

**République Algérienne Démocratique et Populaire**

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université 08 Mai 1945 -GUELMA-  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département d'Electronique et Télécommunication



**Mémoire de Fin d'Etude  
Pour l'Obtention du Diplôme de master Académique**

Domaine : **Sciences et Technologie**

Filière : **Electronique**

Spécialité : **Instrumentation**

---

**Détection de la fatigue du conducteur avec Jetson Nano**

---

Présenté par :

-----  
**RIGHI Ahmed**  
-----

Sous la direction de : Dr. M . tabaa

**2023/2024**

## *Remerciement :*

*Je remercie Dieu Tout-Puissant de m'avoir donné la santé et la volonté de commencer et de compléter cette thèse. Tout d'abord, ce travail n'aurait pas été riche et n'aurait pas été possible sans l'aide et l'encadrement de Mr. TABAA Mohamed Taher, je le remercie pour la qualité exceptionnelle de son encadrement, sa patience dans la prise de décision, et sa disponibilité lors de la préparation de cette thèse. Je tene à remercier tous ceux qui m'aident, ne serait-ce que d'un mot. Nous remercions également tous mes professeurs pour leur grande générosité et leur patience, malgré leurs grandes responsabilités professionnelles.*

## *Dédicace :*

*À mes parents, pour leur soutien inébranlable, leur amour et leurs encouragements constants tout au long de mon parcours académique. Leur patience et leur foi en moi ont été des sources inestimables de motivation.*

*À mes professeurs, pour leurs précieux conseils, leur expertise et leur disponibilité. Leur passion pour l'enseignement et leur dévouement m'ont guidé et inspiré à donner le meilleur de moi-même.*

*À mes amis et collègues, pour leur camaraderie, leurs encouragements et leur aide précieuse. Les moments de partage et de collaboration ont rendu cette expérience enrichissante et mémorable.*

*À mes shab de tif nazih, heythem, popo, cj, minou, chouba, et grand dédicace à sahbé oussama, sans oublier Errouge, pour leur soutien tous ces années.*

*Enfin, à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce projet, je vous adresse ma sincère gratitude.*

# SOMMAIRE

1.	Introduction à la menace silencieuse : La somnolence et le Jetson Nano Sauveur .....	7
1.1.	Comprendre la somnolence au volant .....	9
1.1.1.	Définition et la portée .....	9
1.2.	Statistiques sur la somnolence au volant .....	9
1.3.	Impact de la fatigue sur les performances de conduite.....	10
1.3.1.	Temps de réaction.....	10
1.3.2.	Capacités de prise de décisions .....	11
1.4.	Signes comportementaux de fatigue du conducteur.....	11
1.4.1.	Effets psychologiques .....	12
1.5.	Facteurs contribuant à la somnolence au volant .....	12
1.5.1.	Privation de sommeil .....	12
1.5.2.	Heure de la journée.....	12
1.5.3.	Longs trajets .....	13
1.6.	Aperçu des capacités du Jetson Nano .....	13
1.6.1.	GPU Accélération .....	14
1.6.2.	Compatibilité de AI Framework .....	14
1.6.3.	Format compact et faible consommation d'énergie.....	15
1.7.	Spécifications techniques .....	15
1.7.1.	Configuration CPU et GPU .....	16
1.7.2.	Mémoire et stockage .....	16
1.8.	Pourquoi le Jetson Nano convient à ce projet .....	16
1.8.1.	Traitement vidéo en temps réel .....	16
1.8.2.	Capacités d'IA et déploiement du modèle .....	17
1.8.3.	Rentabilité et évolutivité .....	18
1.9.	Conclusion .....	18
2.	Création de la plateforme matérielle .....	21
2.1.	Composants matériels .....	23
2.1.1.	Choisir la bonne caméra .....	23
2.1.2.	Alimenter le Jetson Nano.....	26
2.1.3.	Connexion de la caméra au Jetson Nano .....	29
2.2.	Configuration de l'environnement Jetson Nano .....	32
2.2.1.	Système d'exploitation : Ubuntu avec NVIDIA JetPack SDK .....	32
2.2.2.	Bibliothèques et cadres logiciels essentiels .....	35
2.3.	Conclusion .....	40

3.	Détection de somnolence avec l'IA .....	42
3.1.	Comprendre les modèles de détection de la somnolence .....	44
3.1.1.	Introduction au suivi oculaire et à la détection des repères faciaux .....	44
3.1.1.1.	Suivi oculaire.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b> 45
3.1.1.2.	Détection des repères faciaux .....	45
3.1.2.	Modèles d'IA pré-formés vs. options de développement de modèles personnalisés .....	46
3.1.2.1.	Modèles d'IA pré-formés .....	46
3.1.2.2.	Développement de modèles personnalisés .....	48
3.1.3.	Exigences en matière de données et collecte .....	49
3.1.4.	Modèle de formation et d'évaluation .....	50
3.1.5.	Considérations relatives au déploiement dans le monde réel .....	50
3.2.	Implémentation de l'algorithme de détection de somnolence .....	51
3.2.1.	Capturer des images vidéo à partir de la caméra .....	52
3.2.1.1.	Facteurs à considérer pour la sélection de la caméra .....	52
3.2.2.	Prétraitement des trames pour l'analyse IA .....	52
3.2.2.1.	Étapes de prétraitement .....	52
3.2.3.	Exécution du modèle AI sur chaque trame pour détecter l'état du pilote .....	53
3.2.3.1.	Sélection du modèle d'IA .....	53
3.2.4.	Définition des conditions d'alerte .....	53
3.2.4.1.	Conditions d'alerte .....	54
3.2.5.	Considérations opérationnelles .....	54
3.3.	Définition des conditions d'alerte .....	55
3.3.1.	Définition des seuils de détection de somnolence .....	55
3.3.1.1.	Mesures clés pour l'établissement du seuil .....	55
3.3.2.	Détermination des trames consécutives pour le déclenchement d'alerte .....	56
3.3.2.1.	Considérations pour les trames consécutives .....	56
3.3.3.	Mécanisme d'alerte temporel .....	56
3.3.3.1.	Étapes de mise en œuvre .....	57
3.3.4.	Stratégies d'alerte adaptative .....	57
3.3.4.1.	Adaptive Techniques .....	57
3.3.5.	Intégration avec l'interface utilisateur et la rétroaction .....	58
3.3.5.1.	Conception de l'interface utilisateur .....	58
3.3.6.	Test et validation des conditions d'alerte .....	58

3.3.6.1.	Considérations relatives à la mise à l'essai .....	58
3.3.7.	Compliance and Regulation .....	59
3.3.7.1.	La conformité réglementaire .....	59
3.4.	Conclusion .....	59
4.	test et étalonnage .....	61
4.1.	But des essais et de l'étalonnage .....	63
4.2.	Les états du conducteur .....	64
4.2.1.	Etat d'éveil .....	64
4.2.2.	Etat de somnolence .....	65
4.2.3.	Etat d'absence de conducteur .....	66
4.3.	Affiner les modèles IA et les paramètres d'alerte .....	66
4.3.1.	Amélioration du modèle itératif .....	67
4.3.2.	Optimisation des paramètres pour les alertes .....	67
4.4.	Conclusion .....	67
5.	Conclusion générale .....	69

## *Introduction général :*

La route ouverte vous invite à l'aventure, à la liberté et au confort d'aller où vous voulez. Pourtant, sous la surface d'une conduite apparemment routinière se cache une menace silencieuse – la conduite somnolente.

