



Un chatbot pour un programme d'étude à l'UiT

Rapport d'élève ingénieur
Stage de 2e année
Année Universitaire 2023-2024

Présenter par :
Roubille Mathis

Tuteur académique :
Viet Hung NGUYEN

Tuteur de stage :
Hao YU

Durée du stage : 17 semaines

23 août 2024

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui m'ont soutenu et guidé tout au long de mon stage à l'Université de l'Arctique de Norvège (UiT).

Tout d'abord, je remercie sincèrement mon tuteur de stage, Hao YU, pour son encadrement exceptionnel, sa disponibilité et ses conseils précieux. Son expertise et son soutien ont été essentiels à la réussite de ce projet.

Je souhaite également remercier Viet Hung NGUYEN, mon tuteur académique à l'ISIMA, pour son suivi. Sa guidance académique m'a été d'une grande aide pour mener à bien ce stage.

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude envers tous les membres de l'équipe du département d'Ingénierie Industrielle de l'UiT pour leur accueil chaleureux et leur collaboration. Leur aide et leurs encouragements ont grandement facilité mon intégration et ont enrichi mon expérience.

Je vous remercie tous pour votre confiance et votre soutien tout au long de cette aventure académique et professionnelle.

Table des matières

Remerciements	I
Résumé	V
Abstract	V
Glossaire	VI
1 Introduction	1
2 UiT the arctic university norway	3
3 Planification	5
4 Analyse des besoins des parties prenantes	6
4.0.1 Préparation des tests et entretiens	6
4.1 Résultats de l'analyse	6
4.2 Implications pour le développement du chatbot	7
5 Choix de la Technologie pour le Développement du Chatbot	8
5.1 Introduction	8
5.2 Modèles de Détection d'Intention	8
5.3 Utilisation des Grands Modèles de Langage (LLM)	9
5.4 Conclusion	10
6 Fonctionnement	11
6.1 Introduction	11
6.2 Processus de Traitement des Questions	11
6.2.1 Enrichissement contextuel	12
6.3 Format des Réponses et Conversion	12
6.3.1 Conversion Markdown en HTML	13
6.4 Exemples d'Interactions Utilisateur	13
6.5 Défis Techniques et Solutions	14

7	Test	15
7.1	Méthodologie des Tests	16
7.2	Résultats des Tests	16
7.3	Analyse des Résultats et Feedback Utilisateur	18
8	Intégration au Site Web	19
8.1	Interface de la Popup	19
8.2	Fonctionnalités Clés	19
8.3	Animation d'Attention	19
8.4	Objectifs de l'Intégration	19
9	Simulation	21
9.1	Description de l'environnement de simulation	21
9.2	Paramètres du système de simulation	21
9.3	Scénarios de simulation et résultats	22
9.4	Analyse des Résultats de la Simulation	23
9.4.1	Comparaison avec un Système sans Chatbot	23
9.4.2	Impact du Chatbot (Intelligence 50.00%)	23
9.4.3	Augmentation de l'Intelligence du Chatbot	24
9.4.4	Réduction de la Charge de Travail Humaine	24
9.4.5	Réduction du Nombre d'Agents Humains Nécessaires	25
10	Conclusion	26
	Références bibliographiques (norme IEEE)	29

Table des figures

1	UiT Campus	3
2	Organisation hiérarchique à l'Université de l'Arctique de Norvège (UiT)	4
3	Diagramme de Gantt Prévisionnel	5
4	Flow chart du Chat bot	11
5	Interface de Test du Chatbot	15
6	Répartition des notes attribuées par les utilisateurs	17
7	Interface chatbot UiT fermer	20
8	Interface chatbot UiT ouvert	20

Résumé

Ce projet de stage a porté sur le développement et l'intégration d'un chatbot pour le programme de Master en Ingénierie Industrielle de l'Université de Narvik (UiT) en Norvège. L'objectif était de créer un outil capable de fournir des réponses automatiques et contextuellement appropriées aux questions des étudiants potentiels, améliorant ainsi leur accès à l'information et réduisant la charge de travail des agents humains. Pour ce faire, j'ai utilisé l'API GPT-3.5 Turbo, un grand modèle de langage (LLM), pour générer des réponses précises. Le processus de développement a inclus une analyse approfondie des besoins des parties prenantes, la conception et la mise en œuvre du chatbot, ainsi que des tests rigoureux pour évaluer son efficacité. Les résultats des tests ont montré une satisfaction élevée des utilisateurs, avec une réduction notable des temps de réponse et des abandons. La simulation réalisée avec AnyLogic a confirmé l'efficacité du chatbot, démontrant une amélioration significative par rapport aux solutions précédentes. En intégrant cette technologie, l'UiT peut offrir une expérience utilisateur améliorée et une meilleure allocation de ses ressources humaines.

Mots-clés : Chatbot, Ingénierie Industrielle, UiT, Norvège, GPT-3.5 Turbo, LLM, Simulation, AnyLogic.

Abstract

This internship project focused on the development and integration of a chatbot for the Master's program in Industrial Engineering at Narvik University (UiT) in Norway. The goal was to create a tool capable of automatically providing contextually appropriate answers to potential students' questions, thereby improving their access to information and reducing the workload of human agents. I used the GPT-3.5 Turbo API, a large language model (LLM), to generate precise responses. The development process included a thorough analysis of stakeholder needs, the design and implementation of the chatbot, and rigorous testing to evaluate its effectiveness. Test results showed high user satisfaction, with notable reductions in response time and drop-offs. Simulation conducted with AnyLogic confirmed the chatbot's effectiveness, demonstrating significant improvements over previous solutions. By integrating this technology, UiT can offer an enhanced user experience and better allocation of its human resources.

Keywords : Chatbot, Industrial Engineering, UiT, Norway, GPT-3.5 Turbo, LLM, Simulation, AnyLogic.

Glossaire

- AnyLogic** Logiciel de modélisation à événements discrets utilisé pour simuler le flux d'arrivée d'utilisateurs dans un système de service à la clientèle. 21, 22, 26, V
- API** Application Programming Interface, un ensemble de fonctions et de procédures permettant la création d'applications accédant aux fonctionnalités ou aux données d'un autre service ou logiciel. 9, 11, 12, 14, 26, V
- BERT** Bidirectional Encoder Representations from Transformers, un modèle de langage pré-entraîné basé sur les transformateurs, efficace pour capturer les relations contextuelles entre les mots dans une phrase. 8
- CAO/FAO** Conception Assistée par Ordinateur / Fabrication Assistée par Ordinateur, techniques utilisées pour concevoir et fabriquer des produits avec l'aide de logiciels informatiques. 3
- ELIZA** Un programme informatique de traitement du langage naturel développé dans les années 1960 par Joseph Weizenbaum au MIT, conçu pour simuler une conversation en langue naturelle. ELIZA a été l'un des premiers programmes de chatbot et a démontré les possibilités et les limites des interactions homme-machine. 1
- GPT** Generative Pre-trained Transformer, une architecture de modèle de langage développée par OpenAI, capable de générer du texte cohérent et contextuellement pertinent en fonction d'un grand nombre de paramètres d'entrée. Les versions avancées de GPT, comme GPT-3.5 et GPT-4, sont largement utilisées dans des applications allant de l'assistance virtuelle à la génération de contenu créatif. 1
- GPT-3.5 Turbo** Modèle de langage développé par OpenAI, utilisé pour générer des réponses contextuellement appropriées dans le développement du chatbot. 7, 9–12, 14, 26, V
- HTML** HyperText Markup Language, le langage standard utilisé pour créer et structurer des pages web. 12, 14
- LLM** Large Language Model, un grand modèle de langage capable de générer du texte cohérent et pertinent en fonction du contexte donné. 1, 9, 10, 26, II, V
- Markdown** Langage de balisage léger permettant de formater du texte de manière simple et lisible. 12, 14

NLP Natural Language Processing, technologie de traitement du langage naturel utilisée pour développer des chatbots et d'autres applications de traitement du texte. 1, 2, 26, 27

RNN Recurrent Neural Network, un réseau de neurones récurrents capable de capturer des dépendances temporelles dans les données. 8

SVM Support Vector Machines, des machines à vecteurs de support, un type de classificateur utilisé pour la détection d'intention dans les modèles de chatbot. 8

UiT Université de l'Arctique de Norvège (Arctic University of Norway), située principalement dans le nord de la Norvège. 1, 3, 4, 6, 8, 9, 12, 15, 16, 18, 19, 26, 27, I, V

1 Introduction

L'évolution rapide des technologies de traitement du langage naturel (NLP) et des chatbots a profondément transformé la manière dont les entreprises et les institutions interagissent avec leurs clients et utilisateurs. Depuis les premiers systèmes de traitement du langage rudimentaires dans les années 1960, comme ELIZA[1], jusqu'aux modèles sophistiqués actuels tels que GPT[2], les progrès ont été considérables. Ces innovations ont permis de créer des systèmes capables de comprendre et de générer du langage naturel avec une précision et une fluidité impressionnantes. Cette transformation s'étend à divers domaines, y compris l'éducation, où l'intégration de ces avancées peut offrir de nouveaux outils de soutien et d'interaction. Les chatbots peuvent répondre en temps réel à une multitude de questions, fournir des informations personnalisées et guider les utilisateurs à travers des processus complexes, améliorant ainsi l'expérience globale des étudiants et des parties prenantes. C'est dans ce contexte que s'inscrit mon projet de stage, qui vise à développer un chatbot spécifiquement adapté aux besoins des étudiants intéressés par le programme de Master en Ingénierie Industrielle de l'Université de Narvik - l'Arctic University of Norway (UiT).

