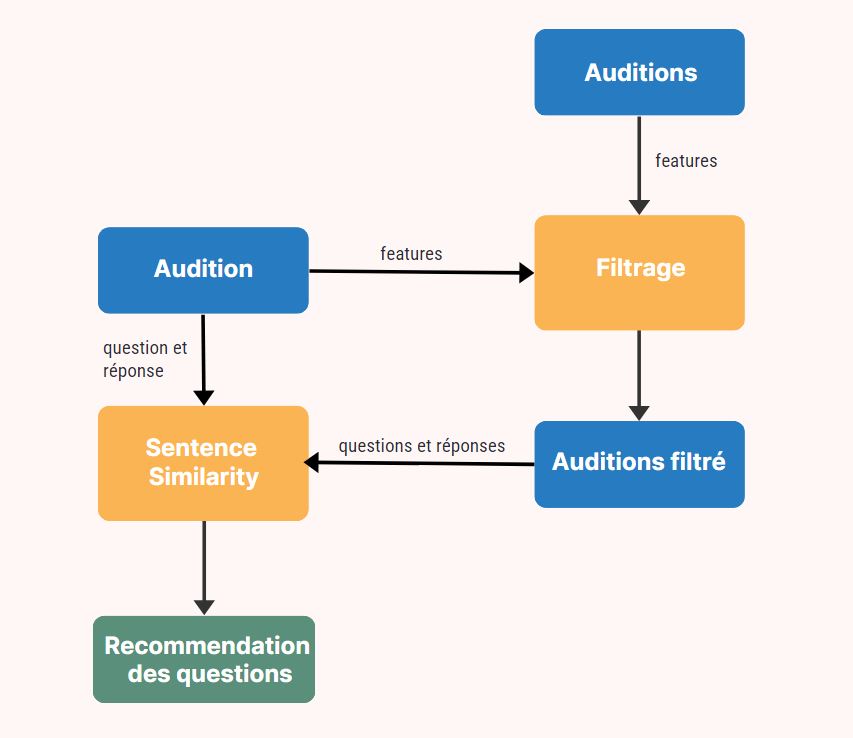


Figure 10 - Schéma global de la recommendation des questions

### 3.5.3 Filtrage

### 3.5.4 Sentence similarity

Après avoir identifié les auditions pertinentes, nous procéderons à une comparaison entre la dernière paire question-réponse de notre audition courante et les paires contenues dans ces auditions pertinentes. Pour ce faire, nous utiliserons la similarité de texte.

La similarité de phrase se réfère au degré de similarité ou de proximité entre deux phrases en termes de leur signification ou contenu sémantique. La similarité retournée est un score entre 0 et 1, 0 pour pas de relation entre les phrases, et 1 pour deux phrases identiques.

Il existe plusieurs approches pour faire la similarité de textes.

1. https://thideai.com/ai-in-law-enforcement-predictive-policing-and-crime-analysis/ [↑](#footnote-ref-1)
2. https://www.police1.com/iacp/articles/advancing-policing-through-ai-insights-from-the-global-law-enforcement-community-3SzYuRViccy8vwQ3/ [↑](#footnote-ref-2)
3. https://www.mdn.dz/site\_cgn/sommaire/presentation/unit\_spe/incc/incc\_fr.php [↑](#footnote-ref-3)
4. LGoldberg, Y. (2016). "A Primer on Neural Network Models for Natural Language Processing." Journal of Artificial Intelligence Research, 57, 345-420. [↑](#footnote-ref-4)
5. Jurafsky, D., & Martin, J. H. (2019). "Speech and Language Processing." Pearson. [↑](#footnote-ref-5)
6. Tomás Mikolov, Kai Chen, Greg Corrado, and Jeffrey Dean. Efficient estimation of word representations in vector space. In Yoshua Bengio and Yann LeCun, editors, 1st International Conference on Learning Representations, ICLR 2013, Scottsdale, Arizona, USA, May 2-4, 2013, Workshop Track Proceedings, 2013. [↑](#footnote-ref-6)
7. Ashish Vaswani, Noam Shazeer, Niki Parmar, Jakob Uszkoreit, Llion Jones,

   Aidan N. Gomez, Lukasz Kaiser, and Illia Polosukhin. Attention is all you need.