Dans le premier chapitre se penche sur la prévalence alarmante de la somnolence au volant et ses conséquences dévastatrices. Nous présentons ensuite le Jetson Nano, un ordinateur puissant mais compact qui a le potentiel d'être un héros sur la route, favorisant des voyages plus sûrs.

Dans le deuxième chapitre nous allons explorer les composants matériels essentiels nécessaires pour construire un système de détection de somnolence robuste en utilisant le Jetson Nano. Le choix du matériel est crucial pour assurer la fiabilité, l'efficacité et l'efficacité du système, en particulier dans l'environnement difficile d'un véhicule en mouvement. Plongeons-nous dans les composants matériels et l'environnement logiciel spécifiques nécessaires à la configuration de notre système de détection de somnolence.

Dans le troisième chapitre nous fournissons une compréhension complète de ces technologies, de leur mise en œuvre et du processus décisionnel impliqué dans le choix entre des modèles d'IA pré-entraînés et le développement de modèles personnalisés. Nous explorerons les exigences en matière de données, la formation sur les modèles et les considérations de déploiement dans le monde réel essentielles à la création de systèmes efficaces de détection de la somnolence. En maîtrisant ces éléments, les promoteurs peuvent contribuer à rendre les routes plus sûres en réduisant le risque d'accidents liés à la fatigue grâce à une surveillance opportune et précise des conducteurs.

Finalement le quatrième chapitre, les tests et l'étalonnage sont des phases cruciales dans le développement de systèmes de surveillance des conducteurs alimentés par l'intelligence artificielle. Cette section examine les méthodologies, les défis et les résultats de la mise à l'essai de divers états de conduite et de l'ajustement des modèles d'IA pour une performance optimale.

## ***Chapitre 1:***

### **1. Introduction à la menace silencieuse : La somnolence et le Jetson Nano Sauveur**



## **Introduction :**

La route ouverte vous invite à l'aventure, à la liberté et au confort d'aller où vous voulez. Pourtant, sous la surface d'une conduite apparemment routinière se cache une menace silencieuse – la conduite somnolente. Ce chapitre se penche sur la prévalence alarmante de la somnolence au volant et ses conséquences dévastatrices. Nous présentons ensuite le Jetson Nano, un ordinateur puissant mais compact qui a le potentiel d'être un héros sur la route, favorisant des voyages plus sûrs.

## 1.1. Comprendre la somnolence au volant :

### 1.1.1. Définition et la portée :

La somnolence consiste à conduire un véhicule en étant somnolent ou fatigué. Il nuit à la capacité du conducteur de rester alerte et attentif, ce qui augmente la probabilité d'accidents, de blessures et de décès.

**Indicateurs comportementaux :** Bâillement, difficulté à garder les yeux ouverts, dérive entre les voies et absence de sorties ou de feux de circulation sont des signes courants de somnolence.

### 1.1.2. Prévalence et les effets :

La somnolence au volant est un problème répandu qui a des conséquences importantes sur la sécurité routière :

- **Impact mondial :** Selon l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), la somnolence au volant contribue à un nombre considérable d'accidents de la route dans le monde, touchant les conducteurs de tous âges et de tous types de véhicules.
- **Problème sous-signalé :** De nombreux incidents de somnolence au volant ne sont pas signalés ou sont attribués à tort à d'autres causes, ce qui complique la quantification exacte de leur impact.

## 1.2. Statistiques sur la somnolence au volant :

Aux États-Unis, la somnolence au volant est une préoccupation majeure :

- **Taux de mortalité :** La National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) estime que la somnolence au volant contribue à plus de 100 000 accidents par année, entraînant environ 1 500 décès et 71 000 blessures.

- **Coûts économiques :** Les pertes économiques annuelles attribuables à la somnolence au volant dépassent les milliards de dollars, ce qui comprend les frais médicaux, les dommages matériels et la perte de productivité.

En Europe, la somnolence au volant est un facteur important dans les accidents de la route :

- **Décès :** le Conseil européen de la sécurité des transports signale que la somnolence au volant contribue à 25% des accidents mortels sur certaines routes européennes, ce qui souligne son impact profond sur la sécurité routière à travers le continent.

L'Australie fait également face à des défis liés à la somnolence au volant :

- **Groupes à risque élevé :** Les conducteurs de camions longue distance et les travailleurs de quarts sont particulièrement vulnérables aux accidents de conduite somnolents en raison de cycles de sommeil irréguliers et d'heures de fonctionnement prolongées.

### **1.3. Impact de la fatigue sur les performances de conduite :**

La fatigue nuit aux fonctions cognitives et motrices essentielles à la conduite sécuritaire :

#### **1.3.1. Temps de réaction :**

- **Réponses différées :** Des études démontrent que la fatigue peut retarder considérablement le temps de réaction d'un conducteur, tout comme les effets de

l'alcool. Ce retard augmente le risque de collision et réduit la capacité de réagir rapidement aux conditions routières changeantes.

### 1.3.2. Capacités de prise de décisions :

- **Jugement affaibli** : La fatigue diminue la capacité du conducteur à évaluer les risques avec précision et à prendre des décisions éclairées au volant. Cette déficience peut entraîner des erreurs de jugement et une mauvaise prise de décision, ce qui contribue à des accidents évitables.

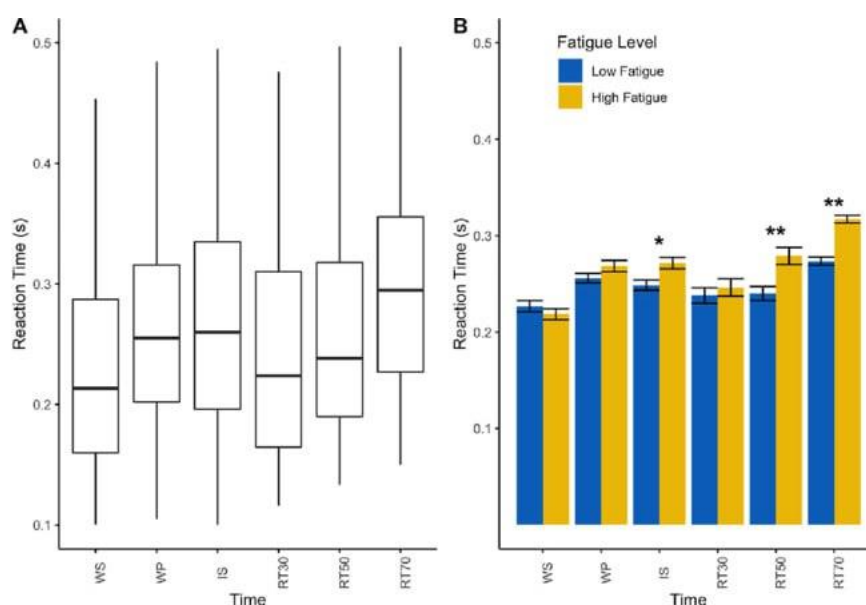


Figure 1: Graphique illustrant la corrélation entre la fatigue et le temps de réaction au volant.