Le problème principal que ce projet cherche à résoudre est le manque de soutien immédiat et accessible pour les étudiants potentiels qui cherchent des informations sur le programme de Master en Ingénierie Industrielle. Actuellement, les étudiants et les parties prenantes doivent souvent naviguer à travers des sources d'information disparates ou attendre des réponses à leurs questions, ce qui peut décourager certains candidats. Par conséquent, l'objectif est de créer un chatbot capable de répondre automatiquement à une gamme prédéfinie de questions liées à ce programme d'études, améliorant ainsi l'expérience utilisateur et facilitant l'accès à l'information. De plus, ce projet vise à réduire la charge de travail humaine nécessaire pour répondre à ces questions, permettant ainsi une meilleure allocation des ressources humaines.

Ce projet s'inscrit dans la continuité d'une tentative antérieure de simulation de chatbot, qui n'avait pas donné des résultats fructueux. Environ 50% des utilisateurs de ce système expérimental se sont déclarés insatisfaits des services de chatbot[3]. Cette précédente expérience souligne l'importance d'une analyse approfondie et d'une conception minutieuse pour répondre efficacement aux attentes des utilisateurs. Cependant, la réelle différence entre la première étude d'intégration de chatbot dans le système de l'UiT et aujourd'hui réside dans l'évolution rapide des technologies et l'explosion des grands modèles de langage (LLM). Les LLM modernes, tels que ChatGPT, offrent des capacités de traitement du langage naturel beaucoup plus avancées et une meilleure compréhension contextuelle, permettant de créer des chatbots beaucoup plus performants et efficaces.

Le processus de développement du chatbot impliquera plusieurs étapes clés, structurées pour garantir une approche méthodique et efficace. Premièrement, une analyse approfondie des parties prenantes sera menée pour identifier les besoins et attentes des utilisateurs potentiels. Cette phase est cruciale pour s'assurer que le chatbot répond aux véritables exigences des utilisateurs. Cette analyse comprendra des entretiens, des sondages et l'examen de données historiques pour bien comprendre les questions fréquemment posées et les défis actuels rencontrés par les utilisateurs. Ensuite, nous procéderons à la conception et à la mise en œuvre d'une solution prototype de chatbot, intégrant les retours des parties prenantes pour maximiser sa pertinence et son utilité. Le prototype sera développé en utilisant des technologies avancées de NLP et sera testé dans des scénarios réalistes pour évaluer ses performances et son ergonomie. Une fois le prototype développé, des tests rigoureux seront effectués auprès d'un échantillon représentatif d'utilisateurs potentiels pour évaluer l'efficacité et l'ergonomie de la solution. Les données et commentaires recueillis au cours de cette phase seront utilisés pour itérer et améliorer le chatbot. Enfin, une simulation sera réalisée pour évaluer la performance du chatbot dans des conditions proches de la réalité, utilisant des outils de simulation pour modéliser l'interaction utilisateur et prévoir les résultats à grande échelle.

Ce projet offre une opportunité unique d'acquérir et de développer une gamme de compétences multidisciplinaires, allant de l'analyse des parties prenantes à la gestion de projet, le développement de chatbots et l'évaluation de leurs performances à l'aide de simulations. En développant ce chatbot, nous visons à créer un outil puissant et efficace qui non seulement répond aux besoins actuels des étudiants et des parties prenantes, mais qui peut également évoluer pour s'adapter aux futurs défis et opportunités dans le domaine de l'éducation.

2 UiT the arctic university norway

L'Université de l'Arctique de Norvège (UiT) figure parmi les principales institutions académiques du pays, offrant une vaste gamme de programmes éducatifs et de recherche de haute qualité. Située principalement dans le nord de la Norvège, l'UiT dispose de onze campus répartis dans des villes telles que Narvik où je me trouvais mais aussi Tromsø, Alta et Harstad, créant ainsi un environnement d'apprentissage diversifié et stimulant. [4]



FIGURE 1 – UiT Campus

Le programme de Master of Science en Ingénierie Industrielle de l'UiT est conçu pour doter les étudiants des connaissances et compétences nécessaires à l'utilisation de techniques, outils et méthodologies adaptés pour identifier, formuler, analyser et résoudre des problèmes complexes en ingénierie et gestion. Ce programme couvre divers domaines, incluant la CAO/FAO, la robotique industrielle, l'optimisation et la gestion des données, la fabrication virtuelle et intégrée, ainsi que la gestion de la chaîne d'approvisionnement.

Pour mon stage, j'ai eu l'honneur de travailler à l'UiT sous la supervision de Hao Yu, membre du département d'Ingénierie Industrielle. Hao Yu est affilié au groupe de recherche Intelligent Manufacturing and Logistics, qui vise à devenir un leader national et international dans des domaines scientifiques tels que la robotique, la logistique, l'automatisation, l'ingénierie de production, la fabrication additive, l'interaction homme-machine et la collaboration homme-robot.

Ce groupe de recherche se situe à l'avant-garde du développement stratégique de la technologie. Dans une région caractérisée par de grandes distances et un climat rigoureux, des solutions technologiques innovantes sont indispensables pour offrir des services de bien-être aux résidents. Le groupe contribue à l'avancement des connaissances sur des solutions technologiques favorisant un développement social inclusif et une diversification des activités économiques dans le nord. Il se concentre également sur des technologies répondant aux défis de santé, d'environnement externe et de sécurité, ainsi que sur la compétence numérique dans l'éducation.

Pendant mon stage, j'ai travaillé de manière autonome sur le projet de développement d'un chatbot destiné à répondre aux questions sur le master d'ingénierie industrielle, bénéficiant de l'expertise et des conseils de Hao Yu tout au long du processus.

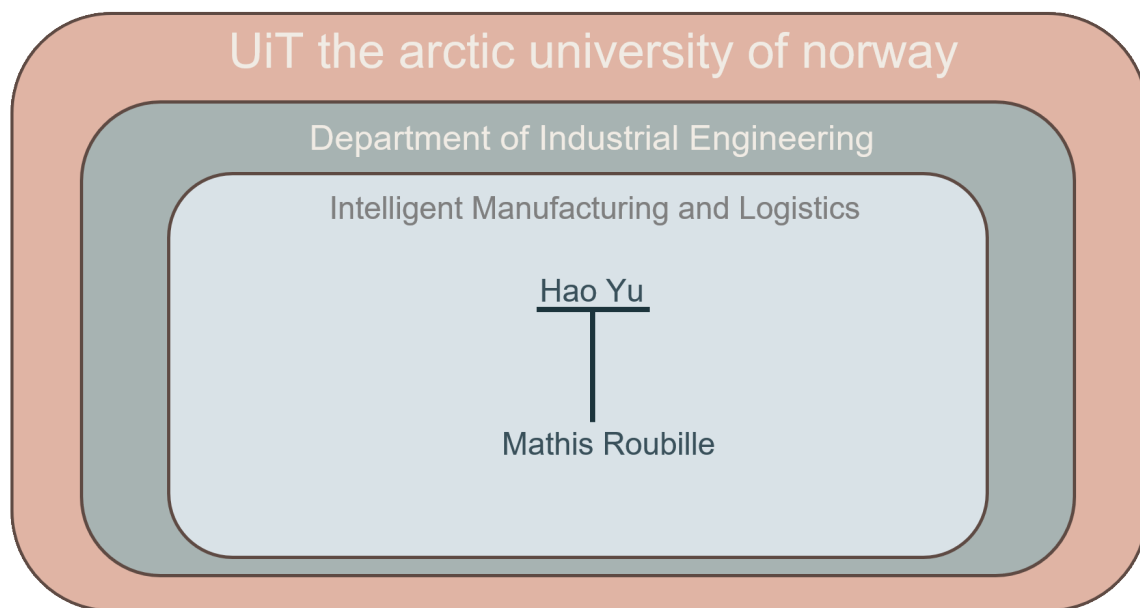


FIGURE 2 – Organisation hiérarchique à l'Université de l'Arctique de Norvège (UiT)