   In Isabelle Guyon, Ulrike von Luxburg, Samy Bengio, Hanna M. Wallach, Rob

   Fergus, S. V. N. Vishwanathan, and Roman Garnett, editors, Advances in Neu-

   ral Information Processing Systems 30: Annual Conference on Neural Informa-

   tion Processing Systems 2017, December 4-9, 2017, Long Beach, CA, USA, pages

   5998–6008, 2017. [↑](#footnote-ref-7)
8. acob Devlin, Ming-Wei Chang, Kenton Lee, and Kristina Toutanova. BERT:

   Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding. In

   Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Asso-

   ciation for Computational Linguistics: Human Language Technologies, Volume 1

   (Long and Short Papers), pages 4171–4186, Minneapolis, Minnesota, June 2019.

   Association for Computational Linguistics. [↑](#footnote-ref-8)
9. Hridoy Jyoti Mahanta. A STUDY ON THE APPROACHES OF DEVELOPING

   a NAMED ENTITY RECOGNITION TOOL. 02(14):58–61. [↑](#footnote-ref-9)
10. Pang, Bo, and Lee, Lillian 2008. Opinion mining and sentiment analysis. Foundations and Trends R⃝ in Information Retrieval, 2(1–2), 1–135. [↑](#footnote-ref-10)
11. Socher, Richard, Perelygin, Alex, Wu, Jean, et al. 2013. Recursive deep models for semantic compositionality over a sentiment treebank. Pages 1631–1642 of Proceedings of the 2013 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. [↑](#footnote-ref-11)
12. Maas, Andrew L., Daly, Raymond E., Pham, Peter T., et al. 2011. Learning word vectors for sentiment analysis. Pages 142–150 of Proceedings of the 49th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies. Portland, OR: Association for Computational Linguistics. [↑](#footnote-ref-12)
13. Krallinger, Martin, Leitner, Florian, Rodriguez-Penagos, Carlos, and Valencia, Alfonso. 2008. Overview of the protein–protein interaction annotation extraction task of BioCreative II. Genome Biology, 9(2), 1–19 [↑](#footnote-ref-13)
14. Sundheim, Beth M. 1992. Overview of the fourth message understanding evaluation

    and conference. Technical report. Naval Command Control and Ocean Surveillance Center, RDT & E Division, San Diego, CA. [↑](#footnote-ref-14)
15. Kartik Detroja, C.K. Bhensdadia, Brijesh S. Bhatt, A survey on Relation Extraction, Intelligent Systems with Applications, Volume 19, 2023, 200244, ISSN 2667-3053. [↑](#footnote-ref-15)
16. https://huggingface.co/tasks/sentence-similarity [↑](#footnote-ref-16)
17. Yavorsky, M. А., Useev, R. Z., & Kurushin, S. A. (2021). Information Technologies in Law Enforcement: Overview of Implements and Opportunities. *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences (EpSBS)*, 4(2), 166. [↑](#footnote-ref-17)
18. Bowman, Samuel R., et al. "A large annotated corpus for learning natural language inference." Proceedings of the 2015 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP), 2015. [↑](#footnote-ref-18)
19. Linden, Greg, Brent Smith, and Jeremy York. "Amazon.com recommendations: Item-to-item collaborative filtering." *IEEE Internet Computing* 7.1 (2003) : 76-80. [↑](#footnote-ref-19)
20. Shi, Yue, et al. "Collaborative filtering beyond the user-item matrix: A survey of the state of the art and future challenges." *ACM Computing Surveys (CSUR)* 47.1 (2014): 3. [↑](#footnote-ref-20)
21. Sun, Yu, et al. "BERT4Rec: Sequential recommendation with bidirectional encoder representations from transformers." *Proceedings of the 28th ACM International Conference on Information and Knowledge Management*. 2019. [↑](#footnote-ref-21)
22. Hu, Zhengyu, et al. "Personalized question recommendation in community question answering websites." ACM Transactions on Information Systems (TOIS) 33.2 (2015): 7. [↑](#footnote-ref-22)
23. Lops, Pasquale, Marco de Gemmis, and Giovanni Semeraro. "Content-based recommender systems: State of the art and trends." *Recommender systems handbook*. Springer, Boston, MA, 2011. 73-105. [↑](#footnote-ref-23)
24. Pazzani, Michael J., and Daniel Billsus. "Content-based recommendation systems." *The adaptive web*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2007. 325-341. [↑](#footnote-ref-24)
25. Karatzoglou, Alexandros, et al. "Content-based recommendation systems." *Recommender Systems Handbook*. Springer, 2015. 627-681. [↑](#footnote-ref-25)