



Université d'Oran 2
Institut de Maintenance et de sécurité Industrielle

THESE / Master

Pour l'obtention du diplôme de Master
En La sécurité industrielle et l'environnement.

Techniques d'intelligence artificielle pour la sécurité au travail

Présentée et soutenue publiquement par :
Touaguine Abderrazak

Devant le jury composé de :

Mr. ROUAN SERIK M	MCB	Université d'Oran 2	Encadreur
Mme. SEGUINI F	MCB	Université d'Oran 2	Présidente
Mr. GUETARNI I	MCB	Université d'Oran 2	Examineur

2024

Techniques d'intelligence artificielle pour la sécurité au travail

Résumé :

La sécurité industrielle est l'une des pierres angulaires pour assurer la protection des travailleurs et maintenir la productivité dans les environnements de travail. La sécurité industrielle nécessite la mise en œuvre de mesures préventives et de techniques innovantes pour réduire les accidents et les blessures professionnelles. Avec les avancées technologiques, l'intelligence artificielle (IA) joue un rôle crucial dans l'amélioration des normes de sécurité industrielle en fournissant des solutions précises et une analyse efficace des données.

Cette étude examine l'importance de l'application des techniques d'intelligence artificielle pour améliorer la sécurité industrielle. Ces applications incluent la prévention des accidents, la gestion des risques par l'analyse prédictive, la détection des incidents, la formation et le développement professionnels, ainsi que la surveillance continue des conditions de travail. L'étude présente des exemples concrets de l'utilisation réussie de l'IA dans le domaine de la sécurité au travail, comme le projet REDECA.

Cette étude vise à explorer comment améliorer les pratiques de santé et de sécurité au travail à l'aide des techniques d'intelligence artificielle et à évaluer leur efficacité pour réduire les risques professionnels.

L'étude comprend une expérience pratique utilisant Google Colab pour développer et mettre en œuvre des modèles d'intelligence artificielle, en se concentrant sur la préparation des données et en garantissant leur précision et leur fiabilité. L'étude évalue les performances de différents modèles d'IA, tels que la régression linéaire multiple, la classification par forêts aléatoires, et l'utilisation des voisins les plus proches (KNN), fournissant des preuves empiriques de l'efficacité de l'IA pour améliorer les mesures de sécurité.

En conclusion, cette étude met en lumière le potentiel transformateur de l'intelligence artificielle pour renforcer les stratégies de santé et de sécurité au travail. Elle propose des orientations pour la recherche future, incluant l'amélioration des modèles d'IA, une intégration plus poussée dans les systèmes de gestion de la SST, et la collaboration interdisciplinaire pour des solutions innovantes. L'objectif final de cette recherche est de promouvoir des environnements de travail plus sûrs et plus productifs grâce à l'application stratégique de l'intelligence artificielle.

Mots clés : Sécurité industrielle, intelligence artificielle, prévention des accidents, gestion des risques, modèles d'apprentissage automatique, environnement de travail sécurisé.

Artificial intelligence techniques for workplace safety

Abstract:

Industrial safety is one of the cornerstones for ensuring worker protection and maintaining productivity in work environments. Industrial safety requires the implementation of preventive measures and innovative techniques to reduce accidents and occupational injuries. With technological advancements, artificial intelligence (AI) plays a crucial role in improving industrial safety standards by providing precise solutions and efficient data analysis.

This study examines the importance of applying AI techniques to enhance industrial safety. These applications include accident prevention, risk management through predictive analysis, incident detection, professional training and development, as well as continuous monitoring of working conditions. The study presents concrete examples of successful AI use in workplace safety, such as the REDECA project.

The study aims to explore how to improve occupational health and safety practices using AI techniques and evaluate their effectiveness in reducing workplace risks. It includes a practical experiment using Google Colab to develop and implement AI models, focusing on data preparation to ensure accuracy and reliability. The study evaluates the performance of different AI models, such as multiple linear regression, random forest classification, and k-nearest neighbors (KNN), providing empirical evidence of AI's effectiveness in enhancing safety measures.

In conclusion, this study highlights the transformative potential of artificial intelligence in strengthening workplace health and safety strategies. It proposes directions for future research, including improving AI models, deeper integration into occupational health and safety management systems, and interdisciplinary collaboration for innovative solutions. The ultimate goal of this research is to promote safer and more productive work environments through strategic application of artificial intelligence.

Keywords: Industrial safety, artificial intelligence, accident prevention, risk management, machine learning models, secure work environment.

تقنيات الذكاء الاصطناعي للسلامة اثناء العمل

الملخص:

السلامة الصناعية هي أحد أركان ضمان حماية العمال والحفاظ على الإنتاجية في بيئات العمل. تتطلب السلامة الصناعية تنفيذ تدابير وقائية وتقنيات مبتكرة للحد من الحوادث والإصابات المهنية. مع التقدم التكنولوجي، تلعب الذكاء الاصطناعي دوراً حاسماً في تحسين معايير السلامة الصناعية من خلال توفير حلول دقيقة وتحليل فعال للبيانات.

تقوم هذه الدراسة بفحص أهمية تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي لتعزيز السلامة الصناعية. تشمل هذه التطبيقات منع الحوادث، إدارة المخاطر من خلال التحليل التنبؤي، اكتشاف الحوادث، التدريب المهني والتنمية، والرصد المستمر لظروف العمل. تقدم الدراسة أمثلة واقعية على استخدام الذكاء الاصطناعي بنجاح في سلامة مكان العمل، مثل مشروع REDECA.

تهدف الدراسة إلى استكشاف كيفية تحسين ممارسات الصحة والسلامة المهنية باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وتقييم فعاليتها في تقليل المخاطر المهنية. تشمل تجربة عملية باستخدام *Google Colab* لتطوير وتنفيذ نماذج الذكاء الاصطناعي، مع التركيز على تحضير البيانات لضمان الدقة والموثوقية. تقيم الدراسة أداء نماذج الذكاء الاصطناعي المختلفة، مثل الانحدار الخطي المتعدد، وتصنيف الغابات العشوائية، وأقرب الجيران (*KNN*)، مما يوفر أدلة تجريبية على فعالية الذكاء الاصطناعي في تعزيز التدابير الأمنية.

في الختام، تسلط هذه الدراسة الضوء على الإمكانيات التحويلية للذكاء الاصطناعي في تعزيز استراتيجيات الصحة والسلامة في مكان العمل. وتقتصر اتجاهات للبحث المستقبلي، بما في ذلك تحسين نماذج الذكاء الاصطناعي، ودمجها بشكل أعمق في أنظمة إدارة الصحة والسلامة المهنية، والتعاون بين التخصصات للوصول إلى حلول مبتكرة. الهدف النهائي من هذا البحث هو تعزيز بيئات العمل آمنة وأكثر إنتاجية من خلال التطبيق الاستراتيجي للذكاء الاصطناعي.

الكلمات الرئيسية: السلامة الصناعية، الذكاء الاصطناعي، منع الحوادث، إدارة المخاطر، نماذج التعلم الآلي، بيئة عمل آمنة.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À mes chers parents, sources inépuisables d'amour, d'affection et de sacrifice. Que ce travail soit un témoignage de l'affection que nous leur portons et de notre gratitude pour leur patience inébranlable et leur dévouement.

Et à tous mes amis et camarades de résidence universitaire qui ont partagé avec moi ma vie universitaire.

Remerciements

À la fin de ce travail de recherche, je souhaite tout particulièrement remercier M. ROUAN SERIK Mehdi, Maître de conférences (B) à l'Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, qui m'a encadré pour cette thèse et qui m'a aidé par ses connaissances.

Aujourd'hui est l'occasion de remercier également tous ceux qui ont accepté de combiner leurs compétences et leurs connaissances afin de juger ce travail.

À M. Mme. Seguni Fouzia, Professeure associée (B) à l'Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, qui m'a fait l'honneur de présider le jury de cette soutenance. Je lui adresse mes remerciements respectueux.

À M. Guetrani Hadj Islam Mohamed, Maître de conférences (B) à l'Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, pour m'avoir fait l'honneur de juger ce travail.

Enfin, j'exprime mes sincères remerciements à toute personne ayant contribué directement ou indirectement à la réalisation de ce mémoire.

Sommaire

Dédicace	iv
Remerciements	v
Sommaire	vi
Liste des Figures	viii
Liste des Tableaux.....	x
Liste des Abréviations.....	xi
Introduction Générale.....	12
Chapitre 1: Généralité sur la santé et sécurité au travail.....	13
1.1 Notion de la santé, sécurité au travail	14
1.1.1 Qu'est-ce que la santé au travail ?	14
1.1.2 Qu'est-ce que la sécurité au travail ?.....	15
1.1.3 Définition d'un système de gestion de la sante sécurité au travail	15
1.2 L'histoire de la sécurité au travail.....	16
1.2.1 La première apparence des normes de sécurité en Europe	16
1.2.2 Des accidents au travail historiques.....	18
1.3 Les risques liés au travail	20
1.3.1 L'évaluation des risques	21
1.3.2 L'importance d'évaluation des risques	22
1.3.3 La prévention contre les risques	23
1.4 Le cadre règlementaire en Algérie	25
1.5 Conclusion	27
Chapitre 2: Généralité sur l'intelligence artificielle.....	28
2.1 DEFINITION.....	29
2.1.1 Qu'est-ce que l'intelligence artificielle ?.....	29
2.1.2 Les types d'IA	30
2.1.2.1 L'IA symbolique	30
2.1.2.2 L'IA numérique ou Machine Learning.....	30
2.1.2.3 L'IA générative la plus récente.....	31
2.1.3 Domaines D'application	31
2.2 Techniques d'IA.....	32
2.3 Fusion des informations	41
2.4 Conclusion	42
Chapitre 3: Les techniques d'intelligence artificielle pour la santé et la sécurité au travail 44	
3.1 Applications d'IA et en matière de sst.....	45
3.2 Comment l'IA peut nous aider ?	46
3.2.1 Prévention des accidents et gestion des risques :.....	46
3.2.2 Détection et prédiction des incidents :	47
3.2.3 Formation et apprentissage pour les professionnels :	47
3.2.4 La surveillance :.....	47

3.3	REDECA	48
3.3.1	Résultats.....	49
3.4	Quelques approches d'apprentissage automatique pour la SST	54
3.4.1	Modèle de Régression Linéaire pour Prédire les Risques de Sécurité des Travailleurs de Construction.....	54
3.4.2	Prédire les accidents mortels liés aux chutes de hauteur à l'aide d'un modèle d'apprentissage automatique de classification aléatoire des forêts (Random forest)	55
3.4.3	Impact et Prévention des Troubles Musculo-Squelettiques Liés au Travail à l'Aide de l'Intelligence Artificielle (KNN).....	56
3.4.4	Analyse de l'efficacité de la formation SST dans le secteur de la construction en Chine	56
3.5	Conclusion	57
Chapitre 4: Etude expérimentale		58
4.1	Environnement de développement.....	59
4.1.1	Environnement matériel (Google Colab).....	59
4.1.2	Environnement logiciel.....	59
4.2	Préparation des données.....	62
4.2.1	Description des données à traiter	62
4.2.2	Méthodes de préparation et de nettoyage des données	63
4.3	Modèles utilisés	64
4.3.1	Régression linéaire (LinearRegression).....	64
4.3.2	DecisionTree.....	67
4.3.3	RandomForest.....	69
4.3.4	KNN.....	71
4.4	TABLEAU RÉCAPITULATIF APPROCHES VS MÉTRIQUES	73
4.5	CONCLUSION.....	74
Conclusion générale et perspectives		75
Bibliographie.....		76
Annexes		80

Liste des Figures

Figure 1.1 Approches réactive et proactive de la sécurité	15
Figure 1.2 Mise en place d'un périmètre interdit à la suite de la catastrophe	19
Figure 1.3 Photo aérienne du bâtiment du réacteur no 4 prise quelques mois après l'accident	20
Figure 1. 4 Étapes de démarche d'évaluation des risques-prévention.....	22
Figure 2.1 les sous-ensembles d'IA.....	30
Figure 2.2 Schéma de décomposition des approches par apprentissage automatique.....	33
Figure 2.3 Schéma de l'approche dite supervisée.....	34
Figure 2.4 Exemple de données non associées à des annotations préalables.....	35
Figure 2.5 Exemple fréquemment employé pour démontrer l'intérêt de l'apprentissage semi- supervisé	36
Figure 2.6 Exemple simplifié d'une structure d'apprentissage profond.....	39
Figure 2.7 Exemple d'attentes liées à un apprentissage par transfert en opposition à un appren- tissage classique.....	40
Figure 2.8 Schéma représentant les différents niveaux de fusion sur un système multimodal à deux capteurs : bas pour les données brutes, moyen pour les caractéristiques avancées, et haut pour la prise de décision.....	42
Figure 3.1 Composants d'un système d'IA.....	45
Figure 3.2 The Risk Evolution, Detection, Evaluation, and Control of Accidents (REDECA)	49
Figure 4.1 Tableau des accidents de travail et ses facteurs et sa gravité.....	63
Figure 4.2 Tableau des données sur les accidents du travail des entreprises de U.S.A (2021) «Kaggle».....	63
Figure 4.3 Courbe d'apprentissage du modèle LinearRegression : cas de la Sonelgaz.....	66
Figure 4.4 Courbe d'apprentissage du modèle LinearRegression : Accidents aux USA	67

Figure 4.5 Courbe d'apprentissage du modèle DecisionTree : cas de la Sonelgaz.....	68
Figure 4.6 Courbe d'apprentissage du modèle DecisionTree : Accidents aux USA	69
Figure 4.7 Courbe d'apprentissage du modèle RandomForest : cas de la Sonelgaz.....	70
Figure 4.8 Courbe d'apprentissage du modèle RandomForest : Accidents aux USA	71
Figure 4.9 Courbe d'apprentissage du modèle KNN : cas de la Sonelgaz.....	72
Figure 4.10 Courbe d'apprentissage du modèle KNN : Accidents aux USA.....	73

Liste des Tableaux

Tableau 4-1 Les résultats des métriques du performance	73
Tableau 4-2 Les résultats des métriques du performance	74

Liste des Abréviations

IA : l'intelligence artificielle

SST : la santé et la sécurité au travail

ML : machine learning

KNN : K-Nearest Neighbors

Introduction Générale

La santé et la sécurité au travail (SST) est important pour toutes les organisations, impactant directement le bien-être des employés et la productivité. La prévention et la gestion des risques professionnels, tels que les accidents et les maladies, sont essentielles pour les entreprises. Malgré les progrès en matière de normes de sécurité, les incidents persistent, nécessitant des méthodes plus efficaces pour gérer les risques.

L'intelligence artificielle (IA) offre des solutions prometteuses pour améliorer la SST. Grâce à ses capacités d'analyse avancée et de traitement des données, l'IA peut identifier des tendances et des anomalies, permettant une détection plus précise des risques et une prévention proactive. Les algorithmes d'apprentissage automatique peuvent prédire les accidents en analysant divers facteurs, ce qui aide les gestionnaires à prendre des mesures préventives.

Les motivations de cette recherche incluent la modernisation des systèmes de gestion de la SST et la démonstration de l'application pratique de l'IA pour résoudre les problèmes de sécurité au travail. Les objectifs sont de développer et de tester des modèles d'IA pour la gestion des risques professionnels, évaluer leur performance, les appliquer dans des environnements réels, et analyser leur impact.

Ce document est structuré comme suit : le premier chapitre, Généralité sur la santé et sécurité au travail, couvre les notions fondamentales, l'historique et le cadre réglementaire en Algérie. Le deuxième chapitre, Généralité sur l'intelligence artificielle, présente les concepts de base et les techniques de l'IA. Le troisième chapitre, Les techniques d'intelligence artificielle pour la santé et la sécurité au travail, explore les applications pratiques de l'IA en SST. Enfin, le quatrième chapitre, Étude expérimentale d'implémentation par Python, décrit l'environnement de développement, la préparation des données, et les modèles d'IA utilisés pour prévenir les risques.

En conclusion, cette recherche vise à démontrer l'impact positif de l'IA sur la SST, en proposant des solutions innovantes pour un environnement de travail plus sûr et plus sain. Les perspectives futures incluent l'amélioration continue des modèles d'IA et leur intégration dans les pratiques quotidiennes de SST.

Chapitre 1: Généralité sur la santé et sécurité au travail

La sécurité et la santé au travail revêt une importance particulière de nos jours, plus que jamais auparavant. Pour maintenir une bonne réputation de l'entreprise et assurer le bien-être et la productivité des employés, il est essentiel de garantir le respect des normes de sécurité, que ce soit dans les locaux de l'entreprise ou sur les chantiers. La sécurité est devenue cruciale notamment après la révolution industrielle et l'avènement de nouvelles technologies, qui ont introduit de nouveaux risques et dangers jusqu'alors inconnus, engendrant l'émergence de maladies jusqu'alors inexistantes. Les tragédies passées ont servi de leçons et ont conduit à l'établissement de nouvelles normes afin de prévenir la récurrence d'accidents similaires, stimulant ainsi le progrès et l'innovation dans ce domaine. Ce chapitre explorera le concept de la sécurité au travail, son évolution historique, les risques associés, ainsi que les normes et les législations en vigueur.

1.1 NOTION DE LA SANTE, SECURITE AU TRAVAIL

La santé et la sécurité au travail englobent différentes disciplines qui visent à éliminer ou à réduire les effets nocifs du travail sur les individus, qu'ils soient d'ordre physique ou mental, en mettant l'accent sur le bien-être au travail.

Ces concepts sont apparus relativement tardivement dans le domaine du droit du travail, au XIXe siècle, avec le développement industriel qui a progressivement donné naissance à des réglementations spécifiques. Les premières mesures de protection ont été prises en faveur des travailleurs les plus vulnérables, notamment les femmes et les enfants, sous l'appellation "hygiène, sécurité et conditions de travail".

La protection de la santé et de la sécurité des travailleurs, qu'ils soient du secteur privé ou des fonctionnaires, est désormais essentielle, en raison de la prise de conscience croissante du public face aux risques encourus. Cette approche répond à divers enjeux : humains, économiques, sociaux, juridiques et de réputation pour les entreprises.

Tout emploi présente des risques plus ou moins importants pour les travailleurs, qu'ils soient salariés, intérimaires, autoentrepreneurs, apprentis, stagiaires ou bénévoles. Pour minimiser, voire éliminer ces risques, de nombreux acteurs interviennent sur le lieu de travail et en dehors. La santé au travail est donc devenue une préoccupation éthique majeure, et représente un enjeu important pour un développement durable.

L'étude de la santé et de la sécurité au travail couvre un large éventail de domaines spécialisés. [1]

1.1.1 Qu'est-ce que la santé au travail ?

Apparue au début des années 1980 en France, la santé au travail est une démarche qui a pour objectif numéro un la création d'un lieu de travail favorable à la santé, mais aussi la lutte contre la discrimination salariale selon l'état de santé du salarié. Elle se manifeste notamment par :

- La mise en place de programmes de bien-être au travail.
- L'association des problèmes de santé avec les facteurs environnementaux du salarié.
- La recherche de solutions techniques destinées à améliorer la sécurité au travail. [1]

1.1.2 Qu'est-ce que la sécurité au travail ?

Le concept de sécurité au travail appuie son existence sur un postulat de départ assez simple : toute activité professionnelle engendre des risques pour la sécurité d'un travailleur, à des degrés plus ou moins élevés. la notion de sécurité au travail ne cesse de donner naissance à de nouvelles réglementations, de nouvelles mesures, des innovations. Bien que les chiffres de la sécurité au travail révèlent que l'homme est en cause dans plus de deux tiers des accidents de travail, la tâche des dirigeants d'entreprises est de réduire au maximum les risques afin de protéger leurs salariés et de préserver leur intégrité physique et morale. [2]

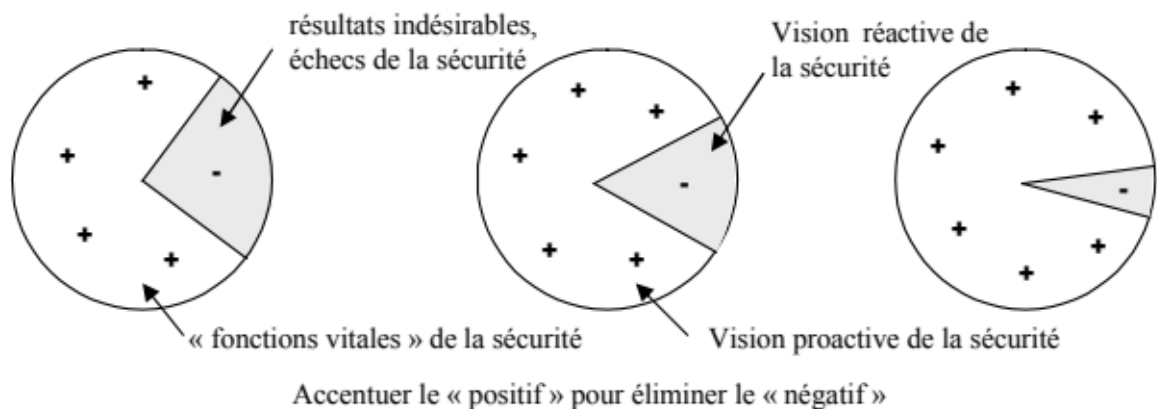


Figure 1.1 Approches réactive et proactive de la sécurité

1.1.3 Définition d'un système de gestion de la sante sécurité au travail

Les systèmes de gestion de la SST sont définis comme « un ensemble d'éléments interdépendants destinés à établir des politiques et des objectifs de santé-sécurité au travail et à les réaliser ». Cette étude se concentre spécifiquement sur les pratiques de gestion qui constituent ces systèmes et qui leur sont communes :

1. Analyse/bilan initial : inventaire des risques et des compétences nécessaires ;
2. Politique/charte de prévention : engagement écrit de la direction ;
3. Mise en place d'une organisation : mobilisation des compétences, gestion de la documentation, information et consultation du personnel ;
4. Planification : évaluation des risques, veille réglementaire, établissement d'objectifs, élaboration du programme d'action ;
5. Mise en œuvre : réalisation des actions, gestion des situations d'urgence, vérification de l'application aux sous-traitants et intérimaires si nécessaire ;

6. Contrôles et actions correctives : surveillance des tableaux de bord et indicateurs, examen des écarts, analyse des accidents et maladies professionnelles, réalisation d'audits ;

7. Revue de direction : définition, si besoin, de nouveaux programmes d'actions ou de nouvelles politiques. [3]

1.2 L'HISTOIRE DE LA SECURITE AU TRAVAIL

Généralement dans le monde, la première apparence du concept de sécurité au travail c'est aux premières années de le 19 siècle, avec l'apparence de la révolution industrielle quand l'importance des normes de sécurité et les accidents de travaux nocifs a prolongé à cette époque.

1.2.1 La première apparence des normes de sécurité en Europe

1.2.1.1 En Angleterre

L'Angleterre c'est le berceau de la révolution industrielle donc elle est parmi les premiers pays qui adopter des lois de sécurité.

En 1784, dans une filature de coton à Radcliffe, près de Manchester, une épidémie de fièvre maligne a affecté les ouvriers et s'est propagée à la population environnante. La situation est devenue grave et les juges locaux ont invité le Dr Thomas Percival, un médecin local de premier plan, à enquêter sur la nature et les circonstances de l'épidémie. Avec ses collègues et des citoyens éminents, il a formé le Comité de la santé de Manchester. Le Comité, par le biais de rapports autorisés, a formulé des recommandations pour le contrôle de telles épidémies par la création d'hôpitaux d'isolement. Ils ont également insisté sur la nécessité d'améliorer les conditions environnementales dans les usines et les fabriques et de réduire les heures de travail, notamment pour les enfants et les femmes. Dans le cadre de ces objectifs, le gouvernement a adopté en 1802 la Loi sur la santé et les mœurs des apprentis. Il s'agissait de la première loi sur les usines. Depuis lors, la législation sur les usines s'est considérablement étendue et constitue la base de la supervision légale des usines et des ouvriers d'usine sous l'inspection des usines. Le développement de cette supervision est retracé avec une référence spéciale au travail des chirurgiens agréés, maintenant les médecins d'usine désignés, et des inspecteurs médicaux. Parallèlement, l'éducation à la santé publique et la compensation des travailleurs ont progressé grâce à la législation. Depuis 1935, des services médicaux volontaires ont été développés dans l'industrie. Ces services n'ont pas été limités à l'observation des normes minimales prescrites par la loi et ont donc pu ouvrir la voie à des avancées visant à promouvoir la sécurité, la santé et le bien-être dans les usines et autres lieux de travail. [4]

1.2.1.2 En France

L'un des premiers et précédents pays à avoir été témoin de la révolution industrielle, la première loi qui a une relation de sécurité en France. [5]

La première loi sociale du 22 mars 1841 initie le mouvement en limitant la durée du travail des enfants. Puis une succession de lois et de règlements viendront étayer cette finalité. La seconde finalité d'un droit au repos consiste à prolonger la première en assurant la santé du salarié mais également en assurant son développement et le respect de sa vie personnelle, familiale et sociale. Le droit du travail influence le droit au repos afin de répondre à ces deux premières finalités. De cette façon, le droit au repos accède au rang de droit de l'homme figurant au sein du Préambule de la Constitution du 27 octobre 1946 et repris dans notre actuelle Constitution du 4 octobre 1958. La troisième finalité préconise le droit au repos, comme outil d'organisation et de fonctionnement de l'entreprise. Etroitement lié avec la rémunération du salarié, il devient le moyen d'organiser au sein de l'entreprise et le cas échéant au dehors de l'entreprise, les temps de travail et les temps de non travail : repos compensateurs, compte épargne temps, conventions de forfait. . . Cette finalité organisationnelle permet d'étendre les mécanismes d'aménagement et de réduction du temps de travail. [6]

1.2.2 La première apparence des normes de sécurité en Algérie

En 1962, faute d'une législation algérienne de travail, il a été procédé tout d'abord à la reconduction de toute la législation antérieure à l'indépendance, sauf dans ses dispositions contraires à la souveraineté nationale, ou d'inspiration coloniale ou de nature discriminatoire. Le 19 octobre 1962, l'Algérie procède à la ratification de 47 Conventions internationales de l'Organisation internationale du travail (OIT). Ces conventions ratifiées constitueront, plus tard, le socle sur lequel repose les lois sociales en Algérie et constitueront une source importante du droit du travail algérien. [7]

1.2.2 Historiques des accidents au travail

1.2.2.1 Définition d'un accident de travail

« Est considéré comme accident du travail, quelle qu'en soit la cause, l'accident survenu par le fait ou à l'occasion du travail à toute personne salariée ou travaillant à quelque titre ou en quelque lieu que ce soit, pour un ou plusieurs employeurs ou chefs d'entreprise » [8]

La sécurité tire son importance de la gravité des pertes que peuvent causer les accidents du travail. Les accidents du travail qui affectent réellement les individus les exposent à des pertes et leur font prendre conscience de la situation. Après leur survenue, ils s'efforceront de tout mettre en œuvre pour éviter qu'ils ne se reproduisent à l'avenir. Je considère que ces accidents historiques, malgré leur gravité, ont un aspect positif en sensibilisant à l'importance des règles de sécurité et de leur respect. En comprenant leurs causes, les responsables chercheront à les éviter et partageront leurs expériences et leur expertise avec les centres confrontés aux mêmes risques.

1.2.2.2 L'accident de « Seveso »

Le samedi 10 juillet 1976 à 12h37, un nuage rougeâtre s'est libéré de l'usine Icmesa située dans la commune de Meda, à 25 km au nord de Milan, en Lombardie, Italie. Transporté par le vent, le panache s'est étendu vers le sud-est, affectant principalement une zone agricole, touchant d'abord la commune voisine de Seveso. L'émission, causée par la rupture du disque de sécurité d'un réacteur dans l'unité de production du 2,4,5-trichlorophénol (TCP), a duré près d'une heure. Ce nuage contenait diverses substances chimiques, dont de l'hydroxyde de sodium et de l'éthylène glycol (utilisés lors de la première étape de l'hydrolyse du tétrachlorobenzène), du 2,4,5-trichlorophénate (produit de l'hydrolyse) et également un produit de condensation de deux molécules de 2,4,5-trichlorophénate : la 2,3,7,8-tétrachlorodibenzodioxine (TCDD), couramment appelée "dioxine de Seveso". Il s'agit d'un sous-produit non intentionnel de la réaction qui s'est formé en grande quantité en raison de la température élevée dans le réacteur, dépassant largement la limite maximale de 180 °C. La TCDD sera par la suite reconnue comme un cancérigène avéré pour l'homme et un perturbateur endocrinien puissant. Cependant, en 1976, sa dangerosité et les signes d'intoxication étaient largement méconnus. Deux semaines se sont écoulées avant que la population ne reçoive des directives d'évacuation ou de restrictions sur la consommation de produits locaux, en fonction des niveaux de dioxine dans le sol. Des échantillonnages ont permis de délimiter trois zones de contamination progressive : A (où les 736 résidents seront évacués entre le 26 juillet et le 2 août), B (comptant 4 737 résidents) et R (31 800 habitants). En périphérie, une

zone (non ABR), où les échantillons de sol se sont révélés négatifs, abritait 182 843 habitants considérés comme non exposés. [9]



Figure 1.2 Mise en place d'un périmètre interdit à la suite de la catastrophe

1.2.2.3 Accident nucléaire « Tchernobyl »

Le 26 avril 1986, à 1h 23 du matin, il y a eu une explosion dans le réacteur 4 de la centrale nucléaire de Tchernobyl, qui avait une puissance de 1000 mégawatts, près de la ville de Pripyat, où vivaient 25 000 habitants, située à 130 km au nord de Kiev, en Union soviétique.

Une enquête menée après l'accident a révélé que des erreurs et des négligences humaines étaient à l'origine de celui-ci. Le réacteur devait être mis à l'arrêt pour des opérations d'entretien intermédiaires. Le 25 avril, à une heure du matin, l'équipe de service a commencé à arrêter le réacteur, qui fonctionnait alors à pleine puissance. Avant cet arrêt, la direction de la centrale avait décidé de procéder à des essais pendant la nuit. Cependant, l'équipe de nuit, celle de l'accident, n'avait pas préparé ces essais correctement et n'avait pas obtenu l'autorisation requise des autorités compétentes. De plus, les essais ont été mal surveillés et les mesures de sécurité nécessaires n'ont pas été prises. L'explosion qui s'est produite était chimique, pas nucléaire, due à la surchauffe de certains éléments, provoquant un incendie. Bien qu'il n'y ait pas eu de fusion du cœur du réacteur,

une partie de l'uranium combustible a fondu. L'enceinte du réacteur a été gravement endommagée, entraînant la libération d'une quantité importante de matières radioactives à l'extérieur de la centrale. [10]

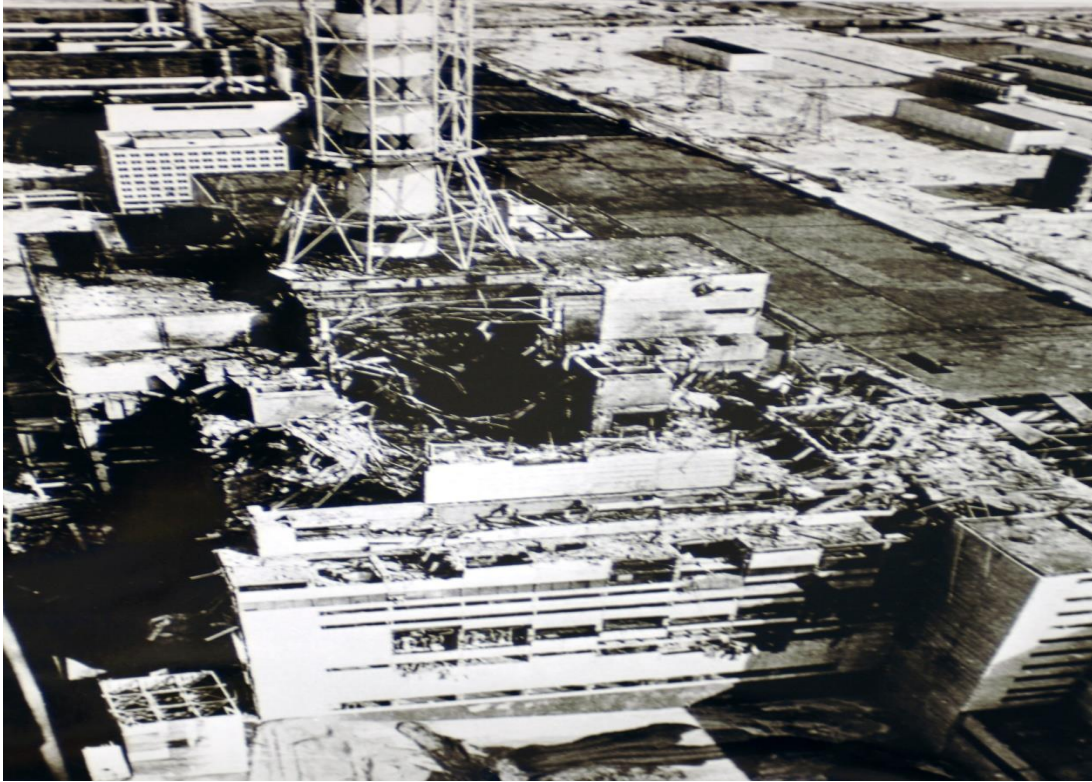


Figure 1.3 Photo aérienne du bâtiment du réacteur no 4 prise quelques mois après l'accident

1.3 LES RISQUES LIEES AU TRAVAIL

Les risques sont plusieurs et différents, relatifs au type de travail et son environnement, mais généralement, on peut classer les risques comme suivant :

- Mécaniques : impacts causés par les parties mobiles en mouvement des machines, écrasement par la chute d'objets ou de véhicules, coupures et perforations par les outils de travail, éjection de particules solides (copeaux de métal, bois, roche) ou de matières incandescentes, contraintes posturales et visuelles, mouvements répétitifs...

- Physiques : vibrations émises par les engins, niveau sonore excessif, températures trop élevées ou trop basses, conditions météorologiques défavorables pour les travaux en extérieur (humidité, vent...), niveau d'éclairage, qualité de l'air sur le lieu de travail (poussières...), courant électrique, risques d'incendie et d'explosion...

- Chimiques : exposition à des substances chimiques par inhalation, ingestion ou contact cutané, qu'elles soient gazeuses, liquides ou solides, ainsi qu'à des produits cancérigènes, mutagènes, toxiques, corrosifs, irritants, allergènes...
- Biologiques : exposition à des agents infectieux (bactéries, parasites, virus, champignons) et allergènes par piqûre, morsure, inhalation, ou contact cutané ou muqueux...
- Radiologiques : présence de radiations ionisantes et de radioéléments, de rayonnements laser, d'ultraviolets et d'infrarouges, ainsi que de divers rayonnements électromagnétiques...
- Psychologiques : agression physique ou verbale sur le lieu de travail de la part d'un client, d'un élève ou d'un patient, harcèlement moral ou sexuel de la part d'un supérieur hiérarchique, stress lié à la gestion, surcharge mentale (travail prolongé sur écran...). [11]

1.3.1 L'évaluation des risques

Une évaluation des risques implique une inspection approfondie du lieu de travail afin d'identifier, entre autres, les éléments, les situations et les procédés susceptibles de causer un dommage, notamment aux personnes. Après avoir identifié le risque, il est nécessaire d'analyser et d'évaluer sa probabilité et sa gravité. Ensuite, il convient de déterminer quelles mesures prendre pour prévenir la concrétisation du dommage.

Pour planifier une évaluation des risques, Il est nécessaire de déterminer :

- La portée de l'évaluation des risques, par exemple, les éléments à évaluer, tels que la durée de vie du produit, les emplacements physiques où se déroulent les activités de travail, ou le type de dangers en cause.
- Les ressources requises, telles que la formation d'une équipe pour l'évaluation des risques et l'identification des sources d'informations nécessaires.
- Les types de mesures qui seront utilisés pour l'analyse des risques, par exemple, le degré de précision de l'échelle ou des paramètres requis pour fournir une évaluation aussi pertinente que possible.
- Les parties prenantes concernées, telles que les gestionnaires, les superviseurs, les travailleurs, les représentants des travailleurs, les fournisseurs, etc.
- Les lois, règlements, normes ou codes applicables dans votre province ou territoire, ainsi que les politiques et procédures organisationnelles à respecter. [12]



Figure 1. 4 *Étapes de démarche d'évaluation des risques-prévention*

1.3.2 L'importance d'évaluation des risques

Les évaluations des risques revêtent une grande importance car elles font partie intégrante d'un bon plan de gestion de la santé et de la sécurité au travail. Elles contribuent à :

- Sensibiliser les individus aux dangers et aux risques.
- Identifier les personnes exposées à des risques (employés, personnel d'entretien, visiteurs, entrepreneurs, membres du public, etc.).
- Déterminer la nécessité d'un programme de gestion pour un danger spécifique.
- Évaluer si les mesures actuelles de maîtrise des risques sont adéquates ou s'il est nécessaire d'en mettre en place de nouvelles.
- Prévenir les blessures ou les maladies lorsque les évaluations sont réalisées à l'étape de la conception ou de la planification.

- Établir une hiérarchie des risques et des mesures de maîtrise associées.
- Satisfaire aux obligations juridiques, le cas échéant. [11]

1.3.3 La prévention contre les risques

L'employeur met en oeuvre les mesures prévues à l'article L. 4121-1 sur le fondement des principes généraux de prévention suivants :

1° Eviter les risques

Éliminer le danger ou réduire l'exposition à celui-ci.

2° Evaluer les risques qui ne peuvent pas être évités

Évaluer leur caractère et leur gravité pour déterminer les mesures à prendre afin d'assurer la sécurité et de protéger la santé des travailleurs.

3° Combattre les risques à la source

Incorporer la prévention dès les premières phases, en particulier lors de la conception des lieux de travail, des équipements ou des procédures opérationnelles.

4° Adapter le travail à l'homme

Concevoir les postes de travail et sélectionner les équipements ainsi que les méthodes de travail et de production afin de réduire spécifiquement le travail monotone, rythmé ou difficile. Par exemple, lors de l'évaluation des risques, il est possible de détecter des plans de travail présentant une hauteur inadaptée pour les employés (provoquant des contraintes significatives et des efforts superflus). Ces plans peuvent être ajustés en hauteur pour réduire le risque de troubles ostéo-articulaires.

5° Tenir compte de l'état d'évolution de la technique

Effectuer une surveillance constante afin de mettre en œuvre des mesures de prévention adaptées aux évolutions techniques et organisationnelles.

6° Remplacer ce qui est dangereux par ce qui n'est pas dangereux ou par ce qui est moins dangereux

Privilégier des méthodes ou des produits moins dangereux dès lors qu'ils permettent d'obtenir le même résultat, évitant ainsi l'utilisation de procédés ou de produits présentant des risques plus élevés. Par exemple, remplacer un produit cancérigène par un produit moins nocif ou opter pour l'utilisation de peintures sans solvant.

7° Planifier la prévention

Harmoniser de manière cohérente la technique, l'organisation du travail, les conditions de travail, les relations sociales et l'environnement. En cas d'intervention de plusieurs entreprises sur un même lieu, coordonner les efforts de prévention de manière collaborative.

8° Prendre des mesures de protection collective

L'employeur doit privilégier les mesures de protection collective. Le recours aux équipements de protection individuelle n'intervient qu'en complément des protections collectives si celles-ci se révèlent insuffisantes.

9° Donner les instructions appropriées aux travailleurs.

Fournir aux salariés les informations indispensables pour accomplir leurs tâches dans des conditions de sécurité optimales. Cela comprend notamment la fourniture des éléments nécessaires pour une bonne compréhension des risques encourus, afin de les associer à la démarche de prévention. [13]

1.3.4 Les enjeux de la démarche du prévention

Au-delà de la contrainte légale, la politique de prévention des risques professionnels doit directement contribuer à réduire les accidents du travail et les maladies professionnelles, tout en améliorant simultanément la santé et la sécurité des employés ainsi que l'efficacité globale de l'entreprise. La mise en œuvre d'une telle politique repose sur quatre principaux domaines d'intérêt :

1.3.4.1 Enjeux Humains

La prévention des risques professionnels englobe toutes les mesures visant à protéger la santé, la sécurité et le bien-être des travailleurs. Le premier enjeu réside donc dans le domaine humain. Chaque année, le monde compte plus de 2,8 millions de décès et 380 millions de blessés et malades liés au travail. Le domaine de la santé et de la sécurité au travail est un terrain privilégié pour le dialogue social. L'homme est au cœur de l'organisation et de la politique de sécurité au travail. Les priorités humaines et sociales prévalent, bien avant les considérations financières et de responsabilité. Il s'agit notamment de :

- Protéger la sécurité, la santé physique et le bien-être des travailleurs.
- Favoriser leur implication et leur motivation au travail.
- Améliorer l'efficacité, la qualité du travail et l'environnement de travail.

La mise en œuvre d'une politique de maîtrise des risques offre à l'entreprise l'opportunité de renforcer et de revitaliser le dialogue avec son personnel en les ralliant autour d'un objectif commun, en reconnaissant leur rôle central et en améliorant leurs conditions de travail.

1.3.4.2 Enjeux économiques

Bien que la santé des individus soit l'objectif principal de la démarche de prévention, la maîtrise de l'environnement de travail contribue également à améliorer l'efficacité opérationnelle, la qualité des services et la rentabilité de l'entreprise. Sur le plan économique, les avantages peuvent être significatifs, notamment par la réduction des coûts directs et indirects liés aux conditions de travail, l'amélioration de l'efficacité de l'entreprise, et l'accès à de nouveaux marchés.

1.3.4.3 Enjeux juridiques

Ces enjeux concernent les lois et règlements établis par les autorités publiques pour les employeurs, définissant des principes de prévention des risques professionnels et les mesures de sanction en cas de non-respect. La mise en place d'un plan de prévention permet de maîtriser la responsabilité pénale de l'employeur et des employés.

Aujourd'hui, la réglementation impose à l'employeur la responsabilité de la sécurité des travailleurs sous son autorité, ainsi que des sanctions en cas de non-respect des règles de sécurité. Les tribunaux sont de plus en plus souvent saisis pour statuer sur la responsabilité de l'employeur, tant sur le plan civil que pénal.

1.3.4.4 Enjeux sociaux

En garantissant la santé et la sécurité de ses salariés, l'entreprise favorise un dialogue renouvelé. La mise en œuvre d'une politique de santé et de sécurité au travail offre une occasion de renforcer le dialogue avec les salariés, améliorant ainsi l'image de l'entreprise, son climat social et sa performance. Le dialogue social est considéré comme un facteur d'efficacité économique, d'équité sociale et de progrès social, conditionné par la garantie de la santé et de la sécurité des salariés. [14]

1.4 LE CADRE REGLEMENTAIRE EN ALGERIE

Le ministère du travail de l'emploi et de la sécurité sociale, en collaboration avec les institutions compétentes et les partenaires sociaux, est chargé de superviser la sécurité et la santé au travail. Il œuvre à l'élaboration et à la mise en œuvre de politiques et de programmes nationaux visant à prévenir les risques professionnels. Ces initiatives sont alignées sur les normes internationales et les recommandations de la Conférence Internationale du Travail, notamment

celles émises lors de sa 91^e session en 2003, qui préconisait un plan d'action pour la promotion de la sécurité et de la santé au travail dans le cadre d'une stratégie globale.

Cependant, face à l'orientation de l'Algérie vers une économie de marché, le ministère du Travail a entrepris une reconfiguration des actions de prévention. Cette initiative vise à fournir aux entreprises les références nécessaires pour s'adapter aux nouveaux paramètres, qu'elles ont déjà pris en compte ou doivent prendre en considération. [15]

Nous pouvons dire ainsi que face à de nouveaux problèmes, nous apportons de nouvelles réponses par une interaction dynamique entre les différents opérateurs et acteurs de la prévention.

A -Hygiène sécurité et médecine de travail :

-La loi 88-07 du 26-01-1988, relative à l'hygiène, la sécurité et la médecine de travail.

-Décret exécutif n°91-05 du 19-01-1991, relatives aux prescriptions générales de protection applicables en matière d'HS en milieu de travail.

-Décret exécutif n°93-120 du 15-05-1993, relatif à l'organisation de la médecine de travail.

-Arrêté interministériel du 02-04-1995, fixant la convention type relative à la médecine de travail établie l'organisme employeur et le secteur sanitaire ou la structure compétente ou la médecine habilitée.

-Décret exécutif n° 96-209 du 05-06-1996, fixant la composition d'organisation et le fonctionnement du conseil national d'HS et médecine de travail.

B -Accidents et maladies professionnels :

-Ordonnance n° 66-183 de 21/06/1966 portant réparation des accidents de travail et maladies professionnelles.

-Arrêté du 22/03/1968, relative aux tableaux des maladies professionnelles.

-Arrêté du 01/07/1971, relatif à la classification des maladies professionnelles.

C -Prévention des accidents et maladies professionnels :

-Décret exécutif n° 97-424 du 11 novembre 1997, fixant les conditions d'application du titre V de la loi n° 83-13 du 2 juillet 1983, modifiée et complétée, relatif à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

D -Protection et promotion de la santé :

-Ordonnance n°76-79 du 23-10-1976 portant code de santé publique.

-Loi n°85 du 16-02-1985, relatif à la protection et la protection de la santé, modifiée par la loi n°88-15 du 03-05-1988, loi n°90-17 du 31-07-1990 et la loi n°98-09 du 19-08-1998.

E-Inspection de travail :

-La loi n° 90-03 du 06/02/1990, relative à l'inspection du travail, modifiée et complétée par ordonnance n° 96-11 du 10/06/1990. [16]

1.5 CONCLUSION

La sécurité au travail est une préoccupation essentielle dans toutes les sociétés, et l'Algérie ne fait pas exception. À travers cette étude, nous avons exploré l'importance de la sécurité au travail, en commençant par une définition claire du concept et en examinant son évolution historique. Nous avons également analysé les risques courants associés au travail et souligné l'importance cruciale de la législation et des normes en Algérie pour protéger les travailleurs.

En conclusion, il est évident que la sécurité au travail n'est pas seulement une obligation légale, mais aussi une responsabilité morale et sociale. La mise en œuvre efficace de normes de sécurité au travail contribue non seulement à prévenir les accidents et les maladies professionnelles, mais aussi à promouvoir un environnement de travail sain et productif.

Il est impératif que les entreprises et les autorités gouvernementales en Algérie continuent à investir dans des mesures de sécurité au travail robustes, à sensibiliser les travailleurs aux risques potentiels et à promouvoir une culture de sécurité au sein des organisations. En travaillant ensemble, nous pouvons créer des lieux de travail plus sûrs et plus sains pour tous les travailleurs en Algérie, améliorant ainsi la qualité de vie et la productivité économique de notre nation.

Chapitre 2: Généralité sur l'intelligence artificielle

L'intelligence artificielle (IA) a émergé comme une discipline révolutionnaire, façonnant notre monde de manière profonde et souvent insoupçonnée. Définie comme un domaine de l'informatique visant à développer des systèmes capables de simuler des processus cognitifs humains, l'IA englobe une variété de techniques allant des algorithmes traditionnels aux avancées révolutionnaires du deep learning. Son histoire, riche et complexe, remonte à l'Antiquité, mais c'est au 20e siècle que l'IA a pris son envol en tant que discipline scientifique à part entière. Des figures telles qu'Alan Turing et John McCarthy ont jeté les bases théoriques, posant les fondements de l'IA moderne. Cependant, l'histoire de l'IA est ponctuée de périodes d'optimisme débridé et de désillusion, avec des avancées techniques suivies de stagnation. L'évolution récente, caractérisée par l'émergence du machine learning et du deep learning, a propulsé l'IA vers de nouveaux sommets d'innovation et d'applications pratiques. Aujourd'hui, l'IA est au cœur de nombreuses industries et domaines d'application, promettant des avancées révolutionnaires dans la médecine, la finance, la robotique et bien d'autres encore. Cependant, cette révolution technologique suscite également des questions éthiques, sociales et économiques cruciales, soulignant l'importance de guider le développement de l'IA de manière responsable et éthique pour le bénéfice de toute l'humanité.

2.1 DEFINITION

2.1.1 Qu'est-ce que l'intelligence artificielle ?

On pourrait dire que l'Intelligence Artificielle (IA) est un ensemble de méthodes qui permettent aux machines d'accomplir des tâches et de résoudre des problèmes qui sont généralement réservés aux humains et à certains animaux. Les domaines d'application de l'IA varient, allant de tâches relativement simples pour les humains, comme la reconnaissance et la localisation d'objets dans une image, la planification des mouvements d'un robot pour saisir un objet, ou la conduite de véhicules, à des tâches plus complexes, telles que jouer aux échecs ou au Go. Les tâches les plus complexes nécessitent une quantité importante de connaissances et de sens commun, telles que la traduction de texte ou la conduite de dialogues.

Au cours des dernières années, l'intelligence est presque toujours associée aux capacités d'apprentissage. C'est grâce à l'apprentissage qu'un système intelligent peut améliorer ses performances avec l'expérience et apprendre à exécuter de nouvelles tâches ainsi qu'à acquérir de nouvelles compétences.

Par le passé, le domaine de l'IA ne considérait pas toujours l'apprentissage comme essentiel à l'intelligence. Construire un système intelligent impliquait souvent l'écriture manuelle de programmes pour jouer aux échecs, reconnaître des caractères imprimés ou effectuer un diagnostic médical à partir de symptômes. Cependant, cette approche manuelle présente ses limites. [17]

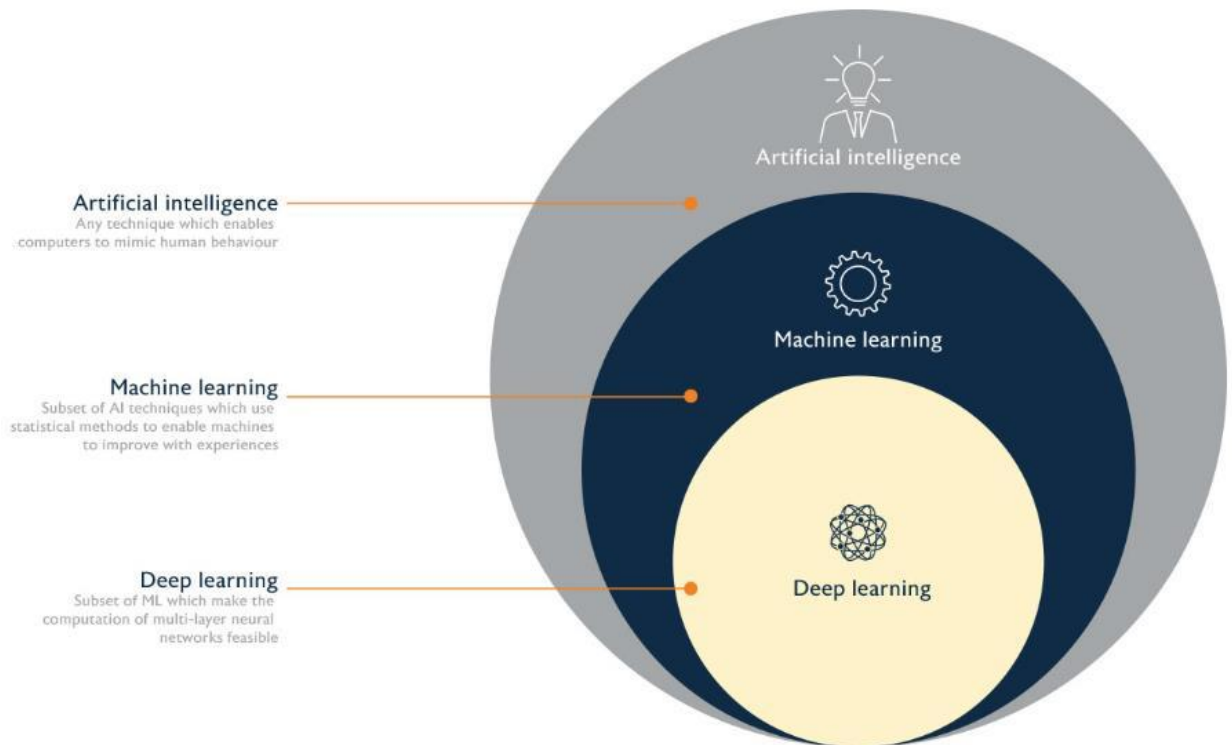


Figure 2.1 les sous-ensembles d'IA [18]

2.1.2 Les types d'IA

D'un point de vue technique, ces trois types d'IA peuvent être distingués :

2.1.2.1 L'IA symbolique

Qui représente le raisonnement humain à travers des règles logiques ou probabilistes. Cette approche a connu un grand succès dans les années 80 avec les systèmes experts et les arbres de décision, et elle est encore largement utilisée dans le domaine du diagnostic médical.

2.1.2.2 L'IA numérique ou Machine Learning

Qui sous sa forme supervisée, vise à prédire un comportement ou une réponse en utilisant des algorithmes basés sur des séquences de fonctions mathématiques et statistiques. Les paramètres de ces algorithmes sont optimisés grâce à l'apprentissage sur de nombreux exemples. Les méthodes de connexionnisme, telles que les réseaux de neurones et le deep learning, en sont les exemples les plus connus. En raison de leur complexité, elles sont souvent qualifiées de "boîtes noires".

2.1.2.3 L'IA générative la plus récente

Qui permet de produire des contenus sur demande (textes, images, etc.) à partir de données d'apprentissage. [19]

2.1.3 Domaines D'application

L'IA utilisé dans beaucoup domaines comme par exemple :

2.1.3.1 Finance

L'intelligence artificielle est employée afin de représenter de manière efficace l'exécution des transactions, surtout lorsqu'il y a des flux aléatoires d'ordres de marché. Cette application permet l'analyse approfondie et la détermination de stratégies optimales pour répondre à ces conditions variables. [20] Et des modèles sont élaborés dans le but de décrire la mémoire à long terme en utilisant des paramètres tels que l'intégration fractionnaire, les seuils d'impact, et l'asymétrie contemporaine, et ça permet d'approfondir notre compréhension des phénomènes économiques et financiers, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives pour la recherche dans ces domaines. [21]

2.1.3.2 Militaire

L'intelligence artificielle est employée pour développer des systèmes vitaux dans des secteurs tels que la défense, l'aéronautique et l'aérospatiale, avec pour objectif d'assurer leur fiabilité, leur sécurité et leur résistance. Il est crucial de réexaminer les méthodologies algorithmiques, logicielles et systémiques afin de standardiser les solutions en intelligence artificielle qui répondent aux strictes exigences militaires. [22]

2.1.3.3 Médecine

L'intelligence artificielle est mise à contribution pour assister dans le processus de diagnostic, guider les décisions thérapeutiques et promouvoir une médecine prédictive de haute précision. Cette utilisation ouvre de nouvelles perspectives dans le domaine de la santé, offrant ainsi des possibilités innovantes pour améliorer les soins médicaux. [23] Et l'apprentissage fédéré émerge comme un paradigme crucial pour avancer dans la recherche en intelligence artificielle tout en préservant la gouvernance et la confidentialité des données dans le domaine de la santé. Ça permet de développer un modèle global sans nécessiter le partage des données sensibles des patients. [24]

2.1.3.4 Robotique

Dans le domaine de la santé, l'IA et la robotisation posent des questions éthiques importantes, tant au moment de la conception des systèmes numériques et des algorithmes qu'au moment de leur utilisation. La relation patient-médecin et la perte de contrôle de l'expertise humaine sur les algorithmes sont des préoccupations majeures. [25]

2.1.3.5 Santé et sécurité au travail

L'un des principaux avantages de l'IA est son incapacité à se sentir stressée, fatiguée ou malade. En d'autres termes, la sécurité de l'IA peut réduire les facteurs humains sur le lieu de travail. Les facteurs humains jouent un rôle majeur dans la sécurité au travail, la fatigue et le stress contribuant facilement aux accidents. [26]

2.2 TECHNIQUES D'IA

2.2.1 Machine Learning « Apprentissage automatique »

En 1959, le mathématicien américain Arthur Samuel a introduit le concept du Machine Learning en développant un programme capable d'apprendre à jouer aux dames sans intervention humaine. Cela a marqué le début du domaine, défini par Samuel lui-même « Machine Learning is the science of getting computers to learn Without being explicitly programmed » [2]. En 1997, l'Américain Tom Mitchell a proposé une définition plus avancée en déclarant qu'une machine apprend lorsque sa performance dans l'exécution d'une tâche spécifique s'améliore avec de nouvelles expériences. Ainsi, le Machine Learning se réfère à la capacité d'une machine à apprendre quels calculs effectuer pour résoudre un problème donné. [27]

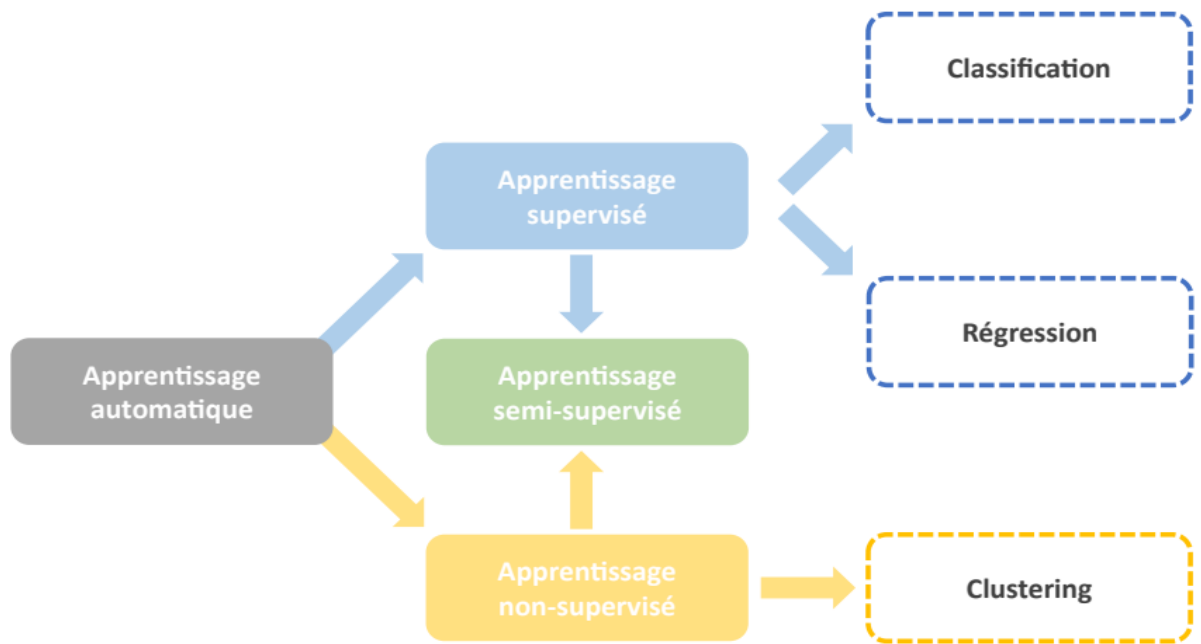


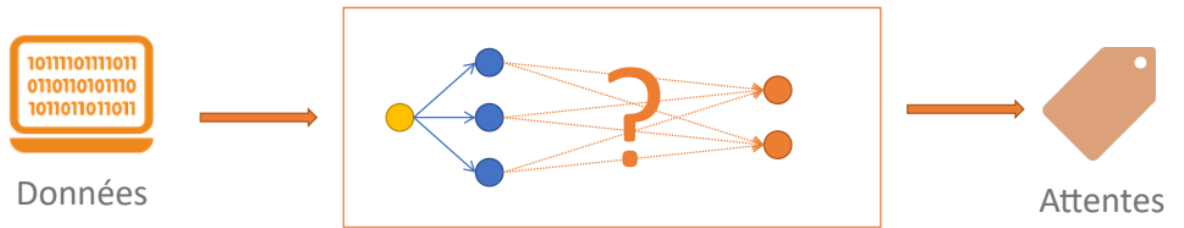
Figure 2.2 Schéma de décomposition des approches par apprentissage automatique.

Les principales méthodes d'apprentissage sont :

Apprentissage supervisé

L'apprentissage supervisé implique de déterminer la corrélation entre les données d'entrée x et les données de sortie y , dans le but de prédire de nouvelles sorties y_0 pour de nouvelles données d'entrée x_0 . Cette approche repose sur l'utilisation d'une base d'apprentissage, composée d'un ensemble de paires entrée-sortie notées $\{(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\}$, où n est un nombre entier naturel. L'objectif est d'attribuer une signification à ces données en les annotant (ou les étiquetant), ce qui permet à la machine de déterminer la relation sous-jacente. Pour accomplir cette tâche, les variables spécifiques à chaque observation doivent être suffisamment distinctives pour permettre l'identification des annotations. Ce problème est formulé par la relation $y = f(x)$, où f est une fonction inconnue représentant le phénomène observé, approximée par une fonction de prédiction g telle que $y = g(x)$, avec $x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ un vecteur de caractéristiques contenant des informations adéquates.. [28]

Phase d'entraînement



Phase de prédiction

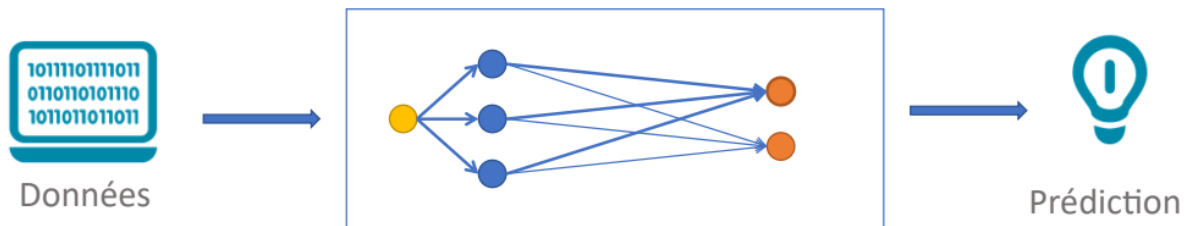


Figure 2.3 Schéma de l'approche dite supervisée.

Apprentissage non-supervisé

L'apprentissage non supervisé est un type d'algorithme conçu pour créer un paradigme d'apprentissage pour le simple fait d'apprendre. La motivation de l'apprentissage non supervisé est que bien que les données passant par les algorithmes d'apprentissage non supervisé possèdent une structure intrinsèque riche, la vérité fondamentale et la métrique utilisée pour l'entraînement sont généralement éparées. Cela implique que la majeure partie de ce que l'algorithme apprend doit provenir de la structure des données d'entrée plutôt que d'appliquer une compréhension spécifique à une tâche pratique. [29]

Ce concept est incarné à travers des approches telles que les k-moyennes qui visent à établir des associations en minimisant la disparité énergétique entre les points d'un même ensemble, comme illustré dans la Figure suivante. Cette méthodologie trouve diverses applications, notamment :

- La classification automatique de données pour définir de nouveaux regroupements de manière automatisée.
- La réduction de dimension, afin de conserver uniquement les informations cruciales. Le bag-of-words est un exemple, initialement conçu pour l'analyse textuelle et employé dans des domaines comme l'analyse d'images dermatologiques.

- L'exploration des relations au sein des données, mettant en lumière les associations les plus robustes entre variables et dépendances. [30][31]

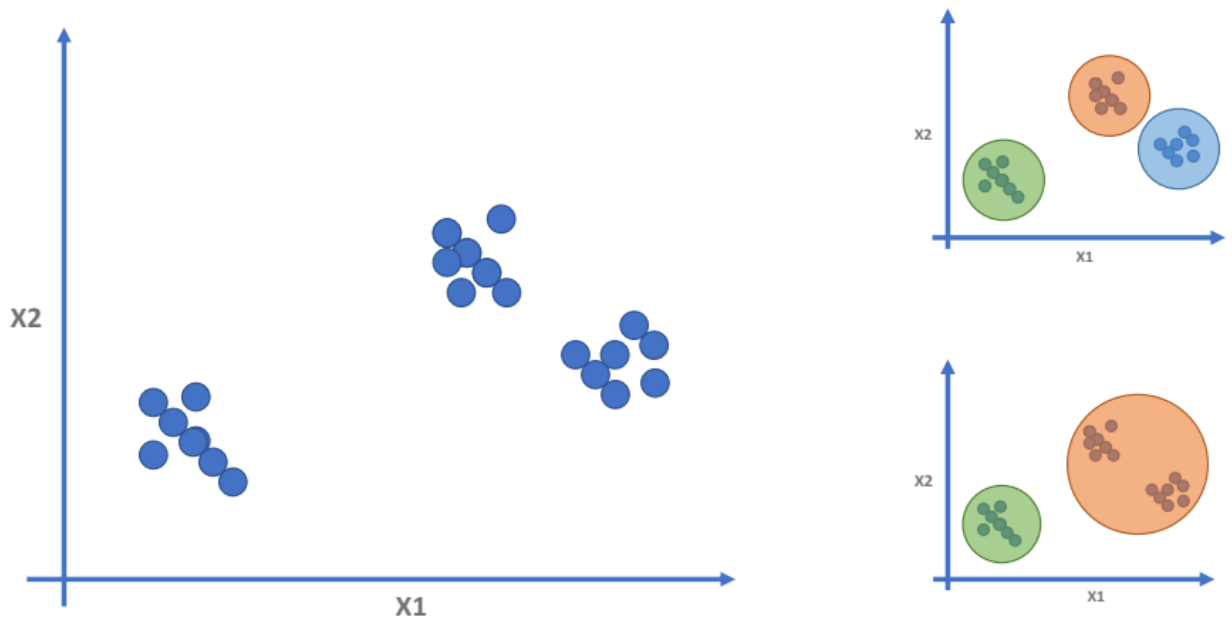


Figure 2.4 Exemple de données non associées à des annotations préalables.

Apprentissage semi-supervisé

Les méthodes d'apprentissage semi-supervisé cherchent à fusionner les deux principes mentionnés précédemment et résultent du coût élevé de l'annotation des données, qui nécessite souvent l'expertise humaine. En effet, obtenir une annotation complète pour un ensemble de données peut être difficile, sans pour autant vouloir renoncer à l'information non annotée. Ce dernier point est particulièrement pertinent dans le cas de données à grande dimension, où l'espace de dimension augmente de manière exponentielle, ce qui dilue les échantillons (connu sous le nom de "fléau des dimensions"). [32]

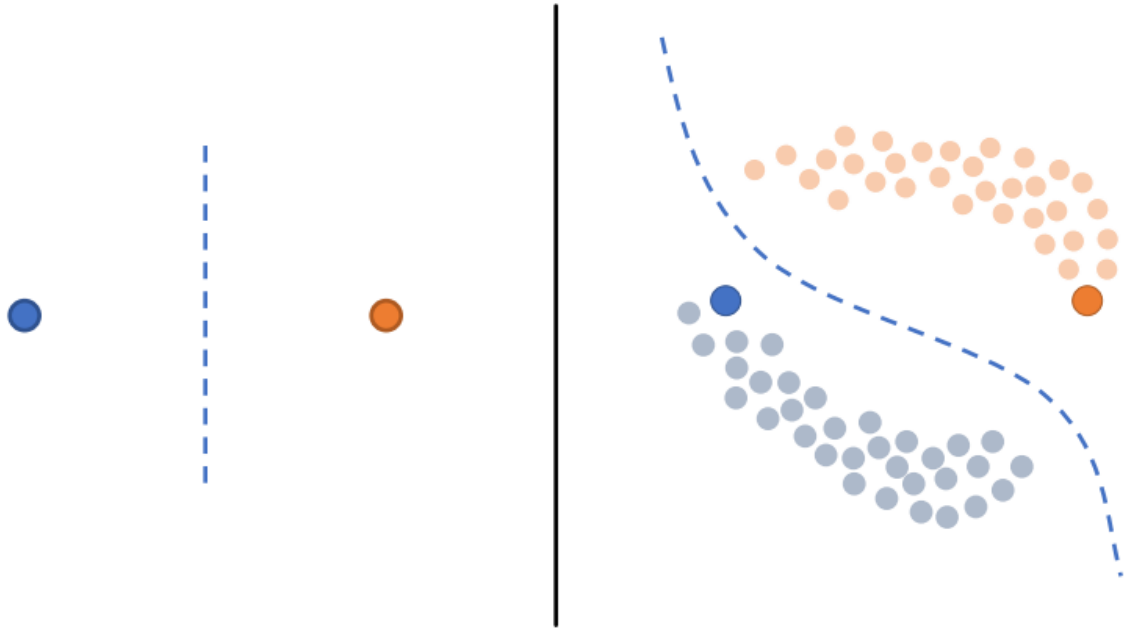


Figure 2.5 Exemple fréquemment employé pour démontrer l'intérêt de l'apprentissage semi-supervisé.

Le cycle de vie de l'apprentissage automatique

Le principal objectif du cycle de vie est de trouver une solution au problème, donc nous devrions détecter l'incendie qui est la chose commune dans tous les scénarios catastrophiques. Cette partie décrit le processus que nous suivons pour construire notre modèle, les étapes sont les suivantes :

1. Collecte de données : c'est la première étape du cycle de vie de l'apprentissage automatique. L'objectif de cette étape est d'identifier et d'obtenir tous les problèmes liés aux données qui sont des images et des vidéos d'incendies. C'est l'une des étapes les plus importantes du cycle de vie car plus nous avons de données et meilleure est la qualité et l'équilibre, meilleur sera le modèle apprendra et prédira avec précision.

2. Préparation des données : elle est utilisée pour comprendre la nature des données avec lesquelles nous allons travailler, nous devons comprendre les caractéristiques, le format et la qualité des données pour la meilleure précision.

3. Traitement des données : c'est l'une des étapes les plus importantes de l'ensemble du processus. Cette étape est utilisée pour nettoyer nos données des données en double et non valides et qui contiennent du bruit telles que des images floues. Nous devons être prudents dans cette étape, le manque de données invalides pourrait affecter la qualité de notre modèle.

4. Annotation des données : dans cette étape, nous devons étiqueter et encadrer l'incendie sur toutes les images que nous avons, comme nous l'avons dit dans l'apprentissage supervisé, nous formons l'ordinateur à partir de données d'entrée qui sont des images contenant le feu pour une sortie particulière qui est également le feu.

5. Entraîner le modèle : l'objectif de cette étape est de prendre nos images annotées (80 % des données) et un algorithme choisi par le Microsoft CustomVision (dans le dernier chapitre, nous discuterons du fonctionnement de l'entraînement), faire quelques calculs et produire un modèle qui peut prédire si une image, une vidéo ou une vidéo en temps réel contient un feu, nous pouvons dire que l'ordinateur peut voir le feu.

6. Tester le modèle : dans cette étape, nous vérifions l'exactitude de notre modèle en fournissant un test avec 20 % des données que nous avons, le test du modèle détermine le pourcentage de précision du modèle.

7. Déploiement : la dernière étape du cycle de vie de l'apprentissage automatique est le déploiement, où nous déployons le modèle dans le système du monde réel, comme les caméras de surveillance. [33]

Les techniques d'apprentissage automatique

La régression linéaire est un modèle statistique qui postule une relation de type linéaire entre un ensemble de variables indépendantes (appelées également variables explicatives ou prédictives) et une variable dépendante (ou variable de réponse). Cette relation peut être exprimée par l'équation suivante :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon$$

Dans cette équation :

- Y représente la variable dépendante, c'est-à-dire le résultat que l'on cherche à prédire ou expliquer.
- $X_1, X_2, \dots, X_n$ sont les variables indépendantes qui influencent Y
- β_0 est l'ordonnée à l'origine, ou l'interception, qui est la valeur de Y lorsque toutes les variables prédictives $X_1, X_2, \dots, X_n$ sont égales à zéro.

- $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ sont les coefficients associés à chaque variable prédictive, indiquant l'ampleur de l'impact de chaque X sur Y.
- ε est le terme d'erreur, qui représente les variations de Y non expliquées par les variables X, incluant les erreurs de mesure et d'autres facteurs aléatoires.

La régression linéaire cherche à trouver la meilleure combinaison linéaire des variables prédictives qui minimise les différences entre les valeurs observées et les valeurs prédites de la variable de résultat. [34]

Random Forest est un algorithme d'apprentissage automatique qui combine plusieurs arbres de décision pour améliorer la précision et la robustesse du modèle. Chaque arbre de décision est entraîné sur un sous-ensemble aléatoire des données et un sous-ensemble aléatoire des caractéristiques. La prédiction finale est obtenue en combinant les prédictions de tous les arbres de décision. [35]

KNN (k-plus proches voisins) est un algorithme d'apprentissage supervisé qui prédit la variable cible en trouvant les k échantillons les plus similaires à un nouveau point de données et en utilisant leurs variables cibles pour faire une prédiction. L'algorithme fonctionne en calculant la distance entre le nouveau point de données et tous les points de données existants dans le jeu de données. Les k plus proches voisins sont ensuite sélectionnés en fonction de cette distance, et la variable cible de ces voisins est utilisée pour faire une prédiction. [36]

Decision Tree est un modèle en forme d'arbre qui divise les données en sous-ensembles en fonction de la meilleure caractéristique et du seuil. Chaque nœud interne de l'arbre représente une caractéristique et les arêtes représentent les valeurs possibles de cette caractéristique. Les nœuds feuilles représentent la classe prédite ou la valeur prédite. [37]

2.2.2 Deep Learning « apprentissage profond »

L'apprentissage profond est une sous-discipline de l'intelligence artificielle qui se concentre sur la création de grands modèles de réseaux neuronaux capables de prendre des décisions précises basées sur les données. L'apprentissage profond est particulièrement adapté aux contextes où les données sont complexes et où de vastes ensembles de données sont disponibles. Aujourd'hui, la plupart des entreprises en ligne et des technologies grand public haut de gamme utilisent

l'apprentissage profond. Entre autres, Facebook utilise l'apprentissage profond pour analyser le texte dans les conversations en ligne. Google, Baidu et Microsoft utilisent tous l'apprentissage profond pour la recherche d'images, ainsi que pour la traduction automatique. [38]

2.2.2.1 Réseau de neurones artificiel

Les réseaux de neurones opèrent en distribuant les valeurs des variables à travers des entités automatisées, appelées neurones. Ces entités sont responsables de combiner leurs informations pour déterminer le paramètre discriminant. C'est grâce à l'interconnexion de ces entités que la capacité de discrimination du réseau de neurones émerge. Chaque neurone reçoit des données numériques de ses neurones voisins, avec un poids attribué à chaque valeur, représentant la force de la connexion. Chaque neurone effectue un calcul local, dont le résultat est ensuite transmis aux neurones suivants. [39]

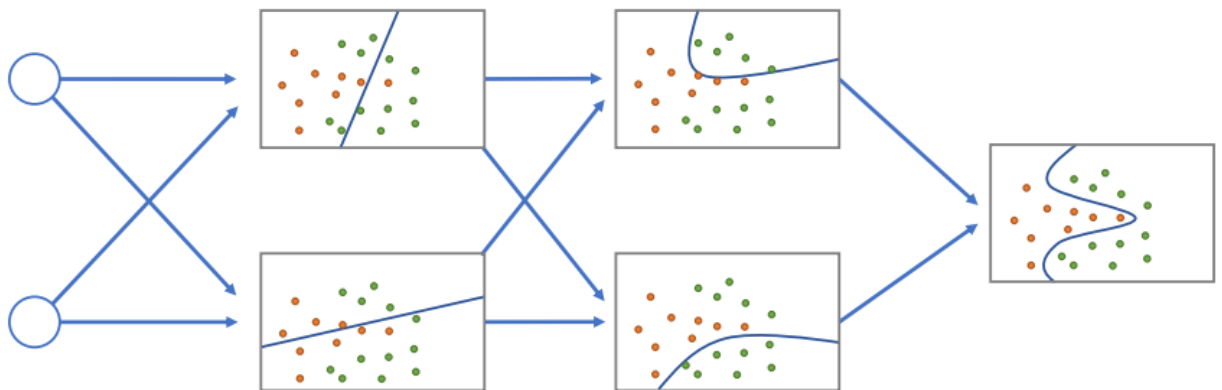


Figure 2.6 Exemple simplifié d'une structure d'apprentissage profond.

2.2.2.2 Réseau de neurones convolutifs

Les réseaux de neurones convolutifs ont été initiés par Fukushima, qui a élaboré une architecture de réseau neuronal hiérarchique s'inspirant des travaux de recherche de Hubel. LeCun les a ensuite généralisés avec succès pour classifier des chiffres et reconnaître les numéros de contrôle manuscrits grâce à LeNet-5. Ciresan a exploité les réseaux convolutifs et a atteint les meilleures performances documentées dans la reconnaissance d'objets multiples sur diverses bases de données d'images telles que MNIST, NORB, HWDB1.0, CIFAR10 et l'ensemble de données ImageNet. [40]

2.2.2.3 Transfert de connaissances

L'apprentissage par transfert est une technique affiliée à l'apprentissage profond, définie comme "l'utilisation de connaissances acquises dans un contexte particulier pour améliorer la généralisation dans un autre contexte". Cette méthode relève du domaine de l'adaptation de domaine, qui consiste à transférer les connaissances d'un domaine source DS, défini par l'hypothèse $h : X_S \rightarrow Y_S$, vers un domaine cible DT afin de satisfaire l'hypothèse $h : X_T \rightarrow Y_T$. Bien que son champ d'application ne se limite pas aux réseaux de neurones profonds, les contraintes qui y sont associées en font une ressource précieuse. [41]

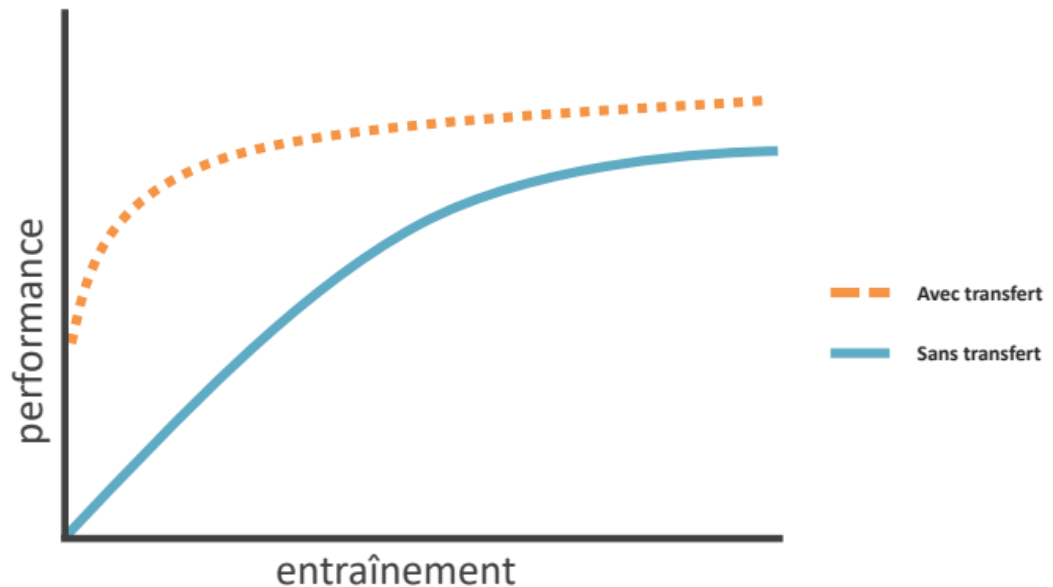


Figure 2.7 Exemple d'attentes liées à un apprentissage par transfert en opposition à un apprentissage classique.

2.2.3 Traitement du langage naturel

Le traitement du langage naturel (NLP) est un domaine de l'informatique et de l'intelligence artificielle. Il permet à un système informatique de comprendre et de traiter le langage humain, comme l'anglais. Le NLP est crucial pour l'IA car il permet aux agents IA de fonctionner sur des instructions humaines. Aujourd'hui, l'IA et le NLP sont largement utilisés, et nous pouvons facilement demander de l'aide à des assistants virtuels comme Siri, Google ou Cortana dans notre langue. Les applications de NLP permettent aux utilisateurs de communiquer directement avec le système dans leur propre langage. Les entrées et sorties des applications de NLP peuvent être soit des paroles soit du texte. [42]

2.2.4 Logique floue

La logique floue est une branche de l'intelligence artificielle qui s'intéresse à la gestion des imprécisions et des incertitudes. Elle a été introduite par Lotfi Zadeh en 1965 et a depuis été appliquée dans de nombreux domaines, tels que la commande, le diagnostic de systèmes complexes, la bioinformatique, la recherche opérationnelle, l'aide à la décision, l'évaluation subjective, la classification, la reconnaissance des formes, l'analyse de données, le traitement et

l'interprétation des images, la fouille de données, les systèmes d'information, les bases de données, la fusion d'informations, la robotique, l'économie et la gestion, la finance, la psychologie et d'autres domaines liés à l'intelligence artificielle. [43]

2.2.5 Systèmes experts

Un système expert, aussi appelé système basé sur la connaissance, est un logiciel informatique doté d'une structure spécifique. Cette structure se caractérise principalement par l'existence d'un module distinct du reste du programme, appelé base de connaissances. Cette base de connaissances est largement rédigée de manière déclarative, décrivant ainsi l'expertise dans un domaine sous forme de règles, d'objets ou de formes d'objets (frames). Du point de vue informatique, cette base de connaissances doit posséder deux qualités essentielles : la complétude et la cohérence. Cependant, ces propriétés ne sont pas automatiquement garanties dans l'état actuel de la technologie ; elles sont atteintes à travers un processus de développement similaire à celui des programmes, mais dans le domaine cognitif. Les outils de génération de systèmes experts facilitent ce processus de développement. En plus de ces deux qualités, la base de connaissances doit être lisible et facilement modifiable par un non-informaticien. Un système qui ne répond pas à cette condition ne peut être considéré comme un système expert et perd une grande partie de son utilité. [44]

2.3 FUSION DES INFORMATIONS

La fusion d'informations se définit comme l'action de « combiner des informations issues de plusieurs sources afin d'améliorer la prise de décision ». Cette combinaison est présente dans divers secteurs, notamment la santé et la biométrie, et peut être vue comme une manière d'améliorer la fiabilité des systèmes. L'engouement croissant pour ce domaine s'explique en partie par la multiplication et la diversification des capteurs disponibles. [47] L'ouvrage de Bloch justifie la fusion d'informations, par différentes notions auxquelles est soumis chaque capteur, dont :

- **L'incertitude** c'est-à-dire son « degré de conformité avec la réalité ».
- **L'imprécision** définie comme une « mesure du défaut quantitatif de connaissance, sur une mesure ».
- **L'incomplétude** correspond à « l'absence d'information d'une source sur des aspects du problème » [14]

La fusion est essentielle pour accomplir certaines tâches. L'effet de McGurk illustre concrètement la manière dont la vision et l'audition se complètent pour la perception de la parole, mais aussi les défis liés à la gestion des conflits d'informations provenant de ces deux sources distinctes. [48] L'ouvrage de Bloch définit trois termes propres à cette fusion :

- **Le conflit** l'une des notions pouvant conduire à une mauvaise interprétation du système lorsque plusieurs informations contradictoires sont reçues.
- **La redondance** l'apport multiple d'une même information, pouvant dans l'idéal permettre de réduire les incertitudes et les imprécisions.
- **La complémentarité** généralement des sources, liée à un apport de caractéristiques différentes permettant l'accès à une information globale et de lever des ambiguïtés. [14]

Il est également crucial de définir le résultat de la fusion des informations. Obtenir un consensus sur les différents niveaux et concepts associés peut être assez complexe. Ainsi, cette étude se concentre sur l'un des aspects étroitement liés à cette problématique. [45] Trois niveaux de fusion y sont décrits :

- **Le niveau bas**, considéré comme étant la fusion sur les données,
- **Le niveau moyen**, considéré comme la fusion des caractéristiques ou données plus abstraites,

- **Le niveau haut**, considéré comme la fusion des décisions.

Pour ces différents niveaux, le processus de fusion d'informations peut aboutir à : (i) une sélection, (ii) une transformation, (iii) une extraction, (iv) ou encore une classification de l'information. La Figure suivante propose une schématisation macroscopique de ce concept.

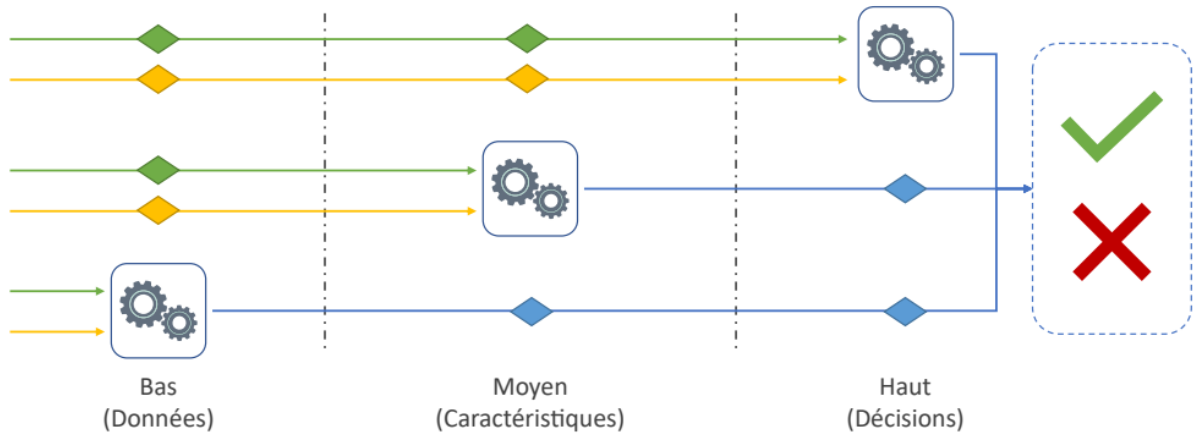


Figure 2.8 Schéma représentant les différents niveaux de fusion sur un système multimodal à deux capteurs : bas pour les données brutes, moyen pour les caractéristiques avancées, et haut pour la prise de décision.

La fusion à bas niveau intervient au niveau du capteur ou après la collecte de données provenant de plusieurs capteurs, nécessitant une cohérence entre ces modalités grâce à un référentiel commun. Elle vise à garantir la cohérence des informations ou à en réduire la complexité pour n'extraire que celles pertinentes.

La fusion à moyen niveau opère après le traitement initial des modalités pour extraire uniquement les éléments essentiels. Elle implique la mise en commun des informations complètes ou réduites, avec éventuellement une sélection des données pertinentes.

Quant à la fusion à haut niveau, elle intervient après les processus de prise de décision indépendants pour chaque modalité. Elle nécessite une stratégie pour privilégier une décision ou en extraire une à partir des informations disponibles. On distingue deux approches : la sélection dynamique de modèles de prédiction et la fusion de modèles de prédiction pour obtenir une décision globale.

Dans le contexte de problématiques binaires, la fusion de modèles comporte deux niveaux de décision conceptuels basés sur le type d'informations fournies par ces modèles. Le niveau supérieur concerne la fusion au niveau décisionnel, tandis que le niveau inférieur concerne la fusion au niveau des scores. Pour les problématiques à plusieurs classes, une troisième décision peut être prise au niveau du rang, en tenant compte de la position de chaque classe prédite par les différents modèles. [48]

2.4 CONCLUSION

En conclusion, l'intelligence artificielle représente une avancée technologique majeure qui a le potentiel de transformer radicalement notre société. Son évolution rapide et ses applications diverses ouvrent de vastes horizons d'opportunités dans de nombreux domaines, de la santé à l'éducation en passant par l'industrie et les services. Cependant, cette révolution technologique s'accompagne également de défis complexes, notamment en matière d'éthique, de confidentialité

des données et d'impact sur l'emploi. Il est impératif que nous abordions ces questions avec précaution et responsabilité, en veillant à ce que l'IA soit développée et utilisée de manière à favoriser le bien-être de l'ensemble de la société. En cultivant une compréhension approfondie des principes sous-jacents de l'IA et en promouvant un dialogue ouvert et inclusif, nous pouvons façonner un avenir où l'intelligence artificielle contribue véritablement à améliorer nos vies de manière significative et durable.

Chapitre 3: Les techniques d'intelligence artificielle pour la santé et la sécurité au travail

L'intégration croissante de l'intelligence artificielle (IA) dans divers aspects de notre société a ouvert de nouvelles perspectives passionnantes, notamment dans le domaine de la santé et de la sécurité au travail. En effet, l'IA offre des opportunités sans précédent pour prévenir les accidents, réduire les risques professionnels et améliorer la qualité de vie des travailleurs.

La sécurité au travail est une préoccupation majeure dans tous les secteurs d'activité, des industries lourdes telles que la construction et l'extraction aux environnements de bureau. Malgré les progrès réalisés au fil des ans dans la conception de normes de sécurité et la sensibilisation des travailleurs, les accidents et les incidents restent malheureusement courants. C'est là qu'intervient le potentiel de l'IA.

Dans ce chapitre, nous nous penchons sur les applications spécifiques de l'IA en matière de santé et de sécurité au travail, explorant comment cette technologie peut être utilisée pour anticiper, détecter et atténuer les risques professionnels. Nous examinerons également les bénéfices potentiels de l'IA en termes de formation professionnelle et de surveillance des environnements de travail.

Alors que nous entrons dans une ère où les données sont de plus en plus disponibles et traitables, l'IA se positionne comme un outil essentiel pour exploiter pleinement ces ressources afin de garantir des conditions de travail sûres et saines. Cependant, bien que les promesses de l'IA soient nombreuses, il est essentiel d'adopter une approche réfléchie et éthique dans son déploiement, en veillant à ce que les avantages offerts par cette technologie ne soient pas accompagnés de nouveaux défis ou de risques pour les travailleurs.

Dans ce chapitre, nous analyserons en détail les différents aspects de l'utilisation de l'IA dans le contexte de la santé et de la sécurité au travail, en mettant en lumière ses implications, ses défis et ses opportunités. En comprenant mieux le potentiel de cette technologie, nous pourrions envisager comment façonner un avenir du travail plus sûr, plus productif et plus durable pour tous.

3.1 APPLICATIONS D'IA ET EN MATIERE DE SST

Une définition de l'IA est l'étude d'un agent influencé par des données. Le processus de gestion environnementale, l'analyse des données et l'action basée sur l'analyse des données. La figure 1 détaille le processus de collecte de données à l'analyse des données en IA. La procédure pourrait être initiée avec des données collectées dans l'environnement via des capteurs. Les algorithmes d'apprentissage automatique sont utilisés pour analyser les données, et les résultats sont ensuite présentés. Le processus de déclenchement par les actionneurs était en fonction de l'environnement de travail. Les capteurs et les dispositifs agissent tous deux comme partie intégrante du système. La partie autonome de l'IA est désignée sous le nom d'IA, tandis que l'apprentissage automatique est la partie algorithmique de l'IA.

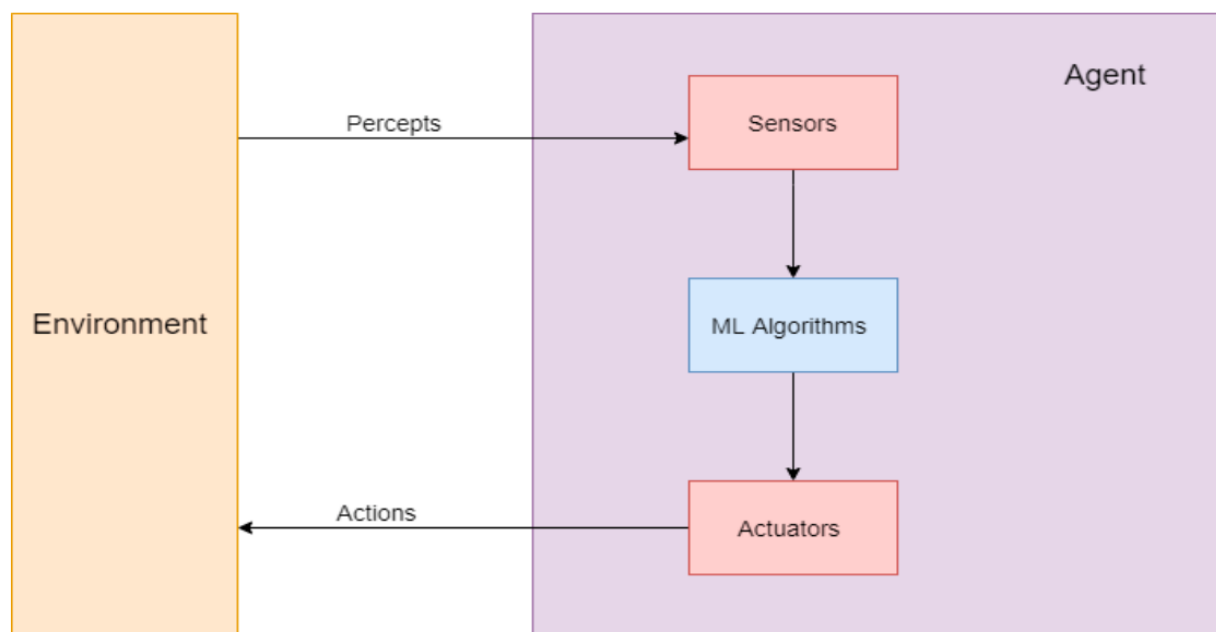


Figure 3.1 Composants d'un système d'IA

Dans les années 1990, l'IA et l'apprentissage automatique étaient encore à leurs débuts, avec peu de publications utilisant ces techniques. Au fil du temps, les publications sur l'IA et l'apprentissage automatique dans la SST sont devenues le principal domaine d'intérêt, car l'impact de l'IA et de l'apprentissage automatique sur les résultats financiers est croissant. Cette tendance a connu une augmentation rapide il y a deux ans, attribuée à la pandémie de COVID-19 qui a frappé le monde. On a observé une augmentation du nombre de tendances de recherche en IA et en apprentissage automatique dans les domaines de la médecine, du médical, du biomédical, de la pharmacologie et des produits pharmaceutiques également.

Une enquête menée en 2021 par McKinsey & Company a indiqué que l'adoption de l'IA dans tous les domaines est en constante augmentation, passant de 50 % en 2020 à 56 % en 2022. Depuis l'année dernière, l'adoption de l'IA a augmenté dans la plupart des pays émergents, notamment la Chine, le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord, l'Inde et suivi de près par la région Asie-Pacifique. La proportion augmente régulièrement, passant de 45 % d'adoption de l'IA en 2020 à 57 % en 2022.

L'enquête, qui implique 39 répondants ayant adopté l'IA, montre que la fonction des cas d'IA est principalement utilisée et appliquée dans le domaine de l'optimisation des opérations de service (69 %), de nouveaux produits améliorés basés sur l'IA (56 %), de l'automatisation des centres de contact (56 %), de l'optimisation des fonctionnalités des produits (51 %), du service et de l'intervention prédictifs (46 %), de l'analyse du service client (44 %), de la création de nouveaux produits basés sur l'IA (44 %), de la segmentation des clients (41 %), de la modélisation et de l'analyse des risques (41 %) et de l'analyse des fraudes et des dettes (36 %).

L'état actuel de l'IA et de l'apprentissage automatique dans la sécurité et la santé au travail (SST) présente de nombreuses applications potentielles telles que les analyses prédictives, les systèmes autonomes, la formation et l'éducation, les systèmes de gestion de la sécurité et la surveillance du lieu de travail. Ces technologies peuvent aider les organisations à prédire les risques potentiels, à développer des systèmes autonomes pour les tâches dangereuses, à améliorer la formation et l'éducation, à améliorer l'analyse des données et la gestion des risques, à surveiller le lieu de travail pour les risques potentiels et à suivre le comportement et la performance des travailleurs.[49]

3.2 COMMENT L'IA PEUT NOUS AIDER ?

Les méthodes de l'intelligence artificielle appliquées à la sécurité sur le lieu de travail peuvent être catégorisées en divers domaines, comprenant la prévention des accidents, la gestion des risques, la détection et la prévision des incidents, ainsi que la formation et l'apprentissage destinés aux travailleurs spécialisés.

3.2.1 Prévention des accidents et gestion des risques :

- **Analyse des données historiques et statistiques :** L'intelligence artificielle peut être déployée pour examiner les données historiques et statistiques des accidents du travail, permettant ainsi d'identifier les tendances, les facteurs de risque et les causes des incidents. Par exemple, des algorithmes d'apprentissage automatique peuvent être employés pour repérer les facteurs de risque au sein des registres de sécurité des entreprises. [50]
- **Détection des anomalies et des risques :** L'intelligence artificielle peut servir à repérer les anomalies au sein des données de sécurité, telles que des variations dans les paramètres de sécurité ou des comportements inhabituels, pouvant indiquer des risques potentiels. À titre d'exemple, des systèmes d'IA basés sur l'apprentissage profond peuvent être déployés pour détecter les anomalies dans les données de sécurité des installations industrielles. [51]
- **Simulation et modélisation :** L'intelligence artificielle peut être employée pour simuler et modéliser des scénarios de risques et d'incidents, facilitant ainsi l'évaluation des stratégies de prévention et de gestion des risques. À titre d'illustration, des modèles d'IA basés sur la physique et la chimie peuvent être utilisés pour simuler les conséquences d'accidents chimiques et évaluer les mesures de gestion des risques. [52]

3.2.2 Détection et prédiction des incidents :

- **Analyse des données en temps réel** : L'intelligence artificielle peut être employée pour analyser en temps réel les données provenant des systèmes de sécurité et détecter les incidents en cours. À titre d'exemple, des systèmes d'IA basés sur les réseaux de neurones peuvent être déployés pour repérer les incidents dans les systèmes de contrôle de sécurité des bâtiments. [53]
- **Prédiction des incidents** : L'intelligence artificielle peut être utilisée pour anticiper les incidents en se basant sur les données historiques et des modèles statistiques. À titre d'illustration, des modèles d'IA exploitant les données historiques des accidents du travail peuvent être utilisés pour prédire les incidents potentiels et élaborer des stratégies de prévention efficaces. [54]

3.2.3 Formation et apprentissage pour les professionnels :

- **Apprentissage automatique** : L'intelligence artificielle offre la possibilité de concevoir des programmes d'apprentissage automatique destinés aux professionnels, afin de leur enseigner les techniques de sécurité au travail ainsi que les stratégies de gestion des risques. À titre d'illustration, des systèmes d'IA exploitant l'apprentissage profond peuvent être élaborés pour créer des programmes d'apprentissage à destination des professionnels de la santé. [55]
- **Simulation et modélisation** : L'IA peut être employée pour élaborer des simulations et des modèles représentant des situations à risque, dans le but de former les professionnels à la gestion des incidents. Par exemple, des simulations basées sur l'IA et alimentées par les données historiques des accidents du travail peuvent être mises en place pour entraîner les professionnels à faire face aux incidents et à identifier les stratégies de gestion les plus efficaces. [56]

3.2.4 La surveillance :

- **Détection des équipements de protection individuelle** : En 2018, AI-SAFE (Système Intelligent Automatisé pour Assurer des Environnements de Travail Sûrs) a été lancé, détectant de manière astucieuse si les employés portent les EPI corrects pour chaque zone de travail. Normalement, les vérifications des EPI sont effectuées par un membre du personnel, avec un risque d'erreur humaine. [57]
- **Drones pour les tâches difficiles** : Une autre application de l'IA est d'entreprendre des tâches dangereuses, afin que les humains n'aient pas à le faire. Bien que strictement parlant, les drones eux-mêmes ne sont pas de l'IA, ils l'incorporent rapidement. Cela leur permet de prendre des décisions et de fonctionner de manière autonome. Par exemple, l'utilisation de drones est en augmentation dans l'industrie de la construction. En fait, entre 2017 et

2018, le nombre de drones déployés sur les chantiers de construction a augmenté de 239%. De plus, une enquête a révélé que plus de 50% des chantiers de construction utilisant des drones ont signalé une amélioration de la sécurité. Les drones sur les chantiers de construction peuvent recueillir et analyser des données qui seraient autrement ignorées par les humains. Par exemple, un chantier de construction à Dallas utilise des drones pour inspecter les toits depuis 2014. [57]

3.3 REDECA

La figure suivante décrit un nouveau cadre appelé Risk Evolution, Detection, Evaluation, and Control of Accidents (REDECA) développé par les auteurs pour théoriser comment les technologies et méthodes de l'IA peuvent être utilisées pour anticiper et contrôler le risque d'exposition dans l'environnement immédiat d'un travailleur. Le cadre REDECA est construit sur la base de l'idée fondamentale sous-jacente du modèle du fromage suisse, qui est un paradigme dominant pour décrire comment les incidents de blessures dans les systèmes complexes se produisent. Selon ce modèle, un danger donné peut générer un incident de sécurité lorsque plusieurs couches de défenses et de protections (ou interventions) conçues pour prévenir l'incident ou la perte ne fonctionnent pas correctement. Alors que le modèle du fromage suisse conceptualise qu'un incident de sécurité se produit lorsque plusieurs étapes de protections échouent, il n'est pas capable de montrer comment l'IA peut être utilisée à chaque étape de ce processus. Pour créer cette capacité, nous étendons le modèle du fromage suisse en incluant de nouveaux détails nécessaires pour décrire comment l'IA peut être et a été utilisée dans la détection, la prévention et le contrôle de l'évolution des accidents de sécurité. Ces détails incluent les caractéristiques de chaque état visité lors du passage d'un état sûr à un état d'accident, les probabilités et les informations de timing associées à chaque état, et les interventions qui peuvent inverser ou ralentir un tel processus. Nous avons montré tous ces détails par le cadre REDECA illustré dans la figure. Nous supposons qu'un travailleur humain, en raison de la nature de son travail, peut se trouver à différents niveaux de risque de sécurité à tout moment. Ces niveaux sont représentés par les trois états R1, R2 et R3 (indiqués par des boîtes bleues dans la figure). R1 est l'état idéal où un travailleur présente un risque minimal à nul d'exposition au danger. Notre objectif en tant que professionnels de la sécurité et de la santé au travail est de maintenir le travailleur dans cet état. Cependant, cela n'est souvent pas réalisable en raison des exigences du travail, des technologies disponibles, des facteurs environnementaux, du budget, etc. Dans R2, le travailleur présente un risque accru d'un événement d'exposition nocif lié au travail mais n'a pas encore subi d'événement nocif. R3 est l'état où un événement nocif lié au travail s'est déjà produit, affectant la santé et la sécurité du travailleur. Les entrées basées sur la technologie de l'IA peuvent surveiller et prévoir le changement d'état de risque et impacter le mouvement entre ces états de risque pour minimiser les dommages d'un événement nocif lié au travail. Pour minimiser la probabilité et les conséquences négatives des incidents de sécurité, nous nous intéressons à trois types d'informations et d'actions liées aux états R1, R2 et R3 : 1—probabilités de transition et temps pour passer d'états à plus faible risque à un état à plus haut risque (boîtes vertes dans la figure), 2—détection d'un changement d'état (boîtes blanches dans la figure), et 3—interventions dans chaque état qui réduisent le niveau de risque ou les conséquences négatives des incidents de sécurité (boîtes oranges dans la figure).

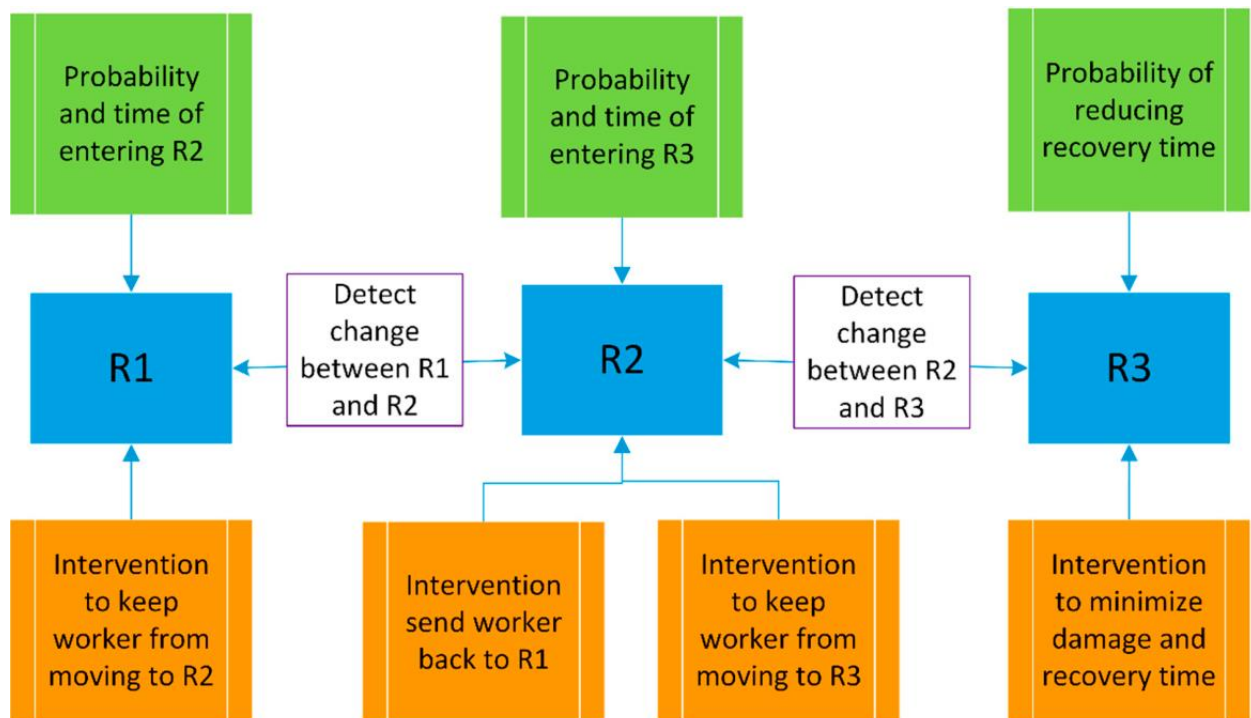


Figure 3.2 The Risk Evolution, Detection, Evaluation, and Control of Accidents (REDECA)

Pour un travailleur qui se trouve dans l'état R1, nous nous intéressons aux modèles et technologies basés sur l'IA qui nous aident dans les domaines suivants : calculer la probabilité et/ou le temps restant pour que le travailleur passe de l'état sûr (R1) à l'état exposé au danger de R2 ; détecter (détecter) l'événement qui montre une telle transition ; et concevoir et mettre en œuvre des technologies basées sur l'IA qui maintiennent le travailleur dans l'état R1 ou du moins réduisent la probabilité de passer de R1 à R2.

Pour un travailleur dans l'état R2, nous nous intéressons aux modèles/technologies basés sur l'IA qui nous aident dans les domaines suivants : calculer la probabilité et le temps restant pour qu'un travailleur passe de l'état exposé au danger de R2 à R1 ou R3 ; détecter ou détecter les événements correspondant à ces transitions ; et concevoir et mettre en œuvre des technologies et des modèles basés sur l'IA qui pourraient renvoyer le travailleur à l'état R1 ou du moins réduire la probabilité d'avoir un incident de sécurité, c'est-à-dire passer de R2 à R3.

Si un travailleur subit un incident blessant, alors l'état du travailleur est défini à R3. Dans cet état, nous nous intéressons aux modèles/technologies basés sur l'IA qui aident à réduire les dommages et le temps de récupération du travailleur, et à calculer les temps et la probabilité de récupération. Par conséquent, nous utilisons ce cadre pour classer la littérature IA/SST liée à la sécurité des travailleurs dans les cinq industries agricole, pétrolière et gazière, minière, de transport et de construction.

3.3.1 Résultats

Nous verrons les résultats de cette technologie dans les cinq plus grands domaines qui comportent des risques :

3.3.1.1 L'agriculture

L'agriculture a connu une évolution significative depuis ses modestes débuts de subsistance jusqu'à l'agriculture moderne, mais le taux d'incidents mortels stagne depuis les années 1990 et

elle est maintenant considérée comme l'industrie la plus dangereuse aux États-Unis. Bien que le nombre d'incidents mortels soit passé d'environ 1000 cas au début des années 1990 à moins de 600 cas en 2019, cela est principalement attribué à la réduction du nombre de travailleurs (et donc à une exposition moindre) en raison de la mise en œuvre de machines et de systèmes plus efficaces. La recherche en agriculture de précision et numérique a considérablement progressé ces dernières années grâce aux avancées technologiques dans les domaines de la technologie des capteurs, du développement de la robotique, de l'interaction homme-robot, des véhicules aériens sans pilote (UAV) et des algorithmes sophistiqués d'apprentissage automatique. Cependant, des investissements importants sont nécessaires pour continuer à améliorer la productivité et renforcer la santé et la sécurité dans les environnements agricoles. La recherche émergente sur les robots collaboratifs (co-robots) attire l'attention en tant que stratégie pour créer un environnement agricole de travail sûr. Les robots agricoles sont actuellement utilisés pour effectuer diverses tâches telles que la pulvérisation des pesticides, l'irrigation, la greffe, la taille, la surveillance des cultures et la récolte. Les drones et les systèmes à distance sont également de plus en plus utilisés pour la cartographie et la surveillance des cultures. Enfin, les capteurs biologiques peuvent être utilisés pour surveiller la santé des opérateurs humains, par exemple en mesurant les vibrations subies par les agriculteurs lors de l'utilisation de machines agricoles.

3.3.1.2 Pétrole et gaz

Les industries pétrolière et gazière englobent toute activité impliquée directement dans l'extraction de matières pétrolières et gazières du sol ainsi que les activités de soutien connexes. Elles utilisent des processus et des machines pour l'exploration, l'extraction, le raffinage, le transport et la commercialisation des produits pétroliers. De nos jours, ces industries intègrent diverses technologies de capteurs avancées pour collecter des données à analyser par des algorithmes d'apprentissage automatique (ML) afin de surveiller et de contrôler les processus de production de pétrole et de gaz. L'objectif de l'utilisation de ces technologies est d'augmenter l'efficacité, de réduire les coûts tout en maintenant des conditions de travail sûres pour les travailleurs.

Le processus d'obtention de pétrole et de gaz est divisé en trois principaux secteurs : l'amont, le milieu et l'aval. Le secteur amont concerne l'exploration des sources souterraines et sous-marines de pétrole brut et de gaz naturel, suivie de leur extraction à la surface. Le transport des produits extraits vers les raffineries se fait dans le secteur du milieu, tandis que le secteur aval concerne le raffinage du pétrole brut et du gaz naturel ainsi que leur distribution au détail.

Les avancées dans les algorithmes d'apprentissage automatique, les capteurs et les technologies robotiques ont entraîné d'importantes améliorations en matière de sécurité et de santé des travailleurs dans les industries pétrolière et gazière. Une partie importante des opérations dans ces industries se déroule dans des endroits reculés, des terrains hostiles et difficiles où les conditions météorologiques peuvent être inclementes et dures. Par conséquent, la surveillance, la maintenance et la gestion des opérations industrielles ainsi que des équipements sont cruciales pour garantir la sécurité et la santé des personnes impliquées.

Les réseaux de capteurs sans fil (WSN), l'Internet des objets (IoT) et les algorithmes d'apprentissage automatique sont trois domaines de recherche majeurs explorés dans ce contexte. Les WSN sont utilisés pour surveiller les conditions des puits de pétrole, détecter les fuites de gaz et de pétrole, et analyser les conditions environnementales pour générer des protocoles de gestion des risques. L'IoT est utilisé en combinaison avec la robotique pour la collecte de données et la surveillance en temps réel, notamment dans les environnements offshore et sous-marins. Les algorithmes d'apprentissage automatique sont utilisés pour analyser les données des capteurs et détecter les anomalies, améliorant ainsi la sécurité et l'efficacité des opérations.

3.3.1.3 Mines

Les algorithmes d'IA et d'apprentissage automatique (ML) jouent des rôles essentiels dans l'industrie minière en augmentant l'efficacité de l'exploration minérale et en améliorant la sécurité et la santé des travailleurs. Tout comme dans l'industrie pétrolière et gazière, l'industrie minière met en danger la santé et la sécurité des mineurs en raison des conditions environnementales minières éloignées et difficiles. Les opérations minières peuvent être divisées en deux étapes, l'exploration et l'extraction. L'exploration minérale commence par la collecte de données à partir de divers sites distants pour identifier les dépôts minéraux potentiels, suivie de l'étape de forage et d'extraction des minéraux. Ces étapes sont effectuées dans des conditions dangereuses et difficiles, où les travailleurs sont exposés à des espaces de travail restreints, un éclairage insuffisant, un approvisionnement en air inadéquat et des toits instables.

Les algorithmes d'IA et de ML peuvent être appliqués pour développer des foreuses autonomes capables de localiser les sites potentiels identifiés lors de l'étape de prospection et de réaliser des activités de forage. Les capteurs et les dispositifs portables sont deux catégories de technologies soutenant la sécurité et la santé des travailleurs miniers.

Les capteurs déployés peuvent être divisés en trois types : les capteurs portés par les travailleurs, les capteurs environnementaux et les robots autonomes. Les capteurs portés par les

travailleurs comprennent des systèmes utilisant des technologies telles que le GPS pour surveiller les mouvements et la localisation des travailleurs. Les capteurs environnementaux collectent des données sur les conditions entourant les travailleurs, telles que l'humidité, le bruit, les gaz toxiques, la température, la lumière et la poussière. Les robots autonomes et la technologie IoT fournissent des informations en temps réel sur l'état de la mine et des travailleurs, permettant aux travailleurs d'éviter les zones dangereuses.

Les dispositifs portables utilisant différents types de capteurs peuvent être utilisés pour suivre les mouvements et la localisation, mesurer les environnements extrêmes et enregistrer les caractéristiques physiologiques des travailleurs. Ils comprennent des casques, des montres, des caméras et des trackers d'activité. Par exemple, des casques intelligents équipés de capteurs sans fil sont essentiels pour la sécurité des travailleurs dans l'industrie minière. Les montres intelligentes intègrent des fonctionnalités telles que la détection de mouvement et la navigation GPS. Les lunettes intelligentes avec écrans d'affichage peuvent envoyer des alertes et des notifications aux travailleurs dans des endroits éloignés.

3.3.1.4 Transports

La fatigue des conducteurs est l'un des principaux facteurs affectant la sécurité des travailleurs dans l'industrie des transports. Elle est responsable d'un nombre significatif d'accidents de la route. Les algorithmes de détection de la fatigue des conducteurs sont essentiels pour prévenir de tels accidents. Ces algorithmes utilisent des données en temps réel provenant de divers capteurs pour détecter et prédire la fatigue des conducteurs. Ils peuvent être classés en quatre grandes catégories : biologiques, faciaux, véhiculaires et hybrides.

Les algorithmes biologiques utilisent des données de fréquence cardiaque, de variabilité cardiaque, d'électro-oculographie (EOG) et d'électroencéphalographie (EEG) pour détecter la fatigue des conducteurs. Les capteurs mesurent les changements dans ces paramètres physiologiques et les algorithmes d'apprentissage automatique les utilisent pour classer les conducteurs en états de fatigue ou d'alerte.

Les algorithmes faciaux se concentrent sur les expressions faciales telles que les mouvements des yeux, de la bouche et de la tête pour détecter la fatigue. Ils utilisent des techniques de suivi facial pour mesurer des paramètres tels que la fréquence de clignotement, la durée de fermeture des yeux et les mouvements de tête.

Les algorithmes véhiculaires analysent les modèles de mouvement du véhicule et du volant pour détecter la fatigue des conducteurs. Ils mesurent des paramètres tels que l'angle de braquage, la déviation de voie et la position du centre de charge.

Les algorithmes hybrides combinent des données provenant à la fois des conducteurs et des véhicules pour améliorer la précision de la détection de la fatigue. Ils utilisent des techniques de fusion de données pour combiner les informations provenant de différentes sources.

3.3.1.5 Construction

Le secteur de la construction est souvent décrit comme un système peu couplé avec plusieurs problèmes sur un chantier typique. L'un de ces problèmes est la sécurité et la santé des travailleurs sur un chantier de construction. Selon les données de l'OSHA, sur 4779 décès de travailleurs dans l'industrie privée en 2018, 1008, soit 21,1 %, étaient dans la construction, et parmi les décès dans la construction, la principale cause de mortalité était les chutes. Il n'est donc pas surprenant que la plupart des articles sur l'IA et la SST se soient concentrés sur la détection et la prédiction des chutes sur les chantiers de construction.

La détection des chutes commence par la collecte de données à partir de capteurs. Il est essentiel d'avoir une mesure précise d'un événement de chute pour développer un algorithme de détection des chutes efficace. Les chutes étant des événements inattendus, rares et divers, il n'existe pas de méthodes typiques pour détecter les chutes en termes de type de capteurs, de caractéristiques à extraire et d'algorithmes d'apprentissage automatique spécifiques pour obtenir de meilleurs résultats. La détection des chutes a été réalisée à travers la technologie de modélisation des informations du bâtiment (BIM) dans plusieurs études. D'autres rapports de méthodes de détection des chutes dans la littérature pourraient être divisés en trois catégories : dispositifs portables, basés sur des capteurs d'ambiance et basés sur des caméras. La détection de la chute aide à faire intervenir rapidement les premiers intervenants sur les lieux et à réduire potentiellement les conséquences négatives pour la santé liée à la chute.

Les avancées en matière de technologie des capteurs ont conduit au développement de capteurs petits, peu coûteux et non intrusifs qui peuvent être intégrés à des dispositifs tels que des montres ou des téléphones, et qui peuvent surveiller les travailleurs en temps réel. Les caractéristiques les plus populaires extraites de ces capteurs sont la magnitude du vecteur d'accélération (SMV), la magnitude angulaire du gyroscope et l'électromyographie. Des méthodes robustes de détection des chutes ont été développées sur la base de ces caractéristiques, avec des capteurs placés au bon endroit sur le corps.

Les capteurs basés sur des caméras sont également utilisés pour surveiller l'environnement et le comportement des utilisateurs en mesurant le rapport largeur-hauteur d'une image. Les capteurs d'ambiance recueillent des informations sur les changements dans l'environnement entourant l'individu, tels que les vibrations, les pressions, les changements dans les motifs infrarouges ou les champs électriques, qui peuvent être utilisés pour mesurer divers paramètres de mobilité et de démarche utilisés de manière critique dans les systèmes de détection des chutes. [58]

3.4 QUELQUES APPROCHES D'APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE POUR LA SST

3.4.1 Modèle de Régression Linéaire pour Prédire les Risques de Sécurité des Travailleurs de Construction

Pour améliorer la protection des travailleurs dans les travaux de construction, il est essentiel de reconnaître les facteurs causaux les plus critiques des dangers liés à la construction parmi divers groupes de travailleurs. Cette étude a employé une approche de régression linéaire multiple (MLR) pour développer un modèle capable de prédire les niveaux de sécurité parmi les travailleurs de construction peu qualifiés. Les données ont été collectées auprès de 150 sujets sur 12 chantiers de construction dans le sud-ouest du Nigeria. Les variables jugées jouer un rôle clé dans la sécurité ont été mesurées à l'aide d'un questionnaire. Les variables corrélées de manière significative ($p \leq 0,05$) au risque de sécurité dans les tâches ont été notées en utilisant la corrélation rho de Spearman avec le logiciel SPSS. La prédiction du modèle était basée sur le R^2 ajusté. La distance de Cook du modèle et sa proximité avec la distribution normale ont été évaluées. Initialement, 37 variables d'attributs ont été regroupées, avec 13 variables prédictives restant dans le modèle optimal. Les méthodes de travail incorrectes, le manque de contrôle du travail et les environnements extérieurs rigoureux figuraient parmi les coefficients β positifs les plus élevés (0,217, 0,127 et 0,126 respectivement). Le coefficient de détermination R^2 ajusté maximal était de 0,708. L'histogramme des résidus suggérait une proximité avec la distribution normale, avec une distance de Cook maximale de 0,930. Un modèle MLR a été développé pour évaluer le niveau de sécurité parmi le groupe de travailleurs, et les performances du modèle ont atteint les objectifs de l'étude. L'auteur a recommandé de promouvoir des mesures pour réduire les coefficients β de toutes les variables prédictives dans le modèle afin de maximiser la sécurité parmi le groupe de travailleurs de la construction.

Un modèle de régression linéaire multiple a été réalisé pour modéliser le risque de sécurité professionnelle (OSR) parmi les travailleurs non qualifiés. Le modèle était adapté pour prédire le résultat ($F = 13,863$, $df = 18$, $p < .001$). Les variables prédictives après le treizième processus itératif

incluent : mauvaise utilisation des EPI (VA-1), consommation d'eau insuffisante (VD-2), accès insuffisant aux programmes de promotion de la sécurité (VA-5), absence de provision pour ombrage de repos (VE-8), exposition aux risques environnementaux (VB-2), inhalation de substances nocives (VB-3), programme de sécurité insuffisant (VA-2), consommation de substances (VD-5), utilisation excessive (VE-1), méthodes de travail incorrectes (VE-2), manque de contrôle du travail (VE-5), environnement extérieur rigoureux (VB-1), et utilisation d'outils incorrects (VF-1). Parmi les variables prédictives, l'utilisation de méthodes de travail incorrectes avait la valeur de coefficient la plus forte (0,217). Les paramètres de régression peuvent être utilisés pour calculer la valeur du risque de sécurité à partir du modèle entier ou en partie. [59]

3.4.2 Prédire les accidents mortels liés aux chutes de hauteur à l'aide d'un modèle d'apprentissage automatique de classification aléatoire des forêts (Random forest)

Les travailleurs de la construction dans les pays développés ont une probabilité presque quatre fois plus élevée d'être impliqués dans un accident mortel que les travailleurs d'autres secteurs, tandis que dans les pays moins développés, cette probabilité est presque six fois plus élevée (OIT, 2018). En Malaisie, le secteur de la construction enregistre le plus grand nombre de décès, représentant environ la moitié de tous les accidents professionnels mortels (Zermane et al., 2020). En 2021, 151 décès ont été signalés, dont 37 % étaient des accidents de construction, principalement dus à des chutes de hauteurs (Zermane et al., 2022a). Hamid et al. (2008) ont identifié les principales causes des accidents dans ce secteur en Malaisie : négligence des travailleurs, non-respect des procédures, travail à haute altitude, utilisation d'équipements sans dispositifs de sécurité, mauvaise gestion du site, conditions de travail difficiles, faible niveau de compétence des travailleurs, non-usage des équipements de protection individuelle et attitudes négatives envers la sécurité. Les facteurs utilisés dans le jeu de données proviennent d'une étude antérieure des mêmes chercheurs. Sept modèles d'apprentissage automatique ont été appliqués aux données, parmi lesquels le boosting de gradient extrême, les arbres de décision, la forêt aléatoire, la perception multi-couches, le k-voisin le plus proche, la classification par vecteurs de support et la régression logistique, avec 70 % des données utilisées pour l'entraînement et 30 % pour les tests. La courbe ROC a été utilisée pour évaluer la performance des modèles, et l'algorithme de forêt aléatoire a été utilisé pour développer le modèle optimal en utilisant Python Scikit-RandomForestClassifier, augmentant la précision grâce à l'apprentissage par ensemble. La carte thermique de seaborn a montré les corrélations entre les variables. Le nuage de mots extrait des descriptions des accidents a révélé que "victime" et "tombé" sont les termes les plus fréquents, soulignant que les chutes de hauteur sont un focus principal.

L'apprentissage automatique offre des avantages significatifs pour la recherche en sécurité, le modèle de forêt aléatoire développant des insights importants sur les facteurs affectant les chutes mortelles de hauteur, avec les modèles XGB, RF et DT montrant les meilleures précisions. [60]

3.4.3 Impact et Prévention des Troubles Musculo-Squelettiques Liés au Travail à l'Aide de l'Intelligence Artificielle (KNN)

Les troubles musculo-squelettiques liés au travail (TMSLT) sont fréquents chez les travailleurs, entraînant des impacts sociaux et économiques significatifs. En 2007, les coûts directs des TMS aux États-Unis ont été estimés à 1,5 milliard de dollars. En Europe, 24,7 % des travailleurs se plaignent de maux de dos, 22,8 % de douleurs musculaires et 45,5 % de positions de travail douloureuses ou fatigantes. Les TMSLT comprennent divers types de douleurs et blessures liées aux muscles, nerfs, tendons, etc., causées par des efforts physiques excessifs au travail. La variabilité des terminologies complique la comparaison des études sur les TMS. De nombreuses recherches se concentrent sur la prévalence des TMS dans différentes professions et les facteurs de risque associés, tandis que d'autres explorent les effets des facteurs individuels, psychosociaux et d'information sur la prévention.

L'application de l'intelligence artificielle, comme l'algorithme des k-plus proches voisins (KNN), permet de modéliser les risques de TMSLT et d'identifier les facteurs les plus associés à ces troubles, aidant ainsi à prioriser les interventions ergonomiques. [61]

3.4.4 Analyse de l'efficacité de la formation SST dans le secteur de la construction en Chine

La formation à la santé et à la sécurité au travail (SST) est un moyen important de prévenir les risques de sécurité dans le secteur de la construction. Cependant, l'efficacité de la formation SST en Chine est remise en question. Dans cette étude, l'analyse de l'arbre de décision CHAID (détection automatique des interactions chi-carré), l'analyse du chi-carré et l'analyse de corrélation ont été utilisées pour explorer les principaux, les facteurs secondaires, les facteurs faibles, non liés et attendus affectant l'efficacité de la formation. Pour la première fois, la méthode des "cinq facteurs" de l'efficacité de la formation a été proposée. Il a été constaté que l'efficacité de la formation est positivement corrélée avec les responsabilités professionnelles, la formation SST et la satisfaction au travail. Elle est également significativement liée au certificat professionnel, au temps de formation, à la méthode de formation et au temps de travail. Cependant, l'efficacité de la formation n'a aucun lien avec l'âge personnel, l'état matrimonial, le niveau d'éducation, le type d'emploi et l'expérience ou non des accidents industriels. Les travailleurs sur site s'attendent à ce

que l'entreprise fournisse la sécurité et des opportunités telles que la sécurité physique, la formation et l'apprentissage, et le développement de carrière futur.

Les résultats montrent que la formation au système de SST devrait être renforcée dans l'industrie de la construction, et que des formations classées devraient être effectuées en fonction des responsabilités des postes, des méthodes de formation, de la satisfaction au travail et des heures de travail. [62]

3.5 CONCLUSION

En conclusion, l'IA offre des opportunités remarquables pour améliorer la santé et la sécurité au travail à travers ses multiples applications. Cependant, son déploiement efficace nécessite une collaboration étroite entre les experts en IA, les professionnels de la santé et de la sécurité, ainsi que les acteurs industriels. En investissant dans la recherche et le développement de solutions d'IA adaptées aux besoins spécifiques de chaque secteur, nous pouvons créer des environnements de travail plus sûrs et plus productifs pour tous.

Chapitre 4: Etude expérimentale

Dans ce chapitre, nous allons développer un module de ML. Premièrement pour analyser et déterminer la relation entre les différents facteurs contributifs aux accidents de travail chez SONEGAS TINDOUF et leur gravité. Et deuxièmement pour la relation entre les jours d'arrêt de travail et les maladies professionnelles susceptibles d'affecter les employés en raison de leur activité professionnelle. Pour cela, nous utiliserons un jeu de données téléchargé depuis le site électronique Kaggle.

4.1 ENVIRONNEMENT DE DÉVELOPPEMENT

4.1.1 Environnement matériel (Google Colab)

Google Colab, abrégé de Google Colaboratory, est une plateforme cloud offerte par Google permettant aux utilisateurs d'écrire et d'exécuter du code Python dans des notebooks Jupyter sans nécessiter de configuration locale. Ce service gratuit donne accès à des GPU et TPU de Google pour des calculs intensifs, facilitant ainsi le développement et l'exécution de projets en machine learning, entre autres. Les notebooks peuvent être sauvegardés et partagés via Google Drive, offrant une flexibilité d'accès depuis n'importe quel navigateur. C'est une solution idéale pour la collaboration et l'apprentissage, fournissant un environnement interactif où le code, la documentation et les résultats peuvent être intégrés de manière transparente.

4.1.2 Environnement logiciel

4.1.2.1 Python

Python est un langage de programmation interprété, orienté objet et de haut niveau, réputé pour sa simplicité et sa lisibilité. Créé par Guido van Rossum et publié pour la première fois en 1991, Python favorise une syntaxe claire qui permet aux programmeurs d'exprimer des concepts en moins de lignes de code qu'avec d'autres langages traditionnels. Il prend en charge plusieurs paradigmes de programmation, notamment impératif, fonctionnel et orienté objet, et propose une vaste bibliothèque standard qui facilite le développement de divers types d'applications. Python est largement utilisé dans de nombreux domaines tels que le développement web, le calcul scientifique, l'analyse de données, l'intelligence artificielle et le machine learning, en raison de sa polyvalence et de sa communauté active qui contribue à son évolution constante.

Google Colab utilise principalement le langage de programmation Python dans ses notebooks Jupyter. Python est choisi pour sa simplicité, sa lisibilité et sa popularité dans le domaine de la science des données et du machine learning, ce qui en fait un choix idéal

pour les tâches réalisées dans l'environnement cloud de Colab. En plus de Python, les notebooks Colab supportent également l'utilisation de langages comme Markdown pour la documentation et d'autres langages via des noyaux spécifiques installés au besoin.

4.1.2.2 Les libraires utilisés

- **NumPy** est une bibliothèque fondamentale pour le calcul scientifique en Python, qui offre un support puissant pour les tableaux multidimensionnels, ainsi que des fonctions mathématiques pour manipuler ces tableaux. Créée pour optimiser les opérations sur les tableaux et les matrices, NumPy permet d'effectuer des calculs numériques efficacement et avec une syntaxe claire. Elle constitue la base de nombreuses autres bibliothèques Python utilisées en data science, en analyse de données et en calcul scientifique, grâce à ses performances élevées et à sa capacité à intégrer des codes écrits en C ou en Fortran. NumPy est essentiel pour le traitement des données et la manipulation des matrices dans des applications telles que l'apprentissage automatique, la simulation numérique, et bien d'autres encore.
- **Pandas** est une bibliothèque open-source Python spécialisée dans la manipulation et l'analyse des données. Elle offre des structures de données puissantes et flexibles, principalement les **DataFrames** (tableaux de données bidimensionnels) et les **Series** (structures de données unidimensionnelles). Créée pour faciliter le travail avec des données hétérogènes et étiquetées, Pandas permet de charger, manipuler, filtrer et agréger des ensembles de données de manière efficace. Elle offre des outils robustes pour le nettoyage des données, la fusion et le regroupement de données, ainsi que pour le calcul de statistiques descriptives. Pandas est largement utilisée en data science, en analyse de données et dans d'autres domaines où le traitement et l'analyse de données tabulaires sont nécessaires.
- **Scikit-learn** est une bibliothèque open-source Python dédiée à l'apprentissage automatique (machine learning). Elle offre une gamme complète d'outils pour la modélisation et l'analyse des données, y compris des algorithmes de classification, de régression, de regroupement, de réduction de dimensionnalité, et de

prétraitement des données. Scikit-learn est construite autour de principes simples et efficaces, offrant une interface uniforme pour accéder à divers algorithmes et méthodes d'évaluation de modèles. Elle s'intègre facilement avec d'autres bibliothèques Python telles que NumPy, Pandas et Matplotlib, facilitant ainsi le flux de travail complet de préparation des données à l'évaluation des modèles. Scikit-learn est largement utilisée dans la communauté scientifique et industrielle pour ses performances, sa documentation exhaustive et sa communauté active.

- **Matplotlib** est une bibliothèque Python populaire utilisée pour la création de visualisations statiques, animées et interactives. Elle offre une flexibilité énorme pour la création de graphiques et de tracés de haute qualité, adaptés à divers besoins en visualisation de données et en présentation graphique. Matplotlib permet de générer une large gamme de graphiques tels que des graphiques linéaires, des histogrammes, des diagrammes en barres, des nuages de points, des diagrammes circulaires, et bien plus encore. Cette bibliothèque est conçue pour fonctionner de manière transparente avec les autres bibliothèques Python telles que NumPy et Pandas, ce qui en fait un outil puissant pour l'analyse exploratoire des données et la communication des résultats.

4.1.2.3 Code d'importation des libraires Python utilisés

Pour importer les libraires utilisé il faut écrit ce code suivant :

```
import numpy as np
```

```
import pandas as pd
```

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
from sklearn.metrics import mean_squared_error, r2_score, mean_absolute_error,  
d2_absolute_error_score
```

```
from sklearn.model_selection import learning_curve, train_test_split
```

```
from sklearn.linear_model import LinearRegression
```

```
from sklearn.tree import DecisionTreeClassifier, DecisionTreeRegressor
```

```
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier, RandomForestRegressor
```

```
from sklearn.neighbors import KNeighborsClassifier, KNeighborsRegressor
```

Ce code importe les bibliothèques nécessaires pour effectuer des analyses et des modèles prédictifs en utilisant Python :

- ``numpy`` et ``pandas`` sont utilisés pour la manipulation des données et les calculs numériques.
- ``matplotlib.pyplot`` est utilisé pour tracer des graphiques.
- ``mean_squared_error``, ``r2_score``, ``mean_absolute_error`` sont des fonctions d'évaluation de la performance des modèles.
- ``learning_curve``, ``train_test_split`` sont utilisés pour la validation et l'évaluation des modèles.
- ``LinearRegression``, ``DecisionTreeClassifier``, ``DecisionTreeRegressor``, ``RandomForestClassifier``, ``RandomForestRegressor``, ``KNeighborsClassifier``, ``KNeighborsRegressor`` sont des algorithmes de modélisation machine disponibles dans `scikit-learn` pour construire et évaluer des modèles prédictifs.

Ce code prépare essentiellement l'environnement pour l'analyse et la modélisation de données, en important les outils nécessaires pour charger, nettoyer, explorer, et modéliser des données à l'aide de différents algorithmes d'apprentissage automatique.

Un courbe d'apprentissage « learning curve » est une représentation graphique montrant comment la performance d'un individu ou d'un système s'améliore au fil du temps avec la pratique ou l'expérience. Elle illustre la relation entre la quantité d'efforts ou de temps consacrés à l'apprentissage d'une tâche et le niveau de performance atteint.

4.2 PRÉPARATION DES DONNÉES

4.2.1 Description des données à traiter

- Le premier cas d'étude représente 62 accidents de travail survenu à la SONEGAS Tindouf, unité de Merkala. J'ai récupéré le fichier des accidents que j'ai classé selon les facteurs causaux (Facteur humain, Facteur environnemental, Facteur surveillance, Facteur de route et Facteur mécanique) et leur gravité, comme indiqué dans la figure suivante :

	A	B	C	D	E	F	G
1	Accidents	Facteur humain	Facteur environnemental	Facteur humain	Facteur de	Facteur matériel	Gravité
2	1	1	0	0	0	0	0.1
3	2	1	0	1	0	1	0.3
4	3	1	0	0	0	0	0.15
5	4	0	1	0	0	0	0.05
6	5	1	0	1	0	1	0.2

Figure 4.1 Tableau des accidents de travail et ses facteurs et sa gravité

- Pour le second cas, il s'agit de données disponible sur internet publiées par OSHA (Occupational Health Safety Agency) une agence américaine gouvernementale. Ce dataset est composé de 287028 données sur des accidents survenus dans des entreprises américaines durant l'année 2021.

#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
1	id	company	establish	in	street	ad	city	state	zip	code	naics	code	industry	annual	total	hours	total	injury	total	deaths	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total	dollar	total</

Figure 4.2 Tableau des données des accidents du travail des entreprises du U.S.A (2021)

«<https://www.kaggle.com/datasets/robikscube/osha-injury-data-20162021>»

4.2.2 Méthodes de préparation et de traitement des données

Avant de faire l'entraînement pour la prédiction de la gravité des accidents, j'ai préparé les données en fichier excel (et CSV), et je les ai téléversé sur google Colab. Ensuite, j'ai classé les données en entrées et sorties. Après cela, j'ai divisé les données en 20 % pour les données de test et 80 % pour les données d'entraînement.

Voici un code python montrant ces étapes pour les deux cas d'étude :

1- Accident de Sonelgaz:

```
data1 = pd.read_excel('/content/data_accident_sonelgaz1.xlsx')  
  
X = data1[['Facteur humain', 'Facteur environnemental', 'Facteur surveillance', 'Facteur de  
route', 'Facteur mécanique ']]  
  
y = data1['Gravité']  
  
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42)
```

2- Accidents aux USA :

```
data2 = pd.read_csv('/content/Kaggle.csv')  
  
X=data2[['total_injuries', 'total_poisonings', 'total_respiratory_conditions', 'total_skin_disor  
ders', 'total_hearing_loss', 'total_other_illnesses']]  
  
y = data2['total_dafw_days']  
  
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42)
```

4.3 MODÈLES UTILISES

4.3.1 Régression linéaire (LinearRegression)

Le code suivant permet d'initialiser un modèle de type LinearRegression, de lancer l'entraînement de ce modèle et enfin tester la prédiction :

```
model = LinearRegression()  
  
model.fit(X_train, y_train)  
  
y_pred = model.predict(X_test)
```

La partie suivante permet de visualiser les courbes d'apprentissage et les métriques de performances :

```
train_sizes, train_scores, test_scores = learning_curve(  
    model, X, y, cv=5, scoring='neg_mean_squared_error', n_jobs=-1,  
    train_sizes=np.linspace(0.1, 1.0, 10), random_state=42)  
  
train_scores_mean = -train_scores.mean(axis=1)  
  
train_scores_std = train_scores.std(axis=1)  
  
test_scores_mean = -test_scores.mean(axis=1)  
  
test_scores_std = test_scores.std(axis=1)
```

```
plt.figure(figsize=(10, 6))

plt.fill_between(train_sizes, train_scores_mean - train_scores_std,
                 train_scores_mean + train_scores_std, alpha=0.1, color="r")

plt.fill_between(train_sizes, test_scores_mean - test_scores_std,
                 test_scores_mean + test_scores_std, alpha=0.1, color="g")

plt.plot(train_sizes, train_scores_mean, 'o-', color="r", label="apprentissage")
plt.plot(train_sizes, test_scores_mean, 'o-', color="g", label="Validation croisée")

plt.title("Courbe d'apprentissage du modèle")
plt.xlabel("Taille de l'ensemble d'entraînement")
plt.ylabel("Erreur quadratique moyenne")
plt.legend(loc="best")
plt.grid(True)
plt.show()

mse = mean_squared_error(y_test, y_pred)
print(f'Mean Squared Error (MSE): {mse:.4f}')

r2 = r2_score(y_test, y_pred)
print(f'R2 Score: {r2:.4f}')

mae = mean_absolute_error(y_test, y_pred)
print(f'Mean Absolute Error (MAE): {mae:.4f}')

score = d2_absolute_error_score(y_test, y_pred)
print(f"D2 Absolute Error Score: {score}")
```

Voici les résultats obtenus pour chaque cas : :

- Accident de Sonelgaz :

Mean Squared Error (MSE): 0.0162

R2 Score: 0.3056

Mean Absolute Error (MAE): 0.0786

D2 Absolute Error Score: 0.11290017729732416

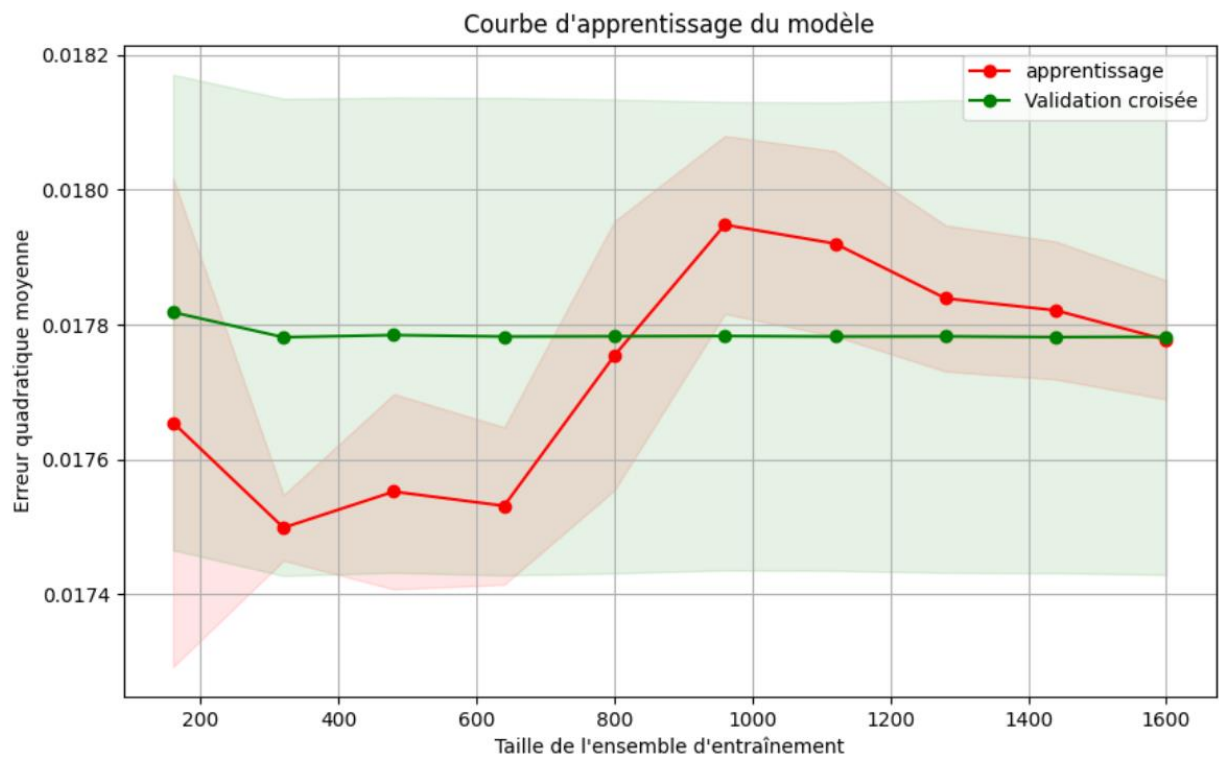


Figure 4.3 Courbe d'apprentissage du modèle LinearRegression : cas de la Sonelgaz

- Accidents aux USA :

Mean Squared Error (MSE): 258069.0892

R2 Score: 0.4354

Mean Absolute Error (MAE): 119.4170

D2 Absolute Error Score: 0.16062873927386678

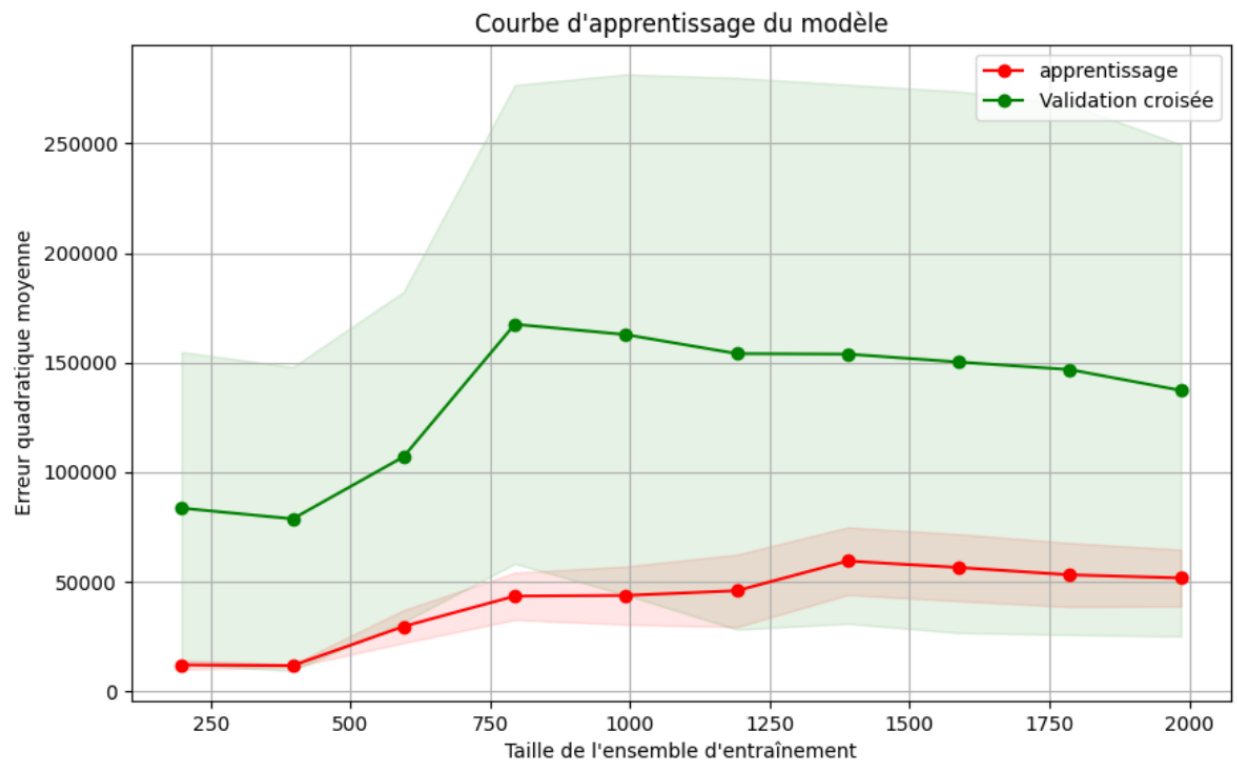


Figure 4.4 Courbe d'apprentissage du modèle LinearRegression : Accidents aux USA

4.3.2 DecisionTree

Code d'implémentation :

```
model = DecisionTreeClassifier ()
```

```
model.fit(X_train, y_train)
```

```
y_pred = model.predict(X_test)
```

Résultats:

- Accident de Sonelgaz :

Mean Squared Error (MSE): 0.0161

R2 Score: 0.3106

Mean Absolute Error (MAE): 0.0772

D2 Absolute Error Score: 0.12891639361030738

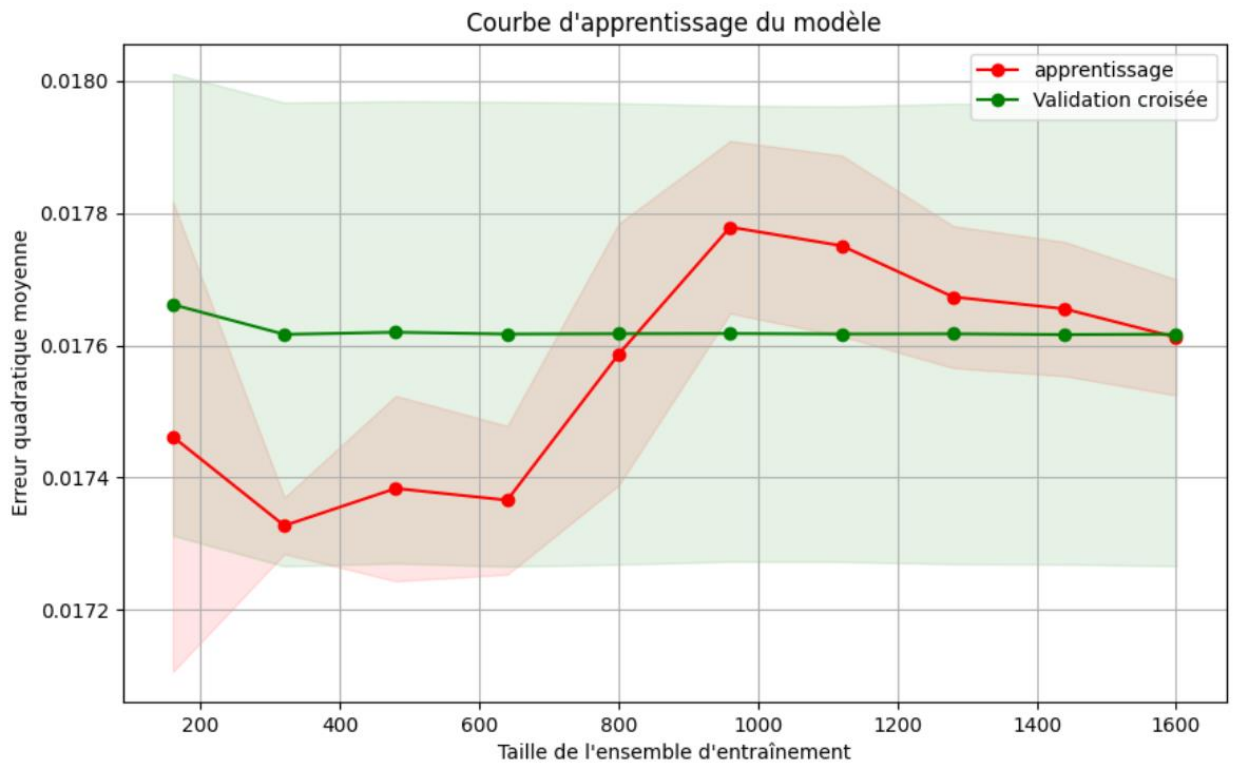


Figure 4.5 Courbe d'apprentissage du modèle DecisionTree : cas de la Sonelgaz

- Accidents aux USA :

Mean Squared Error (MSE): 433212.1187

R2 Score: 0.0522

Mean Absolute Error (MAE): 109.8934

D2 Absolute Error Score: 0.22756972336935

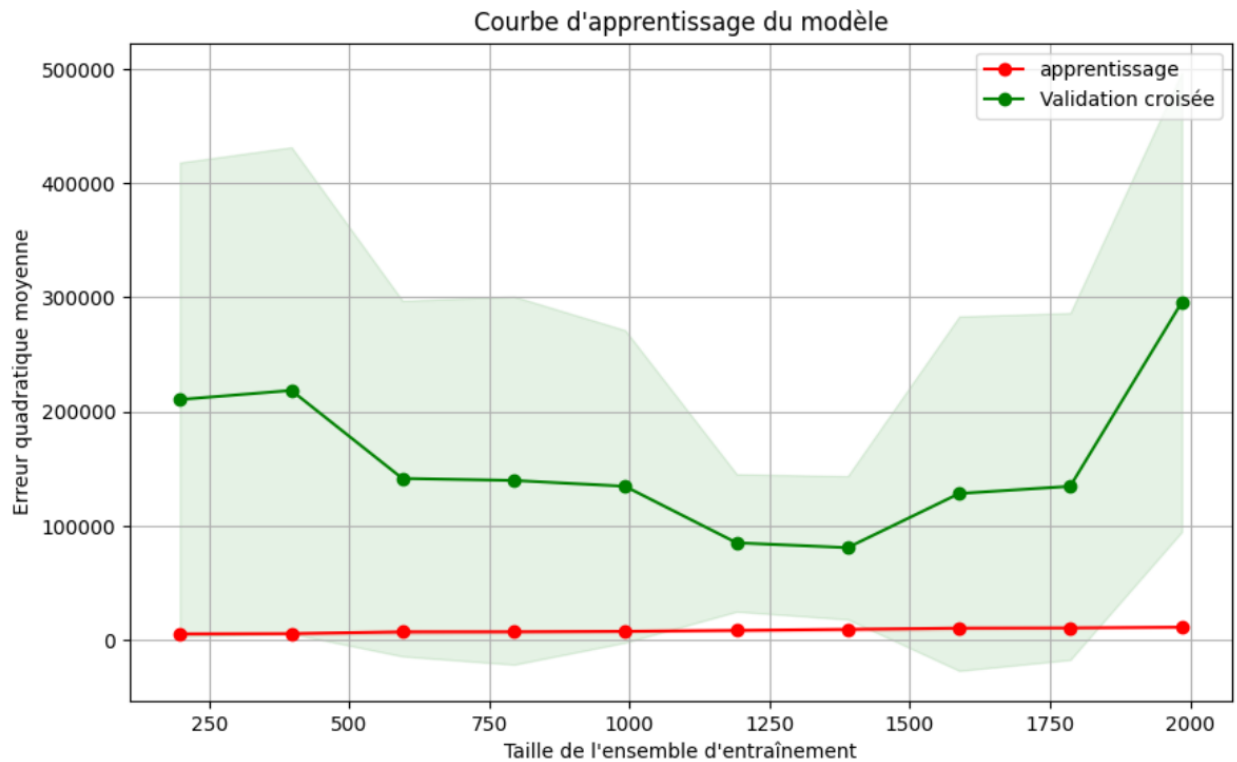


Figure 4.6 Courbe d'apprentissage du modèle DecisionTree : Accidents aux USA

4.3.3 RandomForest

Code d'implémentation :

```
model = RandomForestRegressor ()
```

```
model.fit(X_train, y_train)
```

```
y_pred = model.predict(X_test)
```

Courbes :

- Accident de Sonelgaz :

Mean Squared Error (MSE): 0.0161

R2 Score: 0.3108

Mean Absolute Error (MAE): 0.0771

D2 Absolute Error Score: 0.12968160891178226

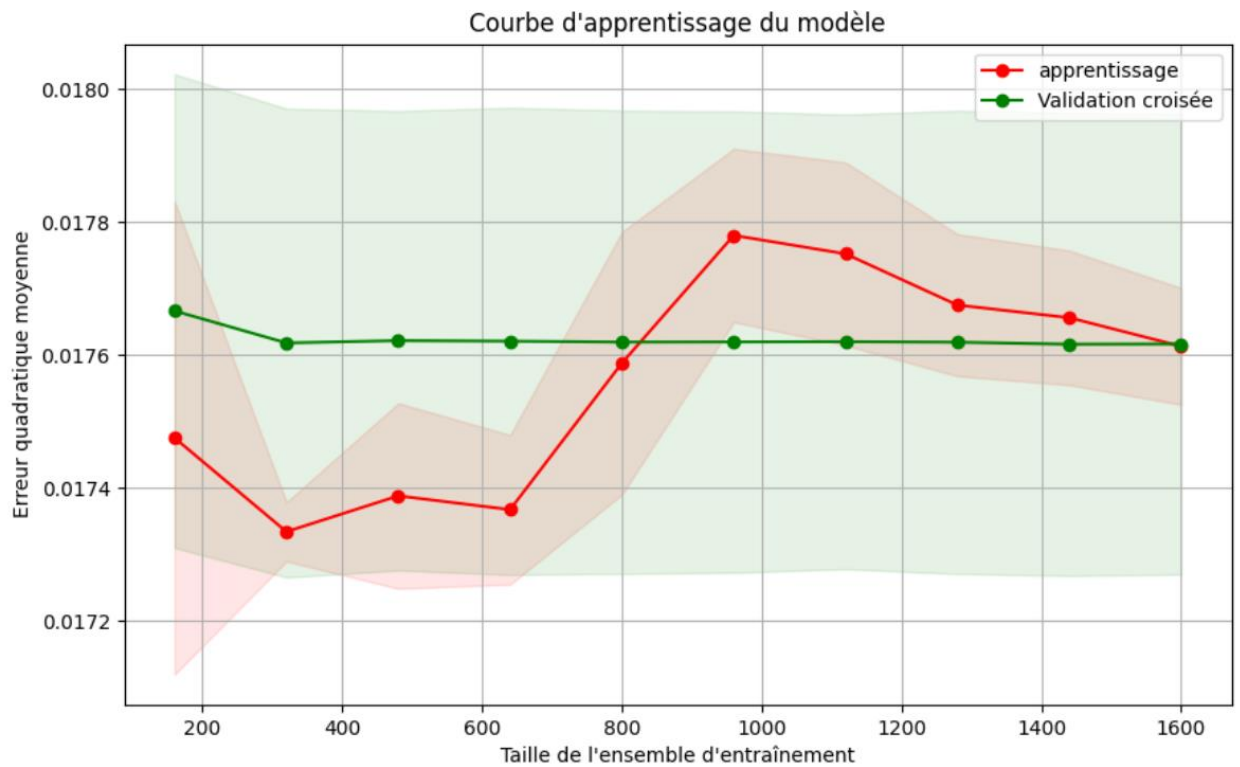


Figure 4.7 Courbe d'apprentissage du modèle RandomForest : cas de la Sonelgaz

- Accidents aux USA :

Mean Squared Error (MSE): 442394.5755

R2 Score: 0.0321

Mean Absolute Error (MAE): 121.3441

D2 Absolute Error Score: 0.1470837811845901

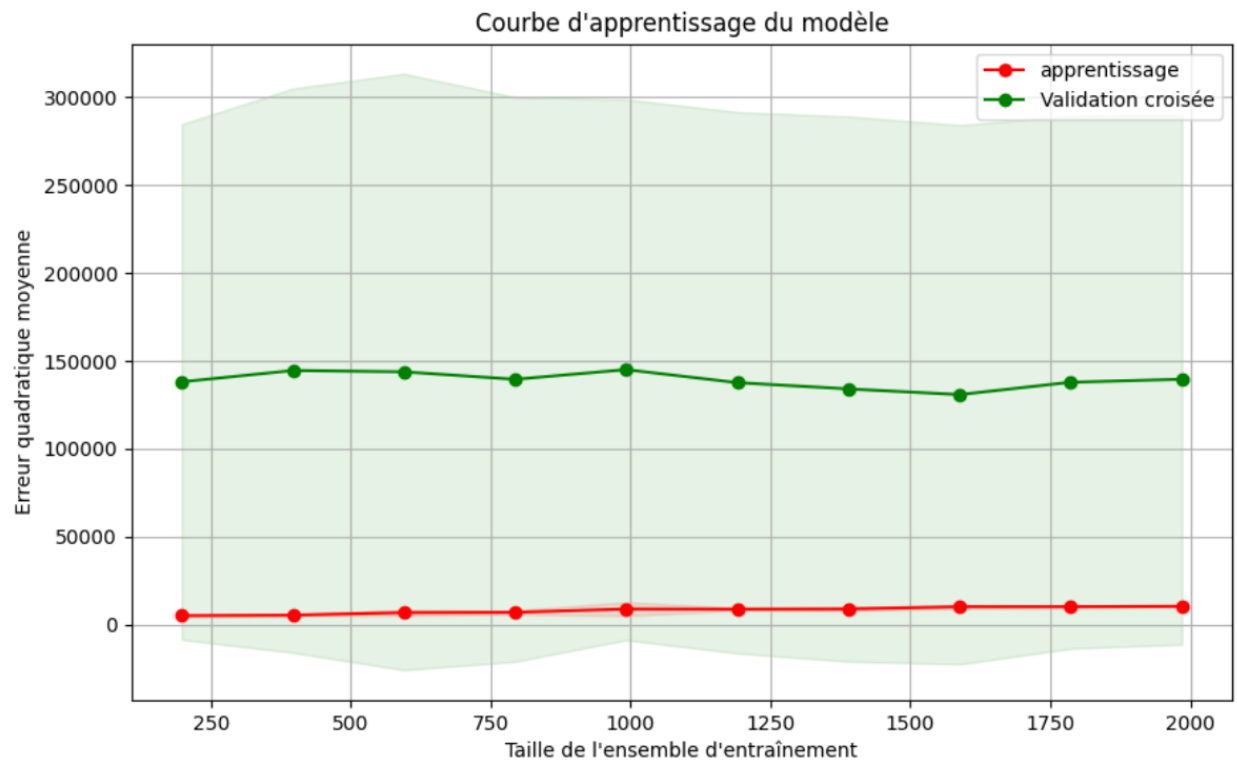


Figure 4.8 Courbe d'apprentissage du modèle Random Forest : Accidents aux USA

4.3.4 KNN

Code d'implémentation :

```
model = KNeighborsClassifier()
```

```
model.fit(X_train, y_train)
```

```
y_pred = model.predict(X_test)
```

- Accident de Sonelgaz :

Mean Squared Error (MSE): 0.0190

R2 Score: 0.1881

Mean Absolute Error (MAE): 0.0754

D2 Absolute Error Score: 0.14950634696755993

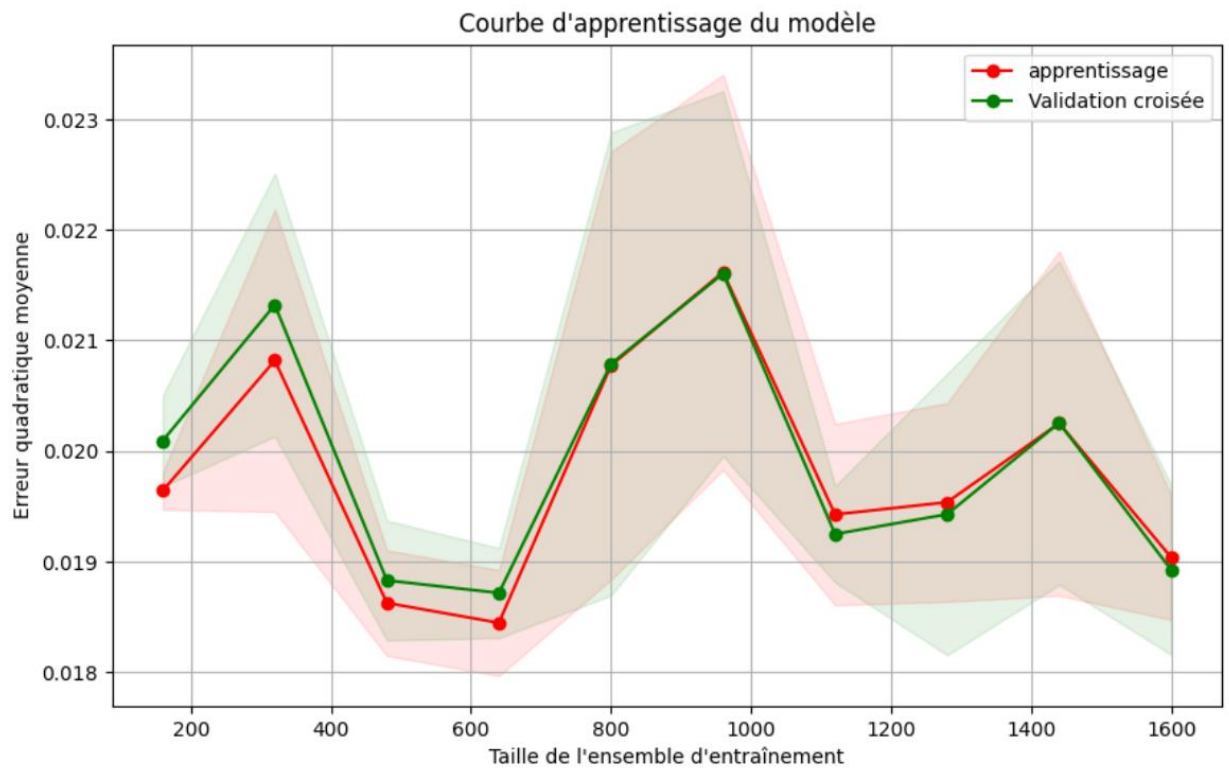


Figure 4.9 Courbe d'apprentissage du modèle KNN : cas de la Sonelgaz

- Accidents aux USA :

Mean Squared Error (MSE): 425277.1730

R2 Score: 0.0696

Mean Absolute Error (MAE): 112.2435

D2 Absolute Error Score: 0.2110510833286191

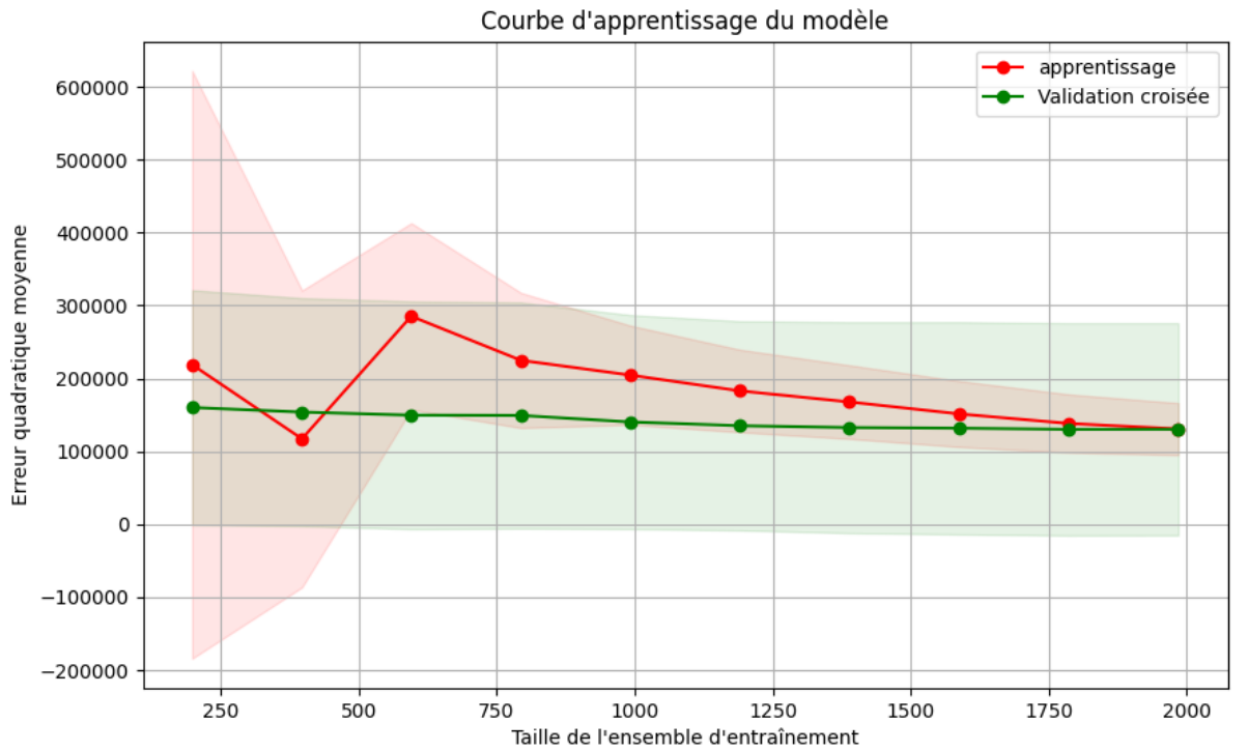


Figure 4.10 Courbe d'apprentissage du modèle KNN : Accidents aux USA

4.4 TABLEAU RÉCAPITULATIF APPROCHES VS MÉTRIQUES

- Cas des accidents de la Sonelgaz :

Modèles	mean_squared_error	r2_score	mean_absolute_error	d2_absolute_error_score
Linaire regression	0.0162	0.3056	0.0786	0.11290017729732416
TreeDecision	0.0161	0.3106	0.0772	0.122891639361030738
RandomForest	0.0161	0.3108	0.0771	0.12968160891178226
KNN	0.0190	0.1881	0.0754	0.14950634696755993

Tableau 4-1 Les résultats des métriques de performance

- Cas des accidents de Kaggle :

Modèles	mean_squared_error	r2_score	mean_absolute_error	d2_absolute_error_score
Linéaire régression	258069.0892	0.4354	119.4170	0.16062873927386678
TreeDecision	433212.1187	0.0522	109.8934	0.22756972336935
RandomForest	442394.5755	0.0321	121.3441	0.1470837811845901
KNN	425277.1730	0.0696	112.2435	0.2110510833286191

Tableau 4-2 Les résultats des métriques de performance

4.5 CONCLUSION

Les modèles de ML tels que la régression linéaire, les arbres de décision, les forêts aléatoires et les k-voisins ont été utilisés pour analyser les données sur les accidents de travail et les maladies professionnelles. Les résultats montrent que ces modèles peuvent être efficaces pour prédire la gravité des accidents et les jours d'arrêt de travail liés aux maladies professionnelles. Les métriques telles que l'erreur quadratique moyenne, le score R2, l'erreur absolue moyenne et le score d'erreur absolue D2 ont été utilisées pour évaluer la performance des modèles. Les résultats montrent que les modèles de régression linéaire et les arbres de décision ont des performances meilleures que les forêts aléatoires et les KNN pour les données de SONELGAZ TINDOUF. Cependant, les forêts aléatoires et les KNN ont des performances meilleures pour les données de Kaggle. Ces résultats montrent l'importance de choisir le modèle approprié en fonction des données et des objectifs de l'analyse.

Conclusion générale et perspectives

Ce travail explore l'intégration croissante de l'intelligence artificielle (IA) dans le domaine crucial de la santé et de la sécurité au travail (SST). En examinant en profondeur les fondements historiques de la SST, son évolution, ainsi que les divers risques professionnels, il souligne l'importance vitale de la SST pour la protection des travailleurs et l'optimisation de la performance des entreprises. L'IA émerge comme un outil prometteur en transformant la prévention des accidents et la gestion des risques. Les modèles d'apprentissage automatique tels que la régression linéaire, les forêts aléatoires et les classificateurs KNN ont démontré leur efficacité dans la prédiction des risques et l'amélioration des mesures de prévention. Ces résultats mettent en évidence comment l'IA peut identifier avec précision les risques potentiels et proposer des solutions proactives pour renforcer la sécurité sur le lieu de travail. Pour l'avenir, il est essentiel de perfectionner ces modèles, d'intégrer davantage l'IA dans la gestion de la SST, de former les professionnels aux nouvelles technologies, et de promouvoir la collaboration interdisciplinaire pour développer des solutions innovantes conformes aux normes réglementaires.

Bibliographie

- [1] <https://www.beaboss.fr/Definitions-Glossaire/Sante-au-travail-245261.htm>(16MARS2024)
- [2] <https://www.beaboss.fr/Definitions-Glossaire/Securite-travail-245262.htm>(16MARS2024)
- [3] Draï, Eric, M. Favaro, and G. Aubertin. Les systèmes de management de la santé-sécurité en entreprise: caractéristiques et conditions de mise en oeuvre. Diss. Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), 2008. 3P
- [4] Meiklejohn, A. "Industrial health—meeting the challenge." *Occupational and Environmental Medicine* 16.1 (1959): 1-10
- [5] <https://travail-emploi.gouv.fr/ministere/histoire-du-droit-du-travail/reperes-chronologiques/article/histoire-du-droit-du-travail-de-1841-a-nos-jours>
- [6] Lecocq, Stéphanie. Le repos en droit du travail: essai sur l'émergence d'une catégorie juridique. Diss. Lille 2, 2007.
- [7] Amar, B. E. L. L. O. U. L. "L'évolution du rôle protectionniste des règles du droit du travail en Algérie."
- [8] Article L 411-1 du code de la sécurité sociale
- [9] Nicolle-Mir, Laurence. "Les enseignements de l'accident de Seveso." *Environnement, Risques & Santé* 18.3 (2019): 208-210.
- [10] Kiss, Alexandre Charles. "L'accident de Tchernobyl: ses conséquences au point de vue du Droit international." *Annuaire français de droit international* 32.1 (1986): 139-152.
- [11] <https://www.officiel-prevention.com/dossier/formation/fiches-metier/les-principaux-risques-professionnels>(17MARS2024)
- [12] https://www.cchst.ca/oshanswers/hsprograms/hazard/risk_assessment.html(17MARS2024)
- [13] Article L. 4121-2, code de travail
- [14] <https://certification-iso-45001.fr/>(18MARS2024)
- [15] Dr. Farida ILES Directrice Générale INPRP, séminaire EU-AFRIQUE DU NORD stratégie pour la sécurité et la santé au travail ; du 20 au 22 avril 2015 ; 48P
- [16] www.joradp.dz(18MARS2024)
- [17] LeCun, Yann. "Les enjeux de la recherche en intelligence artificielle." Accès https://dataanalyticspost.com/wp-content/uploads/2017/04/ylecun_college_France.pdf (2016). 2P
- [18] <https://dosenit.com/kuliah-it/perbedaan-artificial-intelligence-vs-machine-learning-vs-deep-learning>(19MARS2024)
- [19] Saporta, Gilbert. "Histoire et enjeux de l'IA." *L'IA éducative. L'intelligence artificielle dans l'enseignement supérieur* (2023): 41-50.

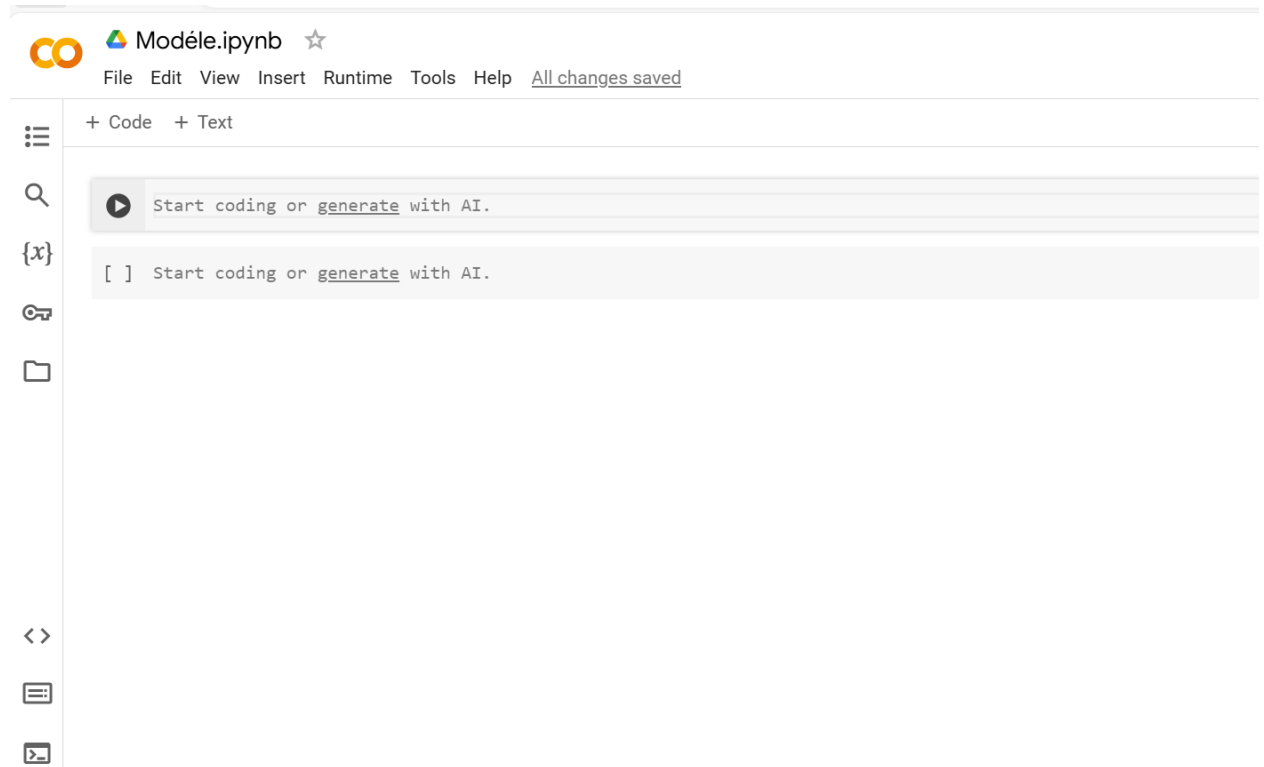
- [20] Blanc, Pierre. Effets de rétroaction en finance: applications à l'exécution optimale et aux modèles de volatilité. Diss. Université Paris-Est, 2015.
- [21] Lahiani, Amine. Inférence indirecte, modèles TIMA avec asymétrie contemporaine et modèles ARFIMA à seuils: applications en économie et en finance. Diss. Université de Genève Faculté des sciences économiques et sociales, 2008.
- [22] Mattioli, Juliette, et al. "IA de confiance: condition nécessaire pour le déploiement de l'IA dans les systèmes critiques." APIA2021-Conférence Nationale sur les Applications Pratiques de l'Intelligence Artificielle. 2021.
- [23] Besse, Philippe, Aurèle Besse-Patin, and Céline Castets-Renard. "Implications juridiques et éthiques des algorithmes d'intelligence artificielle dans le domaine de la santé." *Statistique et Société* 8.3 (2020): 21-53.
- [24] Önen, Melek, Francesco Cremonesi, and Marco Lorenzi. "Apprentissage automatique fédéré pour l'IA collaborative dans le secteur de la santé." *Revue internationale de droit économique* 363.3 (2022): 95-113.
- [25] Bourdair-Mignot, Camille, and Tatiana Gründler. "Intelligence artificielle et robotisation: la performance de l'IA au prix de la relation humaine?." *La Revue des droits de l'homme. Revue du Centre de recherches et d'études sur les droits fondamentaux* (2018).
- [26] "5 Ways AI Increases Workplace Safety and Productivity | EHS Blog," Pro-Sapien - EHS Software on SharePoint, May 09, 2019. <https://www.pro-sapien.com/blog/ai-solve-safety-problems/>
- [27] Learning, Machine. "Tom mitchell." Publisher: McGraw Hill (1997).
- [28] James Foulds and Eibe Frank. A review of multi-instance learning assumptions. *The Knowledge Engineering Review*, 25(1):1–25, March 2010.
- [29] Tyagi, Kanishka, et al. "Unsupervised learning." *Artificial intelligence and machine learning for edge computing*. Academic Press, 2022. 33-52.
- [30] Ning Situ, Xiaojing Yuan, Ji Chen, and George Zouridakis. Malignant melanoma detection by bag-of-features classification. In 2008 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE, August 2008.
- [31] Yin Zhang, Rong Jin, and Zhi-Hua Zhou. Understanding bag-of-words model: a statistical framework. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 1(1-4):43–52, August 2010.
- [32] David L Donoho. High-dimensional data analysis: The curses and blessings of dimensionality. In *AMS CONFERENCE ON MATH CHALLENGES OF THE 21ST CENTURY*, 2000.
- [33] "Life cycle of Machine Learning - Javatpoint," www.javatpoint.com. [https://www.javatpoint.com/machine-learning-life-cycle\(19MARS2024\)](https://www.javatpoint.com/machine-learning-life-cycle(19MARS2024))
- [34] Benoit, Kenneth. "Linear regression models with logarithmic transformations." *London School of Economics, London* 22.1 (2011): 23-36.
- [35] Kelleher, John D. Deep learning. MIT press, 2019.

- [36] Rhodes, Jake S., Adele Cutler, and Kevin R. Moon. "Geometry-and accuracy-preserving random forest proximities." *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* (2023).
- [37] Li, Yannan, Jingbo Wang, and Chao Wang. "Certifying the Fairness of KNN in the Presence of Dataset Bias." *International Conference on Computer Aided Verification*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023.
- [38] Dorgo, Gyula, Ahmet Palazoglu, and Janos Abonyi. "Decision trees for informative process alarm definition and alarm-based fault classification." *Process Safety and Environmental Protection* 149 (2021): 312-324.
- [39] Schmitt, Aurore, et al. "Les réseaux de neurones artificiels. Un outil de traitement de données prometteur pour l'anthropologie." *Bulletins et mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*. BMSAP 13.13 (1-2) (2001).
- [40] Frizzi, Sébastien, et al. "Détection de la fumée et du feu par réseau de neurones convolutifs." *Conférence Nationale sur les Applications Pratiques de l'Intelligence Artificielle*. 2017.
- [41] Jiquan Ngiam, Aditya Khosla, Mingyu Kim, Juhan Nam, Honglak Lee, and Andrew Y Ng. *Multimodal Deep Learning*. *Proceedings of The 28th International Conference on Machine Learning (ICML)*, pages 689–696, 2011.
- [42] "Subsets of AI - Javatpoint," [www.javatpoint.com](https://www.javatpoint.com/subsets-of-ai). <https://www.javatpoint.com/subsets-of-ai> (20MARS2024).
- [43] <https://www.semanticscholar.org/paper/La-logique-floue-et-ses-applications-Bisgambiglia-Guelton/7435c128345132b64be415a927f85bfe96ba5316>
- [44] Pomerol, Jean-Charles. "Systèmes experts et SIAD: enjeux et conséquences pour les organisations." *Technologies de l'Information et Société* 3.1 (1990): 37-64.
- [45] Isabelle Bloch. *Fusion d'informations en traitement du signal et des images*, volume 14. 2003.
- [46] Harry McGurk and John MacDonald. Hearing lips and seeing voices. *Nature*, 264(5588):746–748, December 1976.
- [47] B.V. Dasarthy. Sensor fusion potential exploitation-innovative architectures and illustrative applications. *Proceedings of the IEEE*, 85(1):24–38, 1997.
- [48] J. Kittler, M. Hatef, R.P.W. Duin, and J. Matas. On combining classifiers. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 20(3):226–239, March 1998.
- [49] McKinsey & Company (2022, September 1). The state of AI in 2021. Quantum Black AI by McKinsey. (<https://www.mckinsey.com/capabilities/quantumblack/our-insights/global-survey-the-state-of-ai-in-2021>.(20MARS2024))
- [50] Simard, Marcel, Dominique Bouteiller, and Christian Lévesque. "Prévention des accidents du travail: contexte législatif québécois et efficacité organisationnelle." *Relations industrielles/Industrial Relations* (1985): 703-719.

- [51] Kubiak, Julien. La "managérialisation" de la prévention des risques professionnels en entreprise. Enquête parmi les préventeurs de la SNCF. Diss. Université Paris-Saclay (ComUE), 2016.
- [52] CLARY, J., et al. "Approche ergonomique des postes de travail du service de stérilisation d'un hôpital d'instruction des armées: Santé au travail et médecine de prévention." *Médecine et armées* 34.5 (2006): 407-412.
- [53] La Rosa-Rodriguez 1, Emilio, et al. "Évaluation du stress au travail après mesures de prévention dans une caisse de retraite." *Santé publique* 1 (2013): 59-67.
- [54] Saint Jonsson, Anaïs, Emil Turc, and Philippe Agopian. "Conduire le changement de culture organisationnelle là où règne l'esprit de corps Le cas de la sécurité civile et des risques professionnels." *Colloque Revue Politiques et Management Public*. 2018.
- [55] BRAHIMI, Ghania. Impact de l'application de la procédure check-list sur l'incidence des infections du site opératoire chez les femmes césariées au service de gynécologie-obstétrique du chu de béni messous en 2014-2015. Diss. UNIVERSITE D'ALGER 1, 2017.
- [56] MACCHIA, T., et al. "QUANTIFICATION DE L'ALCOOLEMIE POUR DES ETUDES EPIDEMIOLOGIQUES DANS LA PREVENTION DES ACCIDENTS ROUTIERS." *BOLLETTINO DEL COLLEGIO MEDICI ITALIANI DEI TRASPORTI* 12.2 (1991).
- [57] [https://www.pro-sapien.com/blog/ai-solve-safety-problems/\(21MARS2024\)](https://www.pro-sapien.com/blog/ai-solve-safety-problems/(21MARS2024))
- [58] Pishgar, Maryam, et al. "REDECA: a novel framework to review artificial intelligence and its applications in occupational safety and health." *International journal of environmental research and public health* 18.13 (2021): 6705.
- [59] ADEYEMI, H. Oluwole. "DEVELOPMENT OF A MULTIPLE LINEAR REGRESSION MODEL TO PREDICT OCCUPATIONAL SAFETY RISK AMONG MENIAL CONSTRUCTION WORKERS."
- [60] Zermane, Abderrahim, et al. "Predicting fatal fall from heights accidents using random forest classification machine learning model." *Safety science* 159 (2023): 106023.
- [61] Sánchez, A. Suárez, et al. "Applying the K-nearest neighbor technique to the classification of workers according to their risk of suffering musculoskeletal disorders." *International Journal of Industrial Ergonomics* 52 (2016): 92-99.
- [62] Cao, Zhonghong, Tao Chen, and Yuqing Cao. "Effect of occupational health and safety training for Chinese construction workers based on the CHAID decision tree." *Frontiers in Public Health* 9 (2021): 623441.

Annexes

Google colab



Le code d'importation des librairies important

```
import numpy as np
import pandas as pd
from sklearn.model_selection import learning_curve, train_test_split
from sklearn.metrics import mean_squared_error, r2_score, mean_absolute_error, d2_absolute_error_score
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.tree import DecisionTreeClassifier, DecisionTreeRegressor
from sklearn.ensemble import RandomForestClassifier, RandomForestRegressor
from sklearn.neighbors import KNeighborsClassifier, KNeighborsRegressor
```

L'importation des fichiers

```
[7] data1 = pd.read_excel('/content/data_accident_sonalgaz1.xlsx')
X = data1[['Facteur humain', 'Facteur environnemental', 'Facteur surveillance', 'Facteur de route', 'Facteur mécanique']]
y = data1['Gravité']
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42)

[8] data2 = pd.read_csv('/content/Kaggle.csv')
X=data2[['total_injuries','total_poisonings','total_respiratory_conditions','total_skin_disorders','total_hearing_loss', 'total_other_illnesses']]
y = data2['total_dafw_days']
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, random_state=42)
```

Les codes des entrainements

✓
0s

```
model = LinearRegression()
model.fit(X_train, y_train)
y_pred = model.predict(X_test)
```

✓
0s

```
[19] model = DecisionTreeRegressor()
model.fit(X_train, y_train)
y_pred = model.predict(X_test)
```

✓
0s

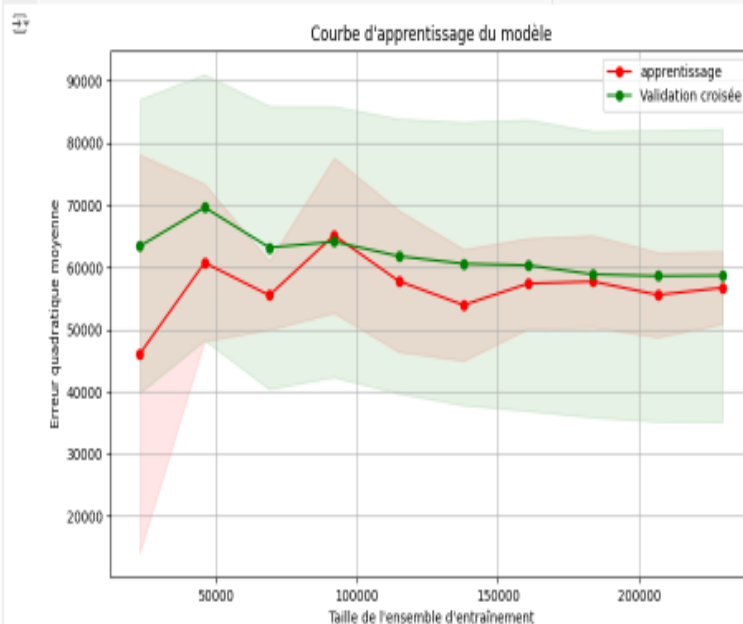
```
model = RandomForestRegressor()
model.fit(X_train, y_train)
y_pred = model.predict(X_test)
```

✓
0s

```
model = KNeighborsRegressor()
model.fit(X_train, y_train)
y_pred = model.predict(X_test)
```

Le code d'afficher les resultats de performances

```
train_sizes, train_scores, test_scores = learning_curve(model, X, y, cv=5, scoring='neg_mean_squared_error', n_jobs=-1, train_sizes=np.linspace(0.1, 1.0, 10), random_state=42)
train_scores_mean = -train_scores.mean(axis=1)
train_scores_std = train_scores.std(axis=1)
test_scores_mean = -test_scores.mean(axis=1)
test_scores_std = test_scores.std(axis=1)
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.fill_between(train_sizes, train_scores_mean - train_scores_std, train_scores_mean + train_scores_std, alpha=0.1, color="r")
plt.fill_between(train_sizes, test_scores_mean - test_scores_std, test_scores_mean + test_scores_std, alpha=0.1, color="g")
plt.plot(train_sizes, train_scores_mean, 'o-', color="r", label="apprentissage")
plt.plot(train_sizes, test_scores_mean, 'o-', color="g", label="Validation croisée")
plt.title("Courbe d'apprentissage du modèle")
plt.xlabel("Taille de l'ensemble d'entraînement")
plt.ylabel("Erreur quadratique moyenne")
plt.legend(loc="best")
plt.grid(True)
plt.show()
mse = mean_squared_error(y_test, y_pred)
print(f'Mean Squared Error (MSE): {mse:.4f}')
r2 = r2_score(y_test, y_pred)
print(f'R2 Score: {r2:.4f}')
mae = mean_absolute_error(y_test, y_pred)
print(f'Mean Absolute Error (MAE): {mae:.4f}')
score = d2_absolute_error_score(y_test, y_pred)
print(f'D2 Absolute Error Score: {score}')
```



```
Mean Squared Error (MSE): 59882.4252
R2 Score: 0.5681
Mean Absolute Error (MAE): 51.1773
D2 Absolute Error Score: 0.1287882272142298
```