3 Planification

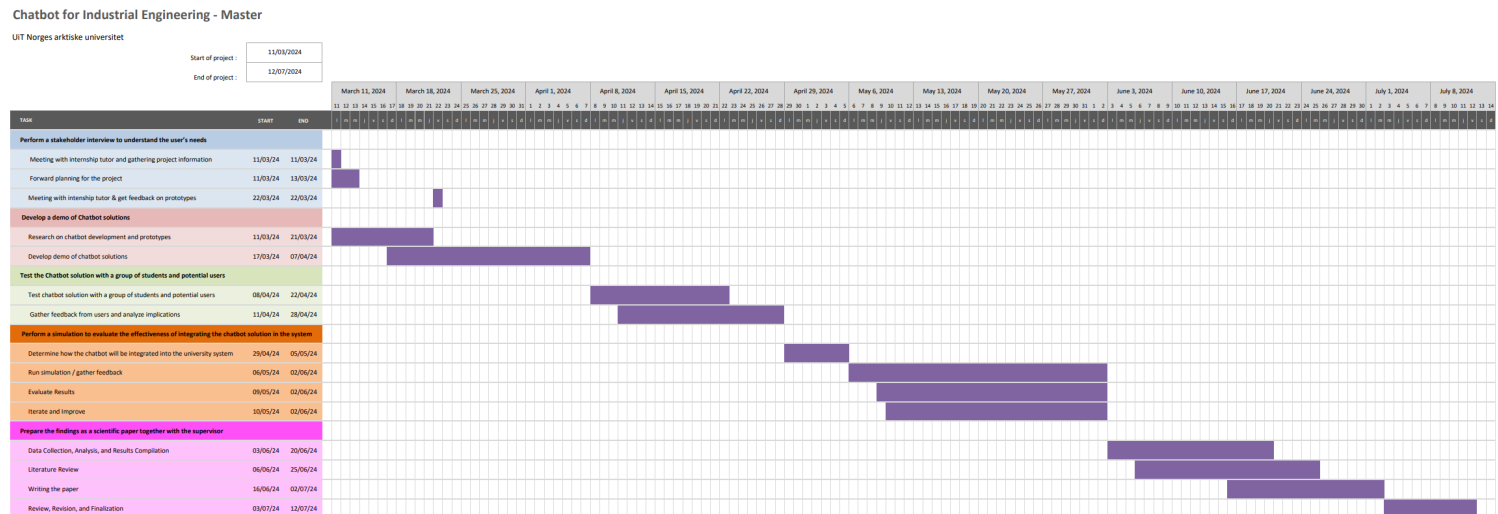


FIGURE 3 – Diagramme de Gantt Prévisionnel

Le projet a suivi une planification répartie en cinq phases principales. La première phase a été consacrée à la réalisation d'entretiens avec les parties prenantes pour bien comprendre leurs besoins. Cette étape a été suivie par le développement d'une démonstration des solutions de chatbot. Ensuite, nous avons testé la solution de chatbot avec un groupe d'étudiants et d'utilisateurs potentiels afin de recueillir leurs retours et d'analyser les implications. Par la suite, une simulation a été effectuée pour évaluer l'efficacité de l'intégration du chatbot dans le système universitaire. Enfin, la dernière étape a consisté à compiler et présenter les résultats sous forme de papier scientifique, en collaboration avec mon tuteur.

Le projet s'est déroulé presque exactement comme prévu selon le diagramme de Gantt prévisionnel. Le diagramme de Gantt avait été soigneusement élaboré pour détailler les différentes étapes du projet et les échéances associées. Grâce à une planification rigoureuse et une exécution disciplinée, chaque phase a été réalisée dans les délais impartis, permettant ainsi de maintenir un alignement constant avec le calendrier initialement établi.

4 Analyse des besoins des parties prenantes

L'analyse des besoins des parties prenantes est une étape cruciale dans le développement de tout système. Pour ce projet, des entretiens approfondis ont été menés avec divers acteurs, y compris les étudiants et le personnel administratif de l'UiT. Ces entretiens ont permis de recueillir des informations précieuses sur les attentes et les besoins spécifiques des utilisateurs. Cette section détaille le processus d'analyse, les besoins identifiés, et les implications pour le développement du chatbot.

4.0.1 Préparation des tests et entretiens

Pendant les entretiens, les parties prenantes ont été invitées à interagir avec le chatbot actuel. Elles ont été encouragées à poser des questions typiques qu'elles recevraient ou qu'elles poseraient concernant le programme de Master en Ingénierie Industrielle de l'UiT. Après cette interaction, des entretiens structurés ont été menés pour discuter de leur expérience.

- **Étudiants** : Les étudiants ont testé le chatbot en posant des questions sur les cours, les admissions, les services étudiants, les logements, les aides sociales...
- **Personnel administratif** : Le personnel administratif a testé le chatbot sur des questions liées à l'administration, à la gestion des étudiants, aux groupes de recherche, au contenu des cours, aux ressources disponibles...

Besoins exprimés	Priorité
Réponses rapides et précises aux questions académiques	Haute
Réduction de la charge de travail liée aux questions récurrentes	Moyenne
Amélioration de l'efficacité des services d'information	Haute

TABLE 1 – Résumé des besoins des parties prenantes

4.1 Résultats de l'analyse

Les résultats des entretiens ont révélé plusieurs besoins clés parmi les différentes parties prenantes :

- **Étudiants** : Les étudiants ont exprimé le besoin de recevoir des réponses rapides et précises à leurs questions académiques. Ils souhaitent également pouvoir accéder à ces informations en dehors des heures de bureau pour une plus grande flexibilité.
- **Personnel administratif** : Le personnel administratif a souligné la nécessité de réduire la charge de travail liée à la gestion des questions récurrentes des étudiants. Ils préfèrent que le chatbot traite les questions fréquentes, leur permettant ainsi de se concentrer sur

des tâches plus complexes et pédagogiques et un besoin d'améliorer l'efficacité des services d'information pour les étudiants potentiels et actuels. Un chatbot capable de gérer les demandes courantes peut libérer du temps pour des tâches administratives plus critiques.

4.2 Implications pour le développement du chatbot

Les informations recueillies lors des entretiens ont été essentielles pour orienter le développement du chatbot. Elles ont permis d'identifier les fonctionnalités prioritaires et d'assurer que le chatbot répondrait aux attentes des utilisateurs finaux. Voici quelques implications clés pour le développement :

- **Base de connaissances** : Une base de connaissances exhaustive a été développée pour couvrir les questions académiques fréquemment posées par les étudiants. Cette base de connaissances est régulièrement mise à jour pour rester pertinente.
- **Réponses contextuelles** : Le chatbot a été conçu pour fournir des réponses contextuelles précises, en utilisant des modèles de langage avancés comme GPT-3.5 Turbo.
- **Réduction de la charge de travail** : En automatisant les réponses aux questions récurrentes, le chatbot aide à réduire la charge de travail des professeurs et du personnel administratif, leur permettant de se concentrer sur des tâches plus stratégiques.

La méthodologie employée pour la conception du chatbot comprenait plusieurs étapes clés : la collecte de données, l'analyse des exigences, le développement et les tests. Toutes ces étapes ont été réalisées en étroite collaboration avec les parties prenantes pour s'assurer que les besoins identifiés étaient bien compris et adressés.

En conclusion, l'analyse des besoins des parties prenantes a joué un rôle crucial dans la réussite du projet. En comprenant les attentes spécifiques des utilisateurs finaux, le développement du chatbot a pu être orienté pour répondre efficacement à leurs besoins, garantissant ainsi une adoption et une satisfaction maximales.

5 Choix de la Technologie pour le Développement du Chatbot

5.1 Introduction

Cette section du rapport examine les différentes technologies utilisées dans le développement de chatbots alimentés par l'IA. L'objectif principal est de sélectionner une technologie appropriée en fonction des besoins spécifiques du projet, en tenant compte des avantages et des défis associés à chaque approche.

5.2 Modèles de Détection d'Intention

Initialement, j'ai envisagé d'utiliser un modèle de détection d'intention pour le chatbot. Ce type de modèle nécessite l'entraînement sur des données annotées, où chaque question est associée à une intention prédéfinie et à plusieurs réponses possibles [5].

Différents modèles de détection d'intention peuvent être utilisés, allant des classificateurs simples comme les machines à vecteurs de support (SVM) aux modèles plus complexes comme les réseaux neuronaux récurrents (RNN) ou les transformateurs [6]. Les SVM sont généralement simples à mettre en œuvre mais peuvent manquer de précision dans des cas plus complexes. Les RNN, en revanche, sont capables de capturer des dépendances temporelles dans les données, ce qui peut être bénéfique pour la détection d'intention dans des dialogues plus longs ou plus complexes. Les transformateurs, en particulier les modèles de langage pré-entraînés comme BERT, peuvent également être efficaces car ils capturent les relations contextuelles entre les mots dans une phrase, ce qui est crucial pour comprendre le sens des questions [7].

Cependant, les modèles de détection d'intention ont leurs limites. Ils nécessitent une large quantité de données annotées couvrant diverses façons de poser une question, ainsi que des informations sur les questions spécifiques posées. Même avec un entraînement adéquat, il est difficile d'assurer que toutes les réponses seront satisfaisantes pour les utilisateurs, car celles-ci sont prédéfinies à l'avance. Trouver une réponse exacte est rare, et il est presque impossible de couvrir efficacement plusieurs langues, ce qui est crucial pour une institution comme l'UiT qui accueille des étudiants étrangers.

5.3 Utilisation des Grands Modèles de Langage (LLM)

C'est pourquoi j'ai opté pour l'utilisation d'un grand modèle de langage (LLM), plus précisément l'API GPT-3.5 Turbo. Un LLM fonctionne en générant du texte cohérent et pertinent en fonction du contexte donné. Le modèle est pré-entraîné sur une vaste quantité de données textuelles provenant d'Internet, ce qui lui permet d'avoir une compréhension approfondie du langage naturel et de générer des réponses contextuellement appropriées [2]. On peut voir un LLM comme une version améliorée des systèmes de prédiction de mots que l'on retrouve sur nos téléphones.

Il existe d'autres options de LLM en dehors de GPT-3.5 Turbo. Par exemple, Mistral est un LLM français qui, dans ses versions les plus petites, peut fonctionner localement tout en offrant des réponses de qualité comparable à celles de GPT-3.5 Turbo. Toutefois, la mise en place de Mistral aurait nécessité plus de travail et de recherche, sans que le gain en coût soit nécessairement significatif. Les LLM en général, y compris GPT-3.5 Turbo et Mistral, représentent des avancées majeures dans le traitement du langage naturel, mais leur efficacité dépend souvent de divers facteurs tels que la taille du modèle, la qualité des données d'entraînement et la capacité de traitement disponible.

Un avantage notable de GPT-3.5 Turbo est son coût économique abordable, avec des tarifs compétitifs pour les prédictions, ce qui le rend particulièrement attractif pour des applications à grande échelle comme celle envisagée pour le chatbot de l'UiT.

Malgré l'existence de GPT-4 au moment du choix initial, j'ai décidé de ne pas opter pour cette version. GPT-3.5 Turbo offrait déjà des performances satisfaisantes pour les besoins du chatbot en développement, et les clés d'accès disponibles pour GPT-3.5 Turbo ont facilité le développement et les tests initiaux.

Un problème potentiel avec l'utilisation de LLM comme GPT-3.5 Turbo est la possibilité pour le chatbot de générer des réponses incorrectes ou non vérifiées, puisque le modèle vise principalement à fournir une information cohérente plutôt qu'exacte. Cependant, après de nombreux tests, le chatbot n'a jamais donné de réponse qui ne soit pas basée sur les informations fournies, et il a correctement indiqué lorsqu'il n'avait pas l'information nécessaire. De plus, le chatbot est conçu pour répondre uniquement aux questions dans le contexte fourni, afin d'éviter qu'il soit utilisé pour répondre à des questions hors sujet [5].

5.4 Conclusion

En conclusion, le choix d'un LLM comme GPT-3.5 Turbo pour le développement du chatbot repose sur sa capacité à fournir des réponses précises et contextuellement appropriées dans diverses langues, tout en offrant un coût économique avantageux pour les prédictions. Malgré quelques limitations potentielles, ce modèle représente une avancée significative dans le domaine du traitement du langage naturel pour les applications de chatbot.

6 Fonctionnement

6.1 Introduction

Cette section explore le fonctionnement détaillé du chatbot développé, en mettant l'accent sur le processus de traitement des questions des utilisateurs et la génération de réponses via l'API GPT-3.5 Turbo.

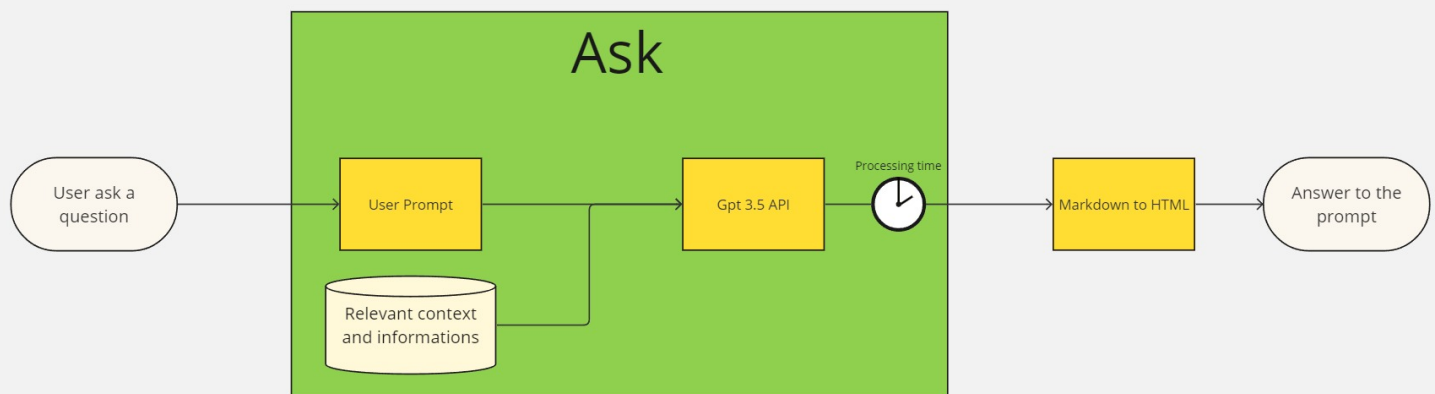


FIGURE 4 – Flow chart du Chat bot

6.2 Processus de Traitement des Questions

Le rôle principal du chatbot est de servir d'intermédiaire entre l'utilisateur et l'API GPT-3.5 Turbo, facilitant ainsi la communication et le traitement des questions et des réponses. Lorsqu'il reçoit une question de l'utilisateur, le chatbot effectue plusieurs étapes de traitement. Tout d'abord, il extrait le texte brut de la question de l'utilisateur. Ensuite, il enrichit cette question en lui fournissant le contexte de la conversation actuelle, ainsi que des informations complémentaires sur le diplôme, l'université de Narvik, et d'autres sujets pertinents. Ces données sont essentielles pour que l'API GPT-3.5 Turbo dispose d'une base de connaissances actualisée et précise sur le sujet abordé.

6.2.1 Enrichissement contextuel

Après l'extraction, le chatbot enrichit la question avec le contexte de la conversation actuelle et des informations complémentaires. Cela inclut des détails tels que les questions précédentes posées dans la même session, ainsi que des informations spécifiques sur les programmes, les cours de l'UiT, la vie étudiante, les logements, l'accès à Narvik et d'autres sujets pertinents.

La base d'informations du chatbot provient principalement du site web de l'UiT, où des données sur le programme d'ingénierie industrielle à Narvik et d'autres sujets connexes sont disponibles. Cette base de données a ensuite été complétée par les informations fournies par des étudiants et d'autres personnes de l'UiT, ainsi que par mes propres expériences à l'UiT et à Narvik. J'ai veillé à ce que cette base de connaissances soit aussi complète que possible, en ajoutant des détails pertinents et en mettant à jour les informations.

Une fois que la question de l'utilisateur est enrichie avec le contexte et les informations complémentaires, le chatbot la transmet à l'API GPT-3.5 Turbo pour obtenir une réponse. La réponse générée par l'API GPT-3.5 Turbo est alors renvoyée au chatbot.

6.3 Format des Réponses et Conversion

La réponse fournie par l'API GPT-3.5 Turbo est en format Markdown. Markdown est un langage de balisage léger qui permet de formater du texte de manière simple et lisible, en ajoutant des balises comme gras, italique, ou en créant des listes à puces. Cependant, pour être affichée correctement sur une page web ou dans une application, la réponse doit être convertie en format HTML.

6.3.1 Conversion Markdown en HTML

Le processus de conversion de Markdown en HTML est crucial pour garantir que les réponses soient affichées de manière cohérente et esthétique sur le site web de l'UIT. Ce processus inclut la conversion de divers éléments Markdown en balises HTML correspondantes tout en évitant les risques potentiels d'injection de code.

Pour éviter toute possibilité d'injection de code, plusieurs précautions sont prises. Tout d'abord, les caractères de balisage Markdown sont soigneusement remplacés par leurs équivalents HTML de manière sécurisée. Par exemple, les doubles astérisques ou underscores utilisés pour le texte en gras sont convertis en balises '``', tandis que les simples astérisques ou underscores pour l'italique sont convertis en balises '``'.

De plus, les liens hypertexte en Markdown, qui sont représentés par '[texte du lien](URL)', sont convertis en balises '`<a>`' en HTML. Chaque lien est vérifié pour s'assurer qu'il ne contient pas de contenu malveillant. Les balises HTML sont générées de manière sécurisée pour éviter toute exécution de code injecté.

Voici un exemple de conversion :

- **Markdown** : `***Ce cours est requis***`
- **HTML** : `Ce cours est requis`

Ce processus de conversion permet de garantir que les réponses du chatbot sont correctement formatées et sécurisées avant d'être affichées sur le site web ou dans l'application.

6.4 Exemples d'Interactions Utilisateur

Pour illustrer le fonctionnement du chatbot, voici quelques exemples d'interactions typiques :

- **Question** : "Quels sont les prérequis pour le cours de robotique ?"
- **Réponse** : "Les prérequis pour le cours de robotique incluent une connaissance de base en programmation et en mathématiques appliquées. Vous pouvez trouver plus d'informations [ici](http://example.com/robotique)."
- **Question** : "Quand commence le semestre d'automne ?"
- **Réponse** : "Le semestre d'automne commence le 21 août. Vous pouvez consulter le calendrier académique complet [ici](http://example.com/calendrier)."
- **Question** : "Y a-t-il des bourses disponibles pour les étudiants internationaux ?"
- **Réponse** : "Oui, plusieurs bourses sont disponibles pour les étudiants internationaux. Vous pouvez trouver la liste complète des bourses et les critères d'éligibilité [ici](http://example.com/bourses)."

6.5 Défis Techniques et Solutions

Le développement du chatbot a impliqué plusieurs défis techniques :

- **Gestion des langues multiples** : Assurer que le chatbot peut comprendre et répondre dans plusieurs langues a nécessité des ajustements des modèles linguistiques et l'intégration de données multilingues.
- **Optimisation des temps de réponse** : Bien que GPT-3.5 Turbo soit rapide, l'optimisation des temps de réponse pour garantir une interaction fluide a nécessité des ajustements dans la gestion des requêtes et des réponses.

En conclusion, le chatbot enrichit la question de l'utilisateur, la transmet à l'API GPT-3.5 Turbo pour obtenir une réponse en format Markdown, puis convertit cette réponse en HTML pour l'affichage sur une page web ou dans une application. Ce processus permet au chatbot de fournir des réponses précises et bien formatées aux questions des utilisateurs.

7 Test

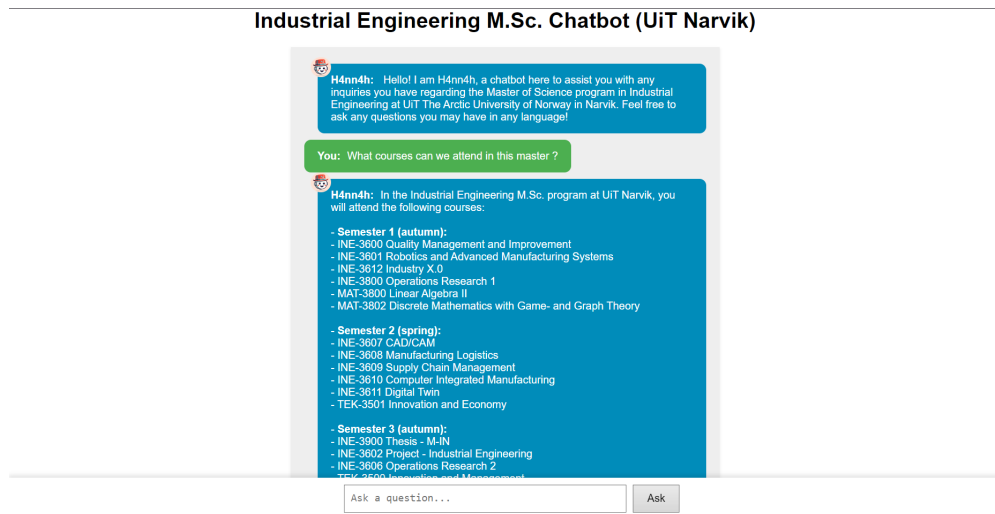


FIGURE 5 – Interface de Test du Chatbot

La phase de test du chatbot s'est déroulée sur une période de trois semaines. Une interface dédiée, comprenant uniquement le chatbot, a été créée pour permettre une évaluation précise de ses performances. Le chatbot a été déployé sur un serveur temporaire accessible à tous les participants, y compris les étudiants et le personnel de l'UiT, afin de recueillir des retours utilisateurs dans des conditions réelles d'utilisation.

Les tests ont été conçus pour couvrir divers aspects de l'interaction utilisateur avec le chatbot. Les utilisateurs ont été encouragés à poser une variété de questions, allant des informations générales sur le programme de Master en Ingénierie Industrielle aux détails spécifiques sur les cours et les services disponibles. Chaque interaction a été suivie d'une évaluation, où les utilisateurs étaient invités à noter la réponse fournie par le chatbot sur une échelle de 1 à 5, où 1 représentait une réponse insatisfaisante et 5 une réponse très satisfaisante. Ils avaient également la possibilité d'ajouter des commentaires pour aider à améliorer le système, fournissant ainsi des aperçus précieux sur l'expérience utilisateur et les domaines nécessitant des ajustements.

7.1 Méthodologie des Tests

La méthodologie des tests comprenait plusieurs étapes clés :

1. **Sélection des participants** : Les participants aux tests comprenaient des étudiants actuels, des professeurs, et du personnel administratif de l'UiT. Cette diversité a permis de recueillir une gamme variée de retours.
2. **Collecte des données** : Les interactions ont été enregistrées, et des données ont été collectées sur le type de questions posées, les réponses fournies, le temps de réponse, et les évaluations des utilisateurs.
3. **Analyse des données** : Les données collectées ont été analysées pour évaluer la performance du chatbot, en se concentrant sur la précision des réponses, la satisfaction des utilisateurs, et les domaines nécessitant des améliorations.

Pendant cette phase de test, j'ai collecté plusieurs types de données : les questions posées par les utilisateurs, les réponses fournies par le chatbot, ainsi que la note attribuée et les commentaires facultatifs donnés par les utilisateurs. De plus, le temps moyen que le chatbot a mis pour répondre à chaque question a été enregistré.

7.2 Résultats des Tests

À la fin des trois semaines de test, j'ai pu recueillir 170 réponses. Sur ces 170 questions, 95% ont été notées entre 4 et 5 sur 5, ce qui indique une satisfaction élevée des utilisateurs quant à la qualité des réponses fournies par le chatbot. Il convient également de noter que les questions ont été posées dans différentes langues, notamment en anglais, français, norvégien, sami et chinois. Bien que l'échantillon de réponses dans des langues autres que l'anglais soit relativement faible, il ne semble pas y avoir de différence significative dans la qualité des réponses en fonction de la langue.

De plus, le temps moyen de réponse du chatbot a été mesuré à environ 2.5 secondes. Cette rapidité de réponse contribue à une expérience utilisateur fluide et satisfaisante.

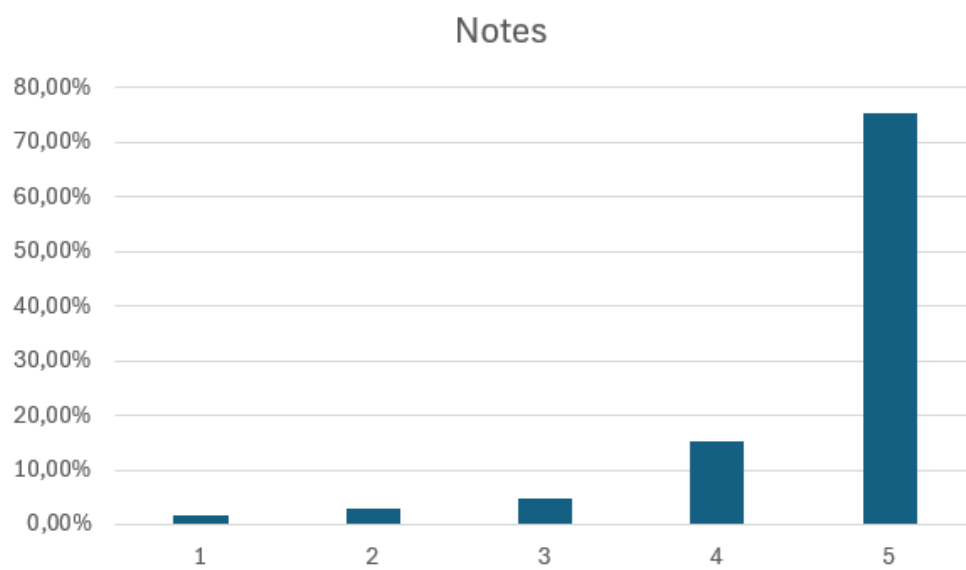


FIGURE 6 – Répartition des notes attribuées par les utilisateurs

7.3 Analyse des Résultats et Feedback Utilisateur

Les résultats des tests ont permis une analyse approfondie des performances du chatbot et des perceptions des utilisateurs. La répartition des notes attribuées par les utilisateurs, comme illustré dans la Figure 6, montre une prédominance des notes élevées, ce qui indique une satisfaction générale quant à la qualité des réponses fournies.

Les commentaires des utilisateurs ont été particulièrement précieux pour identifier les domaines d'amélioration potentiels. Plusieurs utilisateurs ont exprimé leur satisfaction à l'égard de la précision et de la pertinence des réponses du chatbot, ainsi que de sa capacité à traiter des questions dans diverses langues. Voici quelques exemples de feedback utilisateur :

- **Personne A** : "Le chatbot a répondu à ma question sur les prérequis pour le cours de robotique très rapidement et de manière précise. C'est très utile d'avoir une réponse immédiate."
- **Personne B** : "Il manque des informations sur les groupes de recherche du département d'ingénierie industrielle."
- **Personne C** : "Il serait pratique d'avoir des liens précis vers la page web des cours dont il parle."

Les commentaires ont également grandement aidé à compléter les informations manquantes au chatbot et ont permis de corriger tous les problèmes trouvés durant la phase de test. Voici quelques exemples d'améliorations apportées suite aux feedbacks :

- **Enrichissement de la base de connaissances** : Ajout de nouvelles réponses pour des questions fréquemment posées qui n'étaient pas initialement couvertes.
- **Amélioration de l'interface utilisateur** : Simplification de l'interface pour rendre les interactions plus intuitives.

En conclusion, les tests ont validé l'efficacité et la fiabilité du chatbot dans son rôle d'assistant virtuel pour fournir des informations précises et contextualisées aux utilisateurs de l'UiT. Les aperçus tirés de cette phase de test sont essentiels pour orienter les efforts de développement futurs et pour garantir une expérience utilisateur continue et améliorée.

8 Intégration au Site Web

En vue de l'intégration du chatbot sur le site web de l'UiT, j'ai préparé une interface conçue pour offrir un accès facile et intuitif aux utilisateurs. La popup sera positionnée dans le coin inférieur droit de la page, avec une animation subtile pour attirer l'attention des visiteurs vers la fonctionnalité du chatbot.

8.1 Interface de la Popup

L'interface de la popup a été soigneusement conçue pour respecter la charte graphique du site web. Elle est élégante et discrète, intégrant les couleurs et le style visuel déjà présents sur la plateforme.

8.2 Fonctionnalités Clés

Lorsque les utilisateurs accèdent à la popup du chatbot, ils sont accueillis par un message de bienvenue préconfiguré. Ce message initial sert à présenter le chatbot et à expliquer son objectif principal, qui est d'assister les utilisateurs dans la recherche d'informations sur le master et l'UiT.

8.3 Animation d'Attention

Pour capter efficacement l'attention des visiteurs, l'animation de la popup est pensée pour être subtile mais attrayante. Elle utilise des impulsions qui guident naturellement le regard vers la popup sans perturber l'expérience de navigation.

8.4 Objectifs de l'Intégration

L'intégration du chatbot vise à améliorer l'accessibilité des informations pour les utilisateurs intéressés par le master et l'UiT. En fournissant un accès facile et rapide aux réponses, le chatbot contribue à une expérience utilisateur plus satisfaisante et efficace sur notre site web.

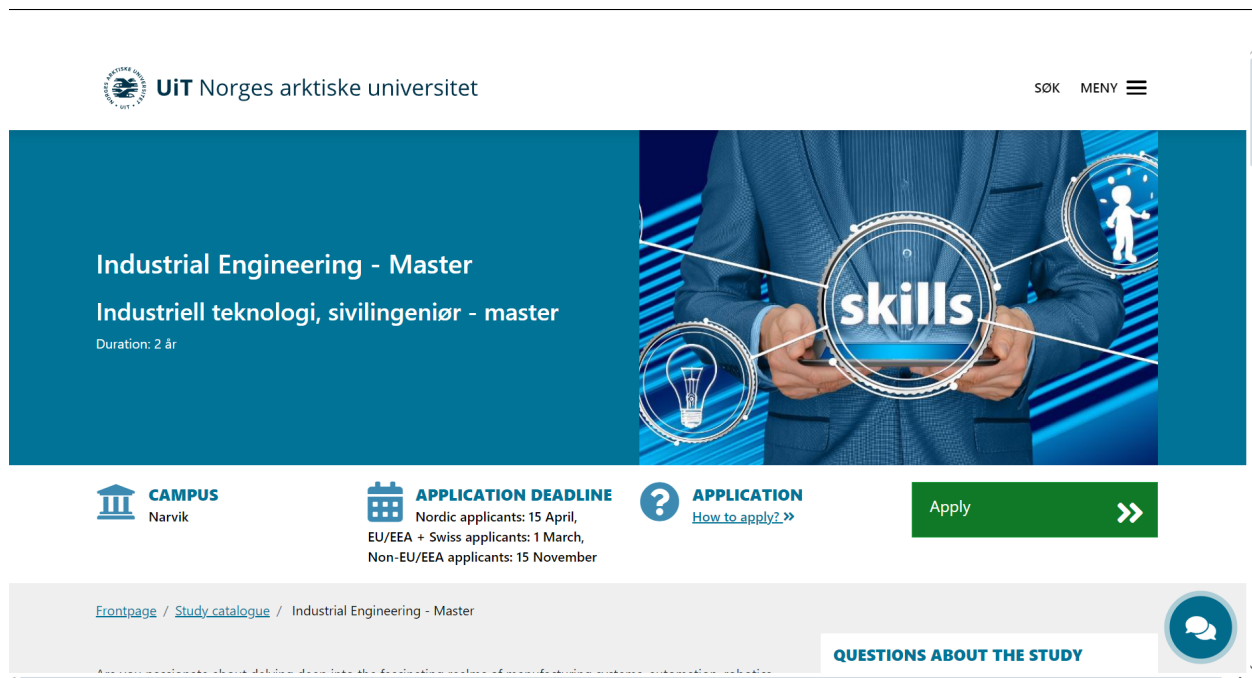


FIGURE 7 – Interface chatbot UiT fermer

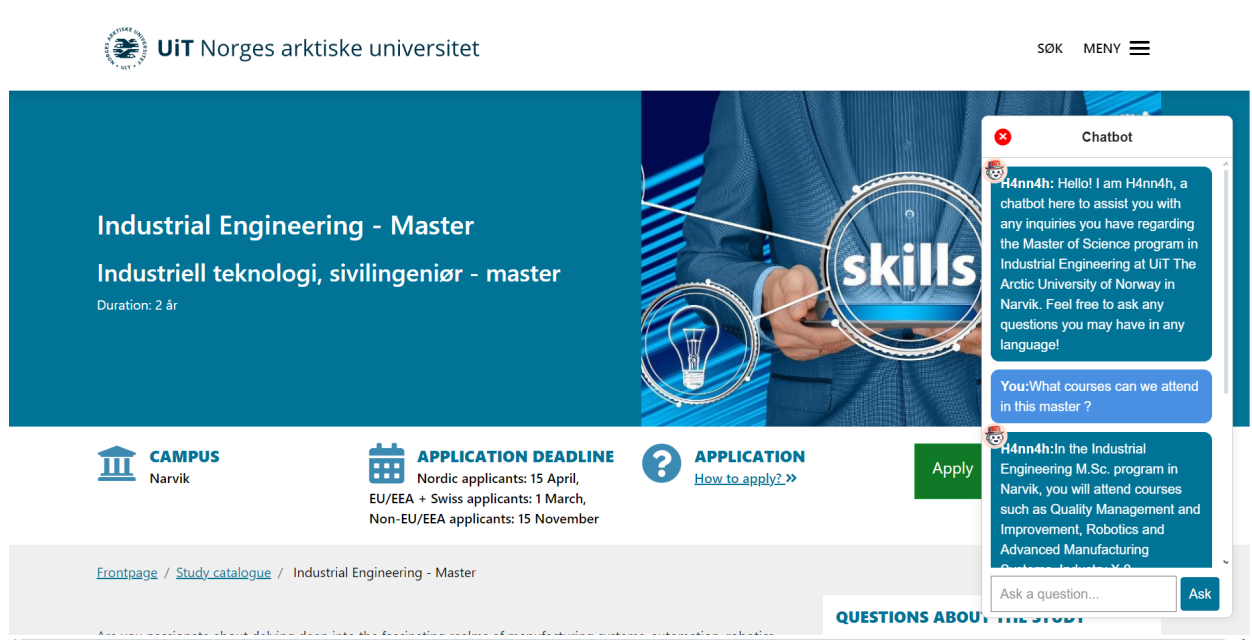


FIGURE 8 – Interface chatbot UiT ouvert

9 Simulation

La phase de simulation est cruciale pour évaluer l'efficacité du chatbot et comparer les résultats à ceux obtenus il y a deux ans. Cette section explore en détail l'environnement de simulation utilisé, les différents scénarios testés et les résultats obtenus, en mettant un accent particulier sur l'analyse comparative avec les simulations précédentes. Une grande partie des valeurs utilisées sont reprise des simulations effectuées il y a 2 ans dans le document "Measuring the effectiveness of AI-enabled chatbots in customer service using AnyLogic"[3].

9.1 Description de l'environnement de simulation

Les simulations ont été réalisées à l'aide d'AnyLogic, un logiciel de modélisation à événements discrets reconnu pour sa flexibilité et sa capacité à modéliser des systèmes complexes pour résoudre une grande variété de problèmes dans de nombreux domaines, par exemple, les systèmes d'impression dans une université [8], les emplacements des comptoirs postaux urbains [9], et l'adoption du lean dans une usine [10]. L'environnement de simulation simule le flux d'arrivée d'utilisateurs dans un système de service à la clientèle où chaque utilisateur interagit d'abord avec un chatbot. Le chatbot est conçu pour gérer simultanément un nombre potentiellement infini d'utilisateurs et sa capacité à satisfaire les utilisateurs dépend de son intelligence attribuée.

Si un utilisateur n'est pas satisfait de la réponse du chatbot, il est redirigé vers un agent humain. Le système humain est équipé de 1 à 2 agents capables de gérer autant d'utilisateurs que d'agents simultanément. Si un utilisateur attend trop longtemps sans réponse, il abandonne le processus selon une distribution de temps d'attente définie par la fonction $\text{Triangular}(2\text{min}, 15\text{min}, 8\text{min})$.

9.2 Paramètres du système de simulation

Les paramètres clés du système de simulation sont résumés ci-dessous :

Paramètre	Valeur
Cadence d'arrivée des utilisateurs (min)	Triangular(0, 3, 1)
Intelligence du chatbot (pourcentage de satisfaction)	50.00%, 79.50%, 85.00%, 90.00%, 95.60%
Nombre d'agents humains	1 ou 2
Délai de réponse du chatbot (min)	Triangular(1, 10, 5)
Délai de réponse des agents humains (min)	Triangular(2, 12, 8)

TABLE 2 – Paramètres du système de simulation

9.3 Scénarios de simulation et résultats

J'ai testé plusieurs scénarios de simulation en faisant varier l'intelligence du chatbot. Pour le premier scénario, j'ai choisie une intelligence de 0% pour le chatbot pour représenter un système sans chatbot, pour le second j'ai utilisé l'intelligence la plus haute testée dans le document "Measuring the effectiveness of AI-enabled chatbots in customer service using AnyLogic"[3], soit 50%. Ensuite, je me suis basé sur les données collectées lors des tests réels : 79.5% correspondant au pourcentage de réponses évaluées à 5/5, et 95.6% correspondant au pourcentage de réponses notées 4/5 ou 5/5. J'ai également effectué des simulations avec des intelligences intermédiaires.

	Nombre d'agents humains	Intelligence du chatbot
1	5	0.00%
2	2	50.00%
3	2	79.50%
4	2	85.00%
5	2	90.00%
6	2	95.60%
7	1	95.60%

TABLE 3 – Paramètres du système de simulation

	Utilisation humaine	Total d'utilisateurs	Répondus par le chatbot	Répondus par l'humain	Départs	Temps moyen (s)
1	99.00%	49 406	0.00%	39.42%	60.58%	618.51
2	100.00%	50 025	49.88%	15.61%	34.48%	614.54
3	92.00%	49 576	79.55%	14.54%	5.91%	444.13
4	80.00%	49 584	85.10%	12.59%	2.31%	405.18
5	59.00%	49 866	90.07%	9.40%	0.53%	371.41
6	27.00%	49 630	95.63%	4.34%	0.03%	340.20
7	48.00%	49 513	95.61%	3.84%	0.55%	341.15

TABLE 4 – Résultats des différents scénarios de simulation

9.4 Analyse des Résultats de la Simulation

L'analyse des résultats de la simulation vise à évaluer l'efficacité du chatbot dans le système de service à la clientèle, en comparant différents scénarios avec des niveaux d'intelligence variés et en examinant l'impact par rapport à un système sans chatbot.

9.4.1 Comparaison avec un Système sans Chatbot

Dans le premier scénario où le chatbot avait une intelligence de 0%, les résultats montrent une dépendance presque totale des agents humains pour répondre aux utilisateurs :

- **Utilisation humaine** : 99.00%
- **Pourcentage de réponses par l'humain** : 39.42%
- **Pourcentage de réponses par le chatbot** : 0.00%
- **Départs (abandons)** : 60.58%
- **Temps moyen de réponse** : 618.51 secondes

Cela démontre que sans chatbot, la charge de travail sur les agents humains est extrêmement élevée, avec un temps moyen de réponse significativement plus long. De plus, le taux élevé de départs suggère une insatisfaction élevée parmi les utilisateurs en raison des temps d'attente prolongés.

9.4.2 Impact du Chatbot (Intelligence 50.00%)

Dans le deuxième scénario avec un chatbot ayant une intelligence de 50.00%, les résultats montrent déjà une réduction notable de la charge humaine :

- **Utilisation humaine** : 100.00%
- **Pourcentage de réponses par le chatbot** : 49.88%
- **Pourcentage de réponses par l'humain** : 15.61%
- **Départs (abandons)** : 34.48%
- **Temps moyen de réponse** : 614.54 secondes

Bien que la majorité des réponses soient encore gérées par les agents humains, l'introduction du chatbot a permis de réduire le temps moyen de réponse global et de distribuer la charge de travail de manière plus équilibrée. Le taux de départs a également diminué, indiquant une amélioration de l'expérience utilisateur grâce à des temps d'attente plus courts.

9.4.3 Augmentation de l'Intelligence du Chatbot

À mesure que l'intelligence du chatbot augmente, on observe une diminution significative de la charge de travail humaine et une amélioration correspondante des performances globales du système :

- Pour une intelligence de 79.50%, le pourcentage de réponses par le chatbot augmente à 79.55%, réduisant encore la charge humaine et les délais de réponse.
- À 95.60% d'intelligence, le chatbot répond à 95.63% des requêtes, laissant seulement 4.34% des réponses à l'agent humain. Le temps moyen de réponse est également considérablement réduit à 340.20 secondes.

9.4.4 Réduction de la Charge de Travail Humaine

En général, l'introduction et l'amélioration de l'intelligence du chatbot ont un impact direct sur la réduction de la charge de travail humaine :

- Les pourcentages élevés de réponses par le chatbot dans les scénarios à intelligence élevée (>85.00%) montrent que le chatbot peut gérer efficacement la majorité des interactions, permettant aux agents humains de se concentrer sur les cas plus complexes.
- Cela se traduit par des temps moyens de réponse plus courts et une meilleure répartition des ressources humaines disponibles, améliorant ainsi l'efficacité opérationnelle et la satisfaction client.

9.4.5 Réduction du Nombre d'Agents Humains Nécessaires

La réduction progressive du pourcentage de réponses nécessitant l'intervention humaine suggère une diminution potentielle du nombre d'agents humains requis pour maintenir un service efficace :

- Comparativement au scénario sans chatbot, où pratiquement toutes les réponses étaient traitées par des agents humains, les scénarios avec des intelligences de chatbot plus élevées nécessitent moins d'intervention humaine.
- Cela pourrait conduire à des économies de coûts opérationnels et à une allocation plus efficace des ressources humaines, tout en maintenant des niveaux élevés de satisfaction client grâce à des réponses plus rapides et précises.

En conclusion, l'intégration d'un chatbot avec une intelligence adaptée permet non seulement d'améliorer l'efficacité du service à la clientèle, mais aussi de réduire la dépendance aux agents humains et d'optimiser l'utilisation des ressources disponibles. Les résultats détaillés des simulations soulignent l'importance cruciale de l'intelligence artificielle dans l'amélioration des processus de support client, en particulier dans des environnements à forte demande où la gestion efficace des interactions peut faire une différence significative.

10 Conclusion

Ce rapport décrit le développement et l'intégration d'un chatbot destiné au programme de Master en Ingénierie Industrielle de l'Université de Narvik (UiT) en Norvège. L'objectif principal était de fournir une solution automatisée pour répondre aux questions des étudiants potentiels, améliorant ainsi l'accessibilité des informations et allégeant la charge de travail des agents humains. Ce projet s'inscrit dans un contexte d'innovation continue en matière de technologies de traitement du langage naturel (NLP) et de chatbots, avec une attention particulière portée à la satisfaction des utilisateurs et à l'efficacité opérationnelle.

Le travail réalisé a abouti à la conception, au développement, à la mise en œuvre et à la validation d'un chatbot utilisant l'API GPT-3.5 Turbo, un grand modèle de langage (LLM). Les tests ont démontré une satisfaction élevée des utilisateurs, avec plus 95% des réponses notées entre 4 et 5, et un temps moyen de réponse de 2,5 secondes. De plus, les simulations réalisées avec AnyLogic ont confirmé l'efficacité du chatbot, montrant une réduction notable de la charge de travail humaine et des abandons par rapport aux solutions précédentes.

Cependant, le projet n'est pas entièrement terminé. Bien que les principaux objectifs aient été atteints, plusieurs aspects nécessitent encore des améliorations. Par exemple, l'enrichissement continu de la base de connaissances du chatbot est essentiel pour maintenir la pertinence et l'exactitude des réponses fournies. De plus, l'intégration complète du chatbot sur le site web de l'UiT et la formation des utilisateurs finaux sont des étapes cruciales à finaliser.

Les principales difficultés rencontrées durant le projet étaient d'ordre technique, notamment en ce qui concerne l'entraînement et l'ajustement du modèle GPT-3.5 Turbo pour garantir des réponses précises et contextuelles. Ces défis ont été résolus grâce à une approche itérative et des tests rigoureux. En outre, des défis organisationnels liés à la coordination avec les différentes parties prenantes de l'UiT ont été surmontés grâce à une communication efficace et à une planification stratégique.

L'intérêt de cette étude réside dans la démonstration concrète de l'efficacité des LLM pour améliorer les services d'information dans un contexte académique. Ce projet a permis d'acquérir des compétences précieuses en développement de chatbots, gestion de projets et analyse de données, tout en soulignant l'importance d'une approche centrée sur l'utilisateur pour le développement de solutions technologiques.

En regardant vers l'avenir, plusieurs perspectives s'ouvrent pour ce projet. Si l'étude n'est pas entièrement terminée, il reste à finaliser l'intégration complète du chatbot sur le site web de l'UiT et à assurer une formation adéquate des utilisateurs finaux. De plus, la base de connaissances du chatbot devra être régulièrement mise à jour pour refléter les informations les plus récentes. Si l'étude est considérée comme terminée, le chatbot sera pleinement intégré au système d'information de l'UiT, servant de point de contact principal pour les questions des étudiants potentiels. Il sera également nécessaire d'envisager une maintenance continue et des mises à jour régulières pour garantir son efficacité à long terme.

En conclusion, ce projet représente une avancée significative dans l'utilisation des technologies de NLP et des chatbots pour améliorer l'accès à l'information dans le domaine de l'éducation. Les résultats obtenus montrent une voie prometteuse pour l'avenir, avec des applications potentielles dans d'autres contextes académiques et institutionnels.

Références

- [1] J. WEIZENBAUM, « Eliza—a computer program for the study of natural language communication between man and machine », *Communications of the ACM*, vol. 9, no. 1, p. 36–45, 1966.
- [2] T. B. BROWN, B. MANN, N. RYDER, M. SUBBIAH, J. KAPLAN, P. DHARIWAL, A. NEELAKANTAN, P. SHYAM, G. SASTRY, A. ASKELL, S. AGARWAL, A. HERBERT-VOSS, G. KRUEGER, T. HENIGHAN, R. CHILD, A. RAMESH, D. M. ZIEGLER, J. WU, C. WINTER, C. HESSE, M. CHEN, E. SIGLER, M. LITWIN, S. GRAY, B. CHESS, J. CLARK, C. BERNER, S. MCCANDLISH, A. RADFORD, I. SUTSKEVER et D. AMODEI, « Language models are few-shot learners », 2020.
- [3] X. SUN, H. YU et W. DENG SOLVANG, « Measuring the effectiveness of ai-enabled chatbots in customer service using anylogic simulation ». Manuscript in preparation, 2024.
- [4] UIT THE ARCTIC UNIVERSITY OF NORWAY, « Uit the arctic university of norway website ». <https://uit.no/startside>, 2024. Accessed : 2024-06-20.
- [5] D. HAKKANI-TÜR, G. TUR, A. CELIKYILMAZ, Y.-N. CHEN, J. GAO, L. DENG et Y.-Y. WANG, « Multi-Domain Joint Semantic Frame Parsing Using Bi-Directional RNN-LSTM », in *Proc. Interspeech 2016*, p. 715–719, 2016.
- [6] H. CHEN, X. LIU, D. YIN et J. TANG, « A survey on dialogue systems : Recent advances and new frontiers », *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, vol. 19, p. 2535, nov. 2017.
- [7] J. DEVLIN, M.-W. CHANG, K. LEE et K. TOUTANOVA, « BERT : Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding », in *Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics : Human Language Technologies, Volume 1 (Long and Short Papers)* (J. BURSTEIN, C. DORAN et T. SOLORIO, eds), (Minneapolis, Minnesota), p. 4171–4186, Association for Computational Linguistics, juin 2019.
- [8] X. SUN, H. YU et W. D. SOLVANG, « Solving the location problem of printers in a university campus using p-median location model and anylogic simulation », in *Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 634, p. 577–584, 2020.
- [9] H. YU, X. SUN, W. D. SOLVANG et G. LAPORTE, « Solving a real-world urban postal service network redesign problem », *Scientific Programming*, vol. 2021, p. 2021, 2021.

-
- [10] A. AHMED, J. PAGE et J. OLSEN, « Adopting lean six sigma to anylogic simulation in a manufacturing environment », *in 21st International Congress on Modelling and Simulation*, (Gold Coast, Australia), p. 29–35, 2015.