## 1.4. Signes comportementaux de fatigue du conducteur :

Il est essentiel de reconnaître les signes de somnolence pour intervenir rapidement et prévenir les accidents :

- **Indicateurs physiques** : Les signes observables comprennent des bâillements fréquents, des paupières tombantes et des difficultés à garder la tête droite.

- **Indices comportementaux** : La dérive entre les voies, le contrôle de la vitesse incohérent et l'absence de panneaux de signalisation ou de sorties sont des indicateurs comportementaux de somnolence qui nécessitent une attention immédiate.

#### **1.4.1. Effets psychologiques :**

- **Vigilance réduite** : La fatigue diminue la vigilance, ce qui rend difficile pour les conducteurs de rester concentrés sur la route et de réagir rapidement aux dangers potentiels.

- **Augmentation de la prise de risques** : Des études suggèrent que les conducteurs fatigués peuvent présenter des comportements plus risqués, tels que des virages arrière ou des changements brusques de voie, en raison de la diminution de la perception du risque et du contrôle des impulsions.

### **1.5. Facteurs contribuant à la somnolence au volant :**

Plusieurs facteurs contribuent à la prévalence des cas de somnolence au volant :

#### **1.5.1. Privation de sommeil :**

- **Sommeil insuffisant** : Une durée de sommeil inadéquate et une mauvaise qualité du sommeil nuisent à la fonction cognitive et augmentent la sensibilité à la somnolence pendant les heures d'éveil.

#### **1.5.2. Heure de la journée :**

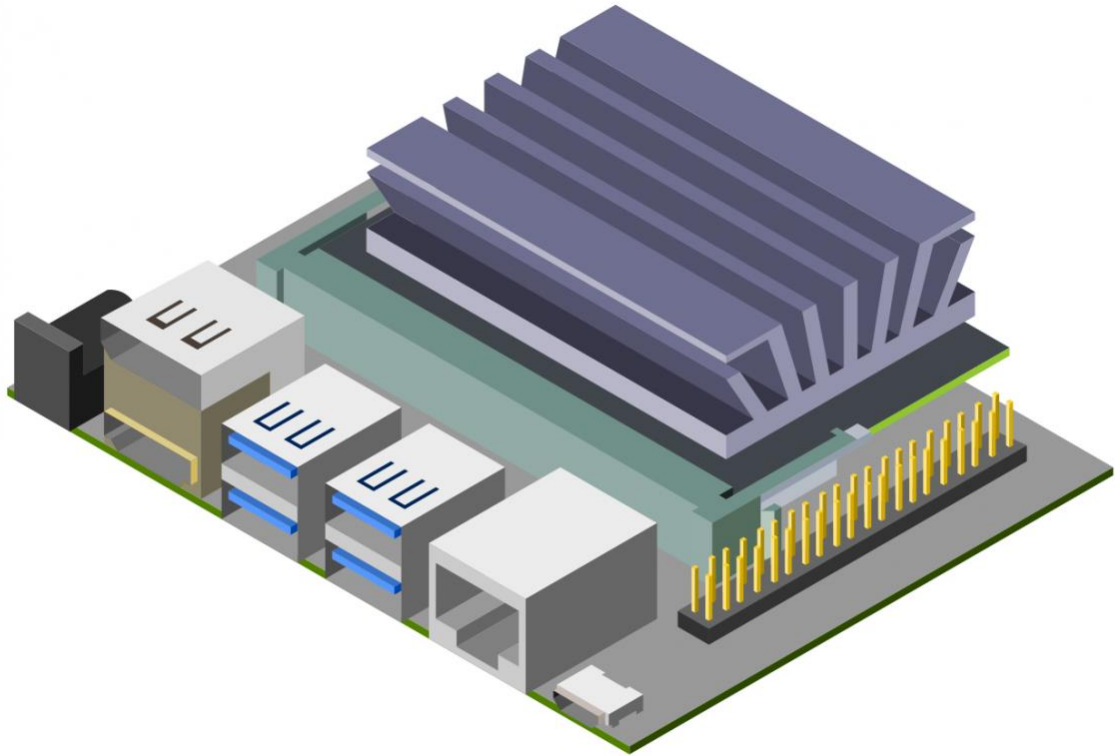
- **Rythmes circadiens** : Les facteurs biologiques influent sur les niveaux de vigilance, la somnolence atteignant habituellement son maximum au petit matin (p. ex., de 2 h à 6 h) et en milieu d'après-midi (p. ex., de 13 h à 15 h).

### **1.5.3. Longs trajets :**

-**Périodes d'exploitation prolongées** : Les conducteurs de camions long-courriers et les automobilistes effectuant de longs trajets sur la route sont exposés à des risques accrus de somnolence en raison de périodes prolongées de conduite sans pauses ou repos adéquats.

## **1.6. Aperçu des capacités du Jetson Nano :**

Le Jetson Nano, développé par NVIDIA, est une puissante plateforme informatique d'IA conçue pour apporter des applications d'IA accélérées aux systèmes embarqués. Ses capacités et ses caractéristiques le rendent particulièrement adapté aux applications telles que l'analyse vidéo en temps réel et les systèmes de surveillance pilotés par IA visant à améliorer la sécurité des conducteurs.



Le Jetson Nano est équipé de composants matériels avancés et de cadres logiciels qui permettent un calcul IA efficace et haute performance.

### **1.6.1. GPU Accélération :**

Au cœur du Jetson Nano se trouve son GPU (Graphics Processing Unit), basé sur l'architecture Maxwell de NVIDIA. Ce GPU fournit une puissance de calcul importante pour le traitement des algorithmes d'IA, en particulier ceux nécessitant des capacités de traitement parallèle.

- **Architecture CUDA :** Le GPU prend en charge CUDA (Compute Unified Device Architecture), permettant aux développeurs d'accélérer les calculs d'IA en utilisant des techniques de traitement parallèle. Cette architecture est cruciale pour l'analyse vidéo en temps réel et les modèles d'IA complexes.

### **1.6.2. Compatibilité de AI Framework :**

Jetson Nano prend en charge les frameworks et bibliothèques d'IA populaires, permettant aux développeurs de tirer parti des outils et des ressources existants pour le développement et le déploiement de modèles d'IA.

- **TensorFlow et PyTorch** : Ces cadres d'apprentissage profond largement utilisés sont entièrement compatibles avec le Jetson Nano, permettant une intégration transparente des modèles d'IA formés sur ces plateformes.

- **OpenCV** : La plate-forme prend également en charge OpenCV (Open Source Computer Vision Library), essentiel pour les tâches de traitement d'images et de vidéos requises dans les systèmes de surveillance des pilotes.

### **1.6.3. Format compact et faible consommation d'énergie :**

Conçu pour les applications embarquées, le Jetson Nano combine des performances élevées avec une taille compacte et une efficacité énergétique.

- **Taille et intégration** : Son petit format lui permet d'être facilement intégré dans divers appareils, y compris les systèmes automobiles, sans occuper un espace important.

- **Efficacité énergétique** : Avec une consommation électrique inférieure à 10 watts, le Jetson Nano est économe en énergie, ce qui le rend adapté au déploiement dans des environnements où la consommation d'énergie est une préoccupation.

## **1.7. Spécifications techniques :**

La compréhension des spécifications techniques du Jetson Nano fournit des informations sur ses capacités et les mesures de performance cruciales pour le développement d'applications basées sur l'IA



### **1.7.1. Configuration CPU et GPU :**

- **CPU :** Le Jetson Nano est équipé d'un processeur quad-core ARM Cortex-A57, capable de gérer efficacement les tâches informatiques générales.
- **GPU :** Il dispose d'un GPU NVIDIA Maxwell de 128 cœurs, optimisé pour les tâches d'IA et de traitement multimédia. Cette architecture GPU offre un débit élevé pour le calcul parallèle, essentiel pour les applications d'IA en temps réel.

### **1.7.2. Mémoire et stockage :**

- **Mémoire :** Le Jetson Nano est équipé de 4 Go de RAM LPDDR4 64 bits, fournissant une bande passante mémoire suffisante (25,6 Go/s) pour les calculs IA intensifs en données.
- **Stockage :** Il prend en charge le stockage externe via une carte microSD, permettant une flexibilité dans le stockage et l'accès aux modèles d'IA, aux ensembles de données et aux données d'application.

## **1.8. Pourquoi le Jetson Nano convient à ce projet :**

Les capacités du Jetson Nano s'alignent étroitement avec les exigences de développement de systèmes avancés de surveillance des conducteurs axés sur la détection et l'atténuation des risques associés à la somnolence.

### **1.8.1. Traitement vidéo en temps réel :**

L'une des principales forces du Jetson Nano est sa capacité à traiter des flux vidéo haute définition en temps réel, une exigence essentielle pour surveiller le comportement du conducteur en continu.

- **Entrée vidéo** : Elle prend en charge plusieurs entrées de caméra, permettant le traitement simultané des flux vidéo sous différents angles ou perspectives dans un véhicule.

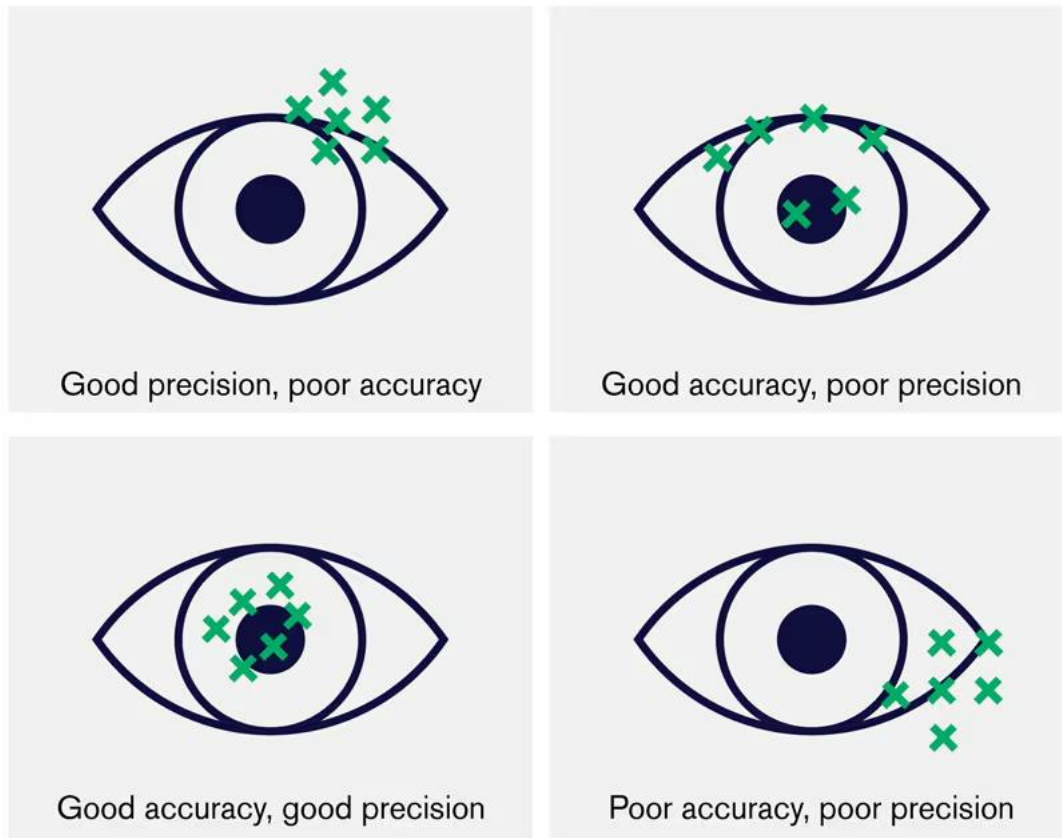
- **Fréquence d'images et résolution** : Capable de gérer des fréquences d'images et des résolutions élevées, le Jetson Nano assure une analyse précise et réactive des actions du conducteur et des expressions faciales.

### **1.8.2. Capacités d'IA et déploiement du modèle :**

La prise en charge des cadres d'IA par la plateforme permet aux développeurs de déployer des modèles d'IA sophistiqués adaptés aux applications de surveillance des pilotes.

- **Reconnaissance faciale** : À l'aide d'algorithmes d'apprentissage profond, le Jetson Nano peut reconnaître les traits et les expressions du visage, essentiels pour identifier les signes de somnolence ou de distraction.

- **Eye Tracking** : Les modèles d'IA peuvent suivre les mouvements des yeux et les modèles de clignement des yeux, fournissant des informations sur l'attention du conducteur et les niveaux potentiels de fatigue.



### 1.8.3. Rentabilité et évolutivité :

Par rapport aux grandes plateformes informatiques d'IA, le Jetson Nano offre une solution rentable sans compromettre les performances ou l'évolutivité.

- Abordabilité : son prix compétitif le rend accessible pour la recherche et les applications commerciales, ce qui réduit les obstacles à l'entrée pour le développement de systèmes avancés de sécurité des conducteurs.
- Évolutivité : L'évolutivité de la plate-forme permet un déploiement sur une gamme de véhicules, des automobiles grand public aux flottes commerciales, améliorant ainsi la sécurité routière à plus grande échelle.

## 1.9. Conclusion :

En conclusion, le Jetson Nano se présente comme une plate-forme de calcul IA polyvalente et puissante, parfaitement adaptée au développement de systèmes avancés de surveillance des conducteurs conçus pour améliorer la sécurité routière. La somnolence au volant est un problème mondial important, qui constitue une grave menace pour la sécurité routière et entraîne des conséquences importantes pour les conducteurs, les passagers et les piétons. Pour résoudre ce problème critique, il faut mettre en œuvre des mesures de surveillance et de prévention sophistiquées.

Les caractéristiques exceptionnelles du Jetson Nano, y compris l'accélération GPU, la compatibilité avec divers cadres d'IA, le format compact et l'efficacité énergétique, en font un choix idéal pour intégrer l'intelligence artificielle dans les environnements automobiles. Ces attributs permettent au Jetson Nano de gérer efficacement les calculs complexes et le traitement des données en temps réel, ce qui en fait un outil puissant pour développer des systèmes capables de détecter et de répondre aux signes de fatigue du conducteur.

En exploitant les capacités de la Jetson Nano, les développeurs ont la possibilité d'innover et de déployer des solutions robustes visant à atténuer les risques associés à la somnolence. Cela contribue non seulement à la sécurité des routes, mais aussi à la sensibilisation des conducteurs et à la sécurité routière en général. L'utilisation efficace de cette technologie peut mener à des progrès importants dans les systèmes de surveillance qui peuvent alerter les conducteurs en temps réel, empêchant les accidents potentiels causés par la fatigue.

De plus, il est essentiel de comprendre les dangers inhérents à la conduite en état de fatigue pour réussir la mise en œuvre de ces mesures préventives. La sensibilisation aux risques et l'intégration de systèmes avancés de surveillance des conducteurs peuvent grandement améliorer la sécurité routière. Le potentiel de la Jetson Nano pour transformer les solutions de sécurité automobile souligne l'importance d'un investissement continu dans les technologies basées sur l'IA

pour lutter contre le problème omniprésent de la somnolence, favorisant ainsi un environnement de conduite plus sûr dans le monde entier.

## ***Chapitre 2:***

### **2. Création de la plateforme matérielle**

## **Introduction :**

Dans ce chapitre, nous allons explorer les composants matériels essentiels nécessaires pour construire un système de détection de somnolence robuste en utilisant le Jetson Nano. Le choix du matériel est essentiel pour assurer la fiabilité, l'efficacité et l'efficacité du système, en particulier dans l'environnement difficile d'un véhicule en mouvement. Plongeons-nous dans les composants matériels et l'environnement logiciel spécifiques nécessaires à la configuration de notre système de détection de somnolence.

## **Composants matériels :**

La construction d'un système robuste de détection de somnolence pour une voiture implique une sélection minutieuse des composants matériels pour assurer la fiabilité, l'efficacité et l'efficacité. Chaque composant joue un rôle essentiel dans la fonctionnalité globale du système. Ci-dessous, nous examinons la sélection détaillée et l'explication de chaque composant matériel nécessaire à notre projet.

### **Choisir la bonne caméra :**

La caméra est l'un des composants les plus importants de notre système de détection de somnolence. Sa fonction principale est de capturer des séquences vidéo du conducteur, qui seront analysées pour détecter les signes de somnolence. Plusieurs facteurs doivent être pris en compte lors du choix de la caméra appropriée :

#### **1. Résolution :**

- **Importance de la résolution :** La haute résolution est essentielle car elle permet à l'appareil photo de capturer des images claires et détaillées. Dans le contexte de la détection de la somnolence, la clarté des traits du visage est essentielle pour identifier avec précision les signes de fatigue, tels que les paup res tombantes, le bâillement ou les changements de position de la tête.

- **Résolution recommandée :** Nous recommandons d'utiliser une caméra avec une résolution d'au moins 1080p (Full HD). Ce niveau de détail garantit que le modèle d'IA reçoit une entrée de haute qualité, ce qui est crucial pour faire des prédictions précises. Des réolutions plus élevées, telles que 4K, pourraient



offrir encore plus de détails, mais pourraient ne pas être nécessaires et pourraient entraîner des frais de traitement supplémentaires.

## **2. Capacités de vision nocturne :**

- **Importance de la vision nocturne :** De nombreux scénarios de conduite se produisent la nuit ou dans des conditions de faible luminosité. Par conséquent, la caméra doit être capable de capturer des séquences claires dans ces environnements. Les capacités de vision nocturne ou infrarouge (IR) permettent à la caméra de fonctionner efficacement dans l'obscurité, assurant une surveillance continue quelle que soit l'heure de la journée.

- **Types de vision nocturne :** Il existe deux principaux types de vision nocturne :

- **Correction de faible luminosité :** Les caméras avec correction de faible luminosité améliorent l'image en ajustant la luminosité et le contraste, ce qui permet de voir dans des conditions sombres.

- **Éclairage infrarouge (IR) :** les caméras IR utilisent des LED infrarouges pour éclairer la scène, ce qui est invisible à l'œil nu mais peut être détecté par le capteur de la caméra. Cette méthode fournit des images claires dans l'obscurité totale.

## **3. Options de montage :**

- **Importance du montage sécuritaire :** La caméra doit être solidement installée dans la voiture pour offrir une vue stable et dégagée du conducteur. Une caméra mal montée peut donner des images tremblantes ou mal alignées, ce qui peut nuire à la précision du système de détection de somnolence.

- Types de supports :

- **Montage sur tableau de bord :** Une caméra montée sur le tableau de bord offre une vue directe du visage du conducteur. Cette position est idéale pour capturer des traits faciaux détaillés.

- **Montage du rétroviseur :** Le montage de la caméra sur le rétroviseur est une autre option courante. Cette position maintient la caméra hors de la ligne de mire du conducteur et peut fournir un bon angle pour surveiller le conducteur.

- **Clip universel :** Une option polyvalente qui peut être fixée à diverses surfaces, offrant une flexibilité de positionnement de la caméra pour une couverture optimale.

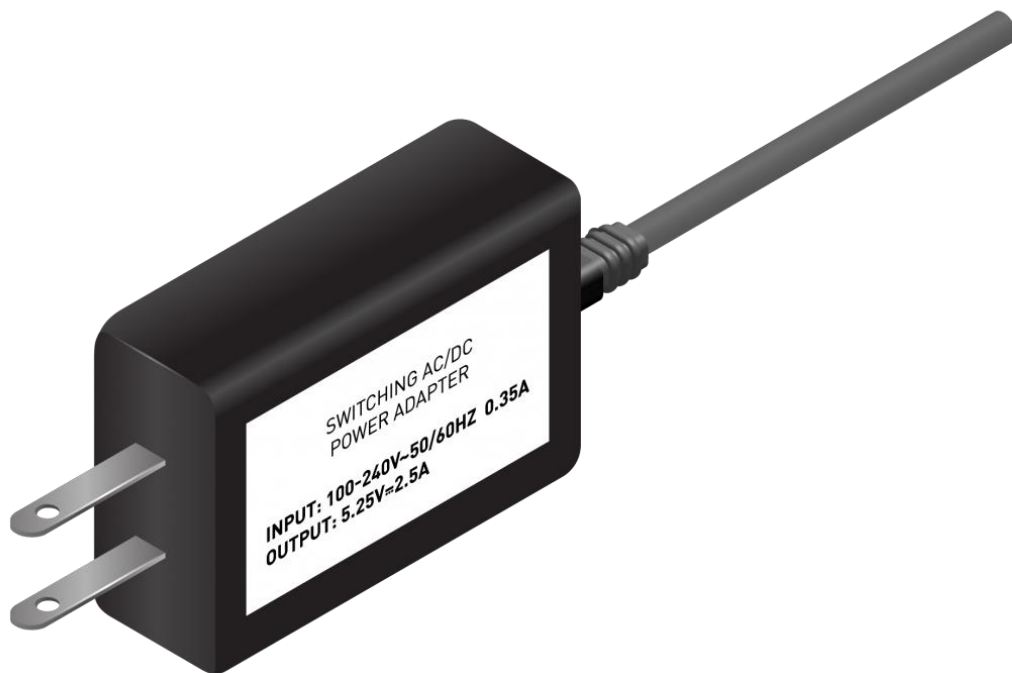
Caméra recommandée :



Après avoir examiné les facteurs ci-dessus, nous recommandons la **webcam Logitech C920 HD Pro**. Cette caméra offre un bon équilibre entre la résolution, les capacités de vision nocturne et la flexibilité de montage.

### **Alimenter le Jetson Nano**

Le Jetson Nano est l'unité de traitement de base de notre système de détection de somnolence. Il nécessite une alimentation électrique stable pour fonctionner correctement. Dans un environnement automobile, il existe deux options principales pour alimenter le Jetson Nano :



## 1. Alimentation électrique existante du wagon :

- **Commodité :** L'utilisation de l'alimentation électrique existante de la voiture est pratique, car elle tire parti de la source d'alimentation facilement accessible. La plupart des voitures modernes fournissent plusieurs prises de courant (prises d'allume-cigare) qui peuvent être utilisées pour alimenter des appareils externes.

- **Considérations :** L'alimentation électrique de la voiture fournit généralement 12 V CC, mais le Jetson Nano nécessite 5 V CC avec un courant nominal d'au moins 4 A. Cela nécessite l'utilisation d'un convertisseur DC-DC pour réduire la tension et fournir une sortie 5V stable.

## **2. Adaptateur secteur séparé :**

- **Stabilité :** L'utilisation d'un adaptateur d'alimentation dédié peut fournir une alimentation électrique plus stable et fiable, réduisant ainsi le risque de fluctuations ou d'interruptions pouvant survenir avec l'alimentation électrique de la voiture.

- **Portabilité :** un adaptateur d'alimentation séparé peut également rendre le système plus portable, permettant son utilisation en dehors de l'environnement de la voiture si nécessaire.

Solution d'alimentation recommandée :

Nous recommandons d'utiliser un adaptateur d'alimentation de voiture 12V avec un régulateur de tension intégré pour abaisser la tension jusqu'à 5V 4A requis pour le Jetson Nano. Cette solution combine la commodité d'utiliser l'alimentation électrique de la voiture avec la stabilité fournie par un adaptateur dédié.

### **- Dispositif : Convertisseur DC-DC de 12 V à 5 V 4A**

- **Fonction :** Ce convertisseur abaisse le 12V DC de l'alimentation de la voiture au 5V DC requis par le Jetson Nano. Il garantit également que la sortie est stable et cohérente, ce qui est crucial pour le fonctionnement fiable du Jetson Nano.

- **Courant nominal :** Le convertisseur doit fournir au moins 4A de courant pour répondre aux exigences de puissance du Jetson Nano, en particulier lorsque le système exécute des calculs AI intensifs.

## - Connexion :

- **Source d'alimentation :** Le convertisseur se connecte à la prise de l'allume-cigare de la voiture. Il s'agit d'une prise de courant standard disponible dans la plupart des véhicules.

- **Connexion de sortie :** La sortie du convertisseur, qui est 5V DC, est connectée au Jetson Nano via un connecteur jack baril. Ce type de connecteur est généralement utilisé pour alimenter des appareils comme le Jetson Nano et assure une connexion sécurisée et fiable.

## Connexion de la caméra au Jetson Nano

La prochaine étape cruciale consiste à connecter l'appareil photo au Jetson Nano. L'interface utilisée pour cette connexion affectera la facilité de configuration et la fiabilité du transfert de données.

## Options de l'interface de connexion :

### 1. Câble USB :

- **Simplicité :** USB est une interface simple et largement compatible. La plupart des webcams, y compris le Logitech C920, sont conçues pour se connecter via USB.

- **Compatibilité :** les ports USB sont fournis de série sur le Jetson Nano, ce qui facilite la connexion de l'appareil photo sans avoir besoin d'adaptateurs ou d'interfaces supplémentaires.

- **Transfert de données :** USB 2.0 ou 3.0 peut gérer les taux de transfert de données requis pour la vidéo 1080p. L'USB 3.0, en particulier, fournit des taux

de transfert de données plus rapides, ce qui peut être bénéfique pour le traitement vidéo en temps réel.

## 2. Câble HDMI :



- **Utilisation :** HDMI est généralement utilisé pour les caméras haut de gamme qui nécessitent une connexion à large bande passante. Cependant, les webcams standard comme le Logitech C920 n'utilisent pas HDMI.

- **Limitation** : Le Jetson Nano n'a pas d'entrée HDMI, ce qui rend cette option moins viable pour notre configuration.

### **3. Interface MIPI CSI :**

- **Bande passante élevée** : Le MIPI CSI (Camera Serial Interface) fournit une interface à bande passante élevée spécialement conçue pour les connexions de caméra. Il convient aux caméras haute résolution et peut fournir un transfert de données à faible latence.

- **Caméras spécialisées** : Cette interface est plus couramment utilisée avec les modules de caméras spécialisées conçus pour les systèmes intégrés. Cependant, il nécessite une configuration et une configuration supplémentaires par rapport à USB.

#### **Méthode de connexion recommandée :**

Pour la webcam Logitech C920 HD Pro, nous utiliserons un câble USB 2.0 ou 3.0 pour connecter l'appareil photo à l'un des ports USB du Jetson Nano. Cette méthode est simple, fiable et compatible avec les composants matériels que nous avons choisis.

#### **- Câble USB 2.0/3.0 :**

- **Connexion** : Le câble USB se connecte directement de la caméra au port USB du Jetson Nano.



- **Facilité d'utilisation :** USB offre une expérience plug-and-play, rendant le processus de configuration simple. Le Jetson Nano reconnaît automatiquement la caméra, ce qui nous permet de configurer rapidement l'environnement logiciel.

En résumé, la webcam Logitech C920 HD Pro, alimentée par un convertisseur DC-DC de 12V à 5V et connectée par USB au Jetson Nano, constitue une base matérielle solide pour notre système de détection de somnolence. Cette configuration garantit une capture vidéo de haute qualité, une alimentation électrique fiable et une connectivité facile, qui sont toutes essentielles pour la mise en œuvre réussie de notre projet.

## **Configuration de l'environnement Jetson Nano :**

La mise en place de l'environnement Jetson Nano est une étape cruciale dans la construction de notre système de détection de somnolence. Cette section couvrira le choix du système d'exploitation, les bibliothèques logicielles essentielles et les cadres nécessaires à la capture vidéo, au traitement du modèle d'IA et à la génération d'alertes. Chaque composante sera discutée en détail pour assurer une compréhension complète de leurs rôles et fonctionnalités.

### **Système d'exploitation : Ubuntu avec NVIDIA JetPack SDK :**

**Ubuntu :**



Ubuntu est un système d'exploitation open-source largement utilisé basé sur Linux. Il est privilégié pour sa robustesse, sa sécurité et son support étendu pour une variété d'applications, y compris le développement de l'IA. Le Jetson Nano, un puissant dispositif informatique IA de NVIDIA, est compatible avec Ubuntu, en particulier la version fournie par le SDK NVIDIA JetPack.

### **SDK NVIDIA JetPack :**

JetPack SDK est un kit de développement logiciel complet qui comprend le système d'exploitation Ubuntu, les bibliothèques et les API optimisées pour les tâches d'IA et de vision par ordinateur sur les appareils NVIDIA Jetson. Il est spécifiquement conçu pour exploiter toutes les capacités du Jetson Nano, offrant un environnement transparent pour le développement et le déploiement d'applications d'IA.

### **Pourquoi Ubuntu avec JetPack SDK ?**

#### **1. Soutien au développement de l'IA :**

JetPack SDK inclut des bibliothèques préinstallées et des outils nécessaires au développement de l'IA, tels que TensorFlow, PyTorch et OpenCV. Cela garantit que vous avez tous les composants essentiels prêts à être utilisés immédiatement, ce qui vous permet de gagner du temps et d'économiser des efforts lors de la configuration.

## **2. Rendement optimisé :**

Les bibliothèques et les pilotes inclus dans JetPack sont spécifiquement optimisés pour le matériel Jetson Nano. Cela signifie que vous pouvez obtenir des performances maximales de votre appareil, avec une utilisation efficace des ressources CPU, GPU et mémoire.

## **3. Facilité d'utilisation :**

Ubuntu est connu pour son interface conviviale et sa documentation complète. Associé aux ressources fournies par JetPack SDK, y compris des exemples de projets et des guides détaillés, la configuration et l'utilisation du Jetson Nano devient un processus simple.

### **Étapes d'installation :**

#### **1. Télécharger JetPack SDK :**

Visitez le centre de téléchargement NVIDIA Jetson et téléchargez la dernière version du SDK JetPack. Cela inclura le système d'exploitation Ubuntu ainsi que les pilotes et les bibliothèques nécessaires.

## **2. Flasher la carte SD :**

Utilisez un outil comme Etcher pour flasher l'image JetPack téléchargée sur une carte SD. Insérez la carte SD dans le Jetson Nano.

## **3. Configuration initiale :**

Connectez le Jetson Nano à un moniteur, un clavier et une souris. Allumez l'appareil et suivez les instructions à l'écran pour terminer la configuration initiale d'Ubuntu.

## **4. Mise à jour et mise à niveau :**

Une fois Ubuntu installé, ouvrez le terminal et exécutez les commandes suivantes pour mettre à jour et mettre à niveau les packages système :

```
sudo apt-get update
```

```
sudo apt-get upgrade
```

## **5. Installation de bibliothèques supplémentaires :**

Bien que JetPack SDK inclut de nombreuses bibliothèques essentielles, vous devrez peut-être installer des outils et des bibliothèques supplémentaires spécifiques aux exigences de votre projet.

### **Bibliothèques et cadres logiciels essentiels :**

Pour développer notre système de détection de somnolence, nous utiliserons plusieurs bibliothèques et frameworks logiciels clés. Chacun de ces composants joue un rôle essentiel dans les différentes étapes du projet, de la capture d'images vidéo au traitement avec le modèle d'IA et à la génération d'alertes.

## **1. OpenCV (Open Source Computer Vision Library) :**

### **Introduction à OpenCV :**

OpenCV est une bibliothèque puissante conçue pour la vision par ordinateur en temps réel. Il fournit une vaste gamme d'outils pour le traitement d'images et de vidéos, ce qui en fait un choix idéal pour des tâches telles que la détection de visages, la reconnaissance d'objets et le suivi de mouvement. OpenCV est écrit en C++ mais a des liaisons pour Python, Java et d'autres langages, permettant une flexibilité dans le développement.

Principales caractéristiques :

- **Traitement d'image :** OpenCV offre des fonctions pour les opérations de base comme le redimensionnement, le recadrage et les transformations de couleur. Ceux-ci sont essentiels pour préparer les images vidéo pour l'entrée du modèle d'IA.
- **Détection des visages :** En utilisant des modèles pré-entraînés comme les modules Haar Cascades et DNN (Deep Neural Network), OpenCV peut détecter les visages en temps réel, ce qui est crucial pour notre système de détection de la somnolence.

- **Capture vidéo** : OpenCV peut s'interfacer avec divers types de caméras et capturer des images vidéo, offrant ainsi un moyen transparent d'acquérir des données pour le traitement.

### **Installation :**

Pour installer OpenCV sur le Jetson Nano, utilisez la commande suivante :

```
sudo apt-get install python3-opencv
```

## **2. TensorFlow :**

Introduction à TensorFlow :

TensorFlow est un framework de machine-learning open-source développé par Google. Il est largement utilisé pour la construction, la formation et le déploiement de modèles d'apprentissage automatique. TensorFlow fournit des outils et bibliothèques complets pour diverses tâches d'IA, y compris le deep-learning, ce qui en fait une pierre angulaire de notre système de détection de la somnolence.

### **Principales caractéristiques :**

- **Modélisation** : TensorFlow permet la création d'architectures de réseaux de neurones complexes grâce à son API Keras de haut niveau ou à des opérations de bas niveau.

- **Accélération du GPU** : TensorFlow peut utiliser le GPU du Jetson Nano pour accélérer la formation et l'inférence du modèle, améliorant ainsi considérablement les performances.

- **TensorFlow Lite** : Pour déployer des modèles sur des périphériques comme le Jetson Nano, TensorFlow Lite offre une solution légère qui optimise les modèles pour la vitesse et l'efficacité.

### **Installation :**

Pour installer TensorFlow sur le Jetson Nano, procédez comme suit :

#### **1. Installer les dépendances nécessaires :**

```
sudo apt-get install python3-pip
```

#### **2. Installer TensorFlow en utilisant pip :**

```
pip3 install tensorflow
```

#### **3. Keras :**

##### **Introduction à Keras :**

Keras est une bibliothèque de réseaux de neurones open-source écrite en Python. Il agit comme une interface pour TensorFlow, simplifiant le processus de construction et d'entraînement des réseaux de neurones. Keras est conçu pour le prototypage rapide et fournit une API conviviale qui abstrait la complexité des opérations TensorFlow.

Principales caractéristiques :

- **Syntaxe simplifiée** : Keras offre une API intuitive de haut niveau pour définir des modèles de réseaux neuronaux, ce qui facilite la prise en main du deep-learning.
- **Modularité** : Les modèles de Keras sont construits à l'aide d'une série de couches interconnectées, ce qui facilite l'expérimentation et la modification.
- **Intégration avec TensorFlow** : En tant qu'API de haut niveau, Keras s'intègre parfaitement avec TensorFlow, offrant les avantages du puissant backend de TensorFlow tout en conservant sa simplicité.

### **Installation :**

Keras est inclus dans TensorFlow, il n'y a donc pas besoin d'une installation séparée. Toutefois, si vous devez l'installer séparément, utilisez la commande suivante :

```
pip3 install keras
```

## **4. NumPy :**

### **Introduction à NumPy :**

NumPy est un paquet fondamental pour l'informatique scientifique en Python. Il prend en charge les matrices et les tableaux multidimensionnels de grande taille, ainsi qu'une collection de fonctions mathématiques pour fonctionner sur ces tableaux. NumPy est essentiel pour la manipulation des données et les calculs numériques, ce qui en fait un outil crucial pour la préparation et le traitement des données dans les applications d'IA.



## **Principales caractéristiques :**

- **Opérations de tableau :** NumPy fournit des opérations efficaces et optimisées pour la manipulation de tableau, telles que l'indexation, le découpage et le remodelage.
- **Fonctions mathématiques :** Il comprend un large éventail de fonctions mathématiques pour des opérations telles que l'algèbre linéaire, l'analyse statistique et les transformations de Fourier.
- **Intégration :** NumPy s'intègre parfaitement à d'autres bibliothèques scientifiques comme SciPy et Pandas, ainsi qu'à des cadres d'apprentissage automatique comme TensorFlow et Keras.

## **Installation :**

Pour installer NumPy sur le Jetson Nano, utilisez la commande suivante:

```
pip3 install numpy
```

## **Conclusion :**

La mise en place de l'environnement Jetson Nano implique de sélectionner le bon système d'exploitation et d'installer les bibliothèques logicielles et les frameworks essentiels. En utilisant Ubuntu avec le SDK NVIDIA JetPack, nous garantissons des performances optimisées et une facilité d'utilisation pour le développement de l'IA. La combinaison d'OpenCV, TensorFlow, Keras et NumPy fournit une boîte à outils puissante pour capturer des images vidéo, les traiter avec des modèles d'IA et générer des alertes dans notre système de détection de somnolence. Chaque composant joue un rôle essentiel dans la

fonctionnalité globale du système, et la compréhension de leurs caractéristiques et des processus d'installation assure une base solide pour le projet.

## ***Chapitre 3 :***

### **3. Détection de somnolence avec l'IA**

## **Introduction :**

Les systèmes de détection de la somnolence utilisent des techniques avancées telles que le suivi oculaire et la détection des repères faciaux pour surveiller la vigilance des conducteurs. La technologie de suivi oculaire analyse les mouvements et les comportements oculaires, comme le taux de clignement des yeux et la durée de fermeture des yeux, afin de déterminer l'état de vigilance du conducteur. La détection des repères faciaux complète cela en identifiant les points clés sur le visage pour analyser les expressions et les mouvements indicatifs de la somnolence. Ces technologies combinées forment la base de modèles sophistiqués de détection de somnolence.

Ce chapitre fournit une compréhension complète de ces technologies, de leur mise en œuvre et du processus décisionnel impliqué dans le choix entre des modèles d'IA pré-entraînés et le développement de modèles personnalisés. Nous explorerons les exigences en matière de données, la formation sur les modèles et les considérations de déploiement dans le monde réel essentielles à la création de systèmes efficaces de détection de la somnolence. En maîtrisant ces éléments, les promoteurs peuvent contribuer à rendre les routes plus sûres en réduisant le risque d'accidents liés à la fatigue grâce à une surveillance opportune et précise des conducteurs.

# Comprendre les modèles de détection de la somnolence :

## Introduction au suivi oculaire et à la détection des repères faciaux :

La détection de la somnolence est un domaine critique de recherche et d'application, en particulier dans le contexte de la sécurité automobile. La détection de la somnolence chez les conducteurs peut réduire considérablement le nombre d'accidents causés par la fatigue, qui reste un facteur majeur dans les incidents routiers à l'échelle mondiale. Les composants fondamentaux des systèmes de détection de somnolence sont le suivi oculaire et la détection des repères faciaux.

### 3.1.1.1. Suivi oculaire

La technologie de suivi oculaire surveille les mouvements oculaires et analyse le comportement des yeux pour déterminer l'état du conducteur. Cela inclut le suivi de la position et du mouvement des globes oculaires, du taux de clignotement et de la durée de fermeture des yeux. Les mesures clés utilisées dans l'eye-tracking comprennent :

- **PERCLOS (Pourcentage de fermeture des paupières) :** Cette mesure mesure le pourcentage de temps pendant lequel les yeux sont fermés à au moins 80 % au cours d'une période donnée. C'est un indicateur fort de somnolence.
- **Fréquence des clignotements :** Une augmentation de la fréquence des clignotements ou des clignotements prolongés peuvent indiquer une fatigue.
- **Direction du regard :** Les changements dans les formes du regard peuvent indiquer une réduction de la conscience de la situation, qui est souvent associée à la somnolence.

L'eye-tracking peut être réalisé à l'aide de caméras qui capturent des images haute résolution ou des vidéos du visage du conducteur. Ces images sont ensuite traitées pour extraire les caractéristiques pertinentes liées aux yeux. Les caméras infrarouges sont couramment utilisées car elles peuvent capturer des images claires dans diverses conditions d'éclairage, y compris en basse lumière.

### **3.1.1.2. Détection des repères faciaux :**

La détection des repères faciaux consiste à identifier les points clés du visage, tels que les yeux, le nez, la bouche et la mâchoire. Ces repères aident à analyser les expressions et les mouvements du visage qui indiquent une somnolence. Les points clés comprennent habituellement :

- **Coins des yeux (intérieur et extérieur) :** Utilisés pour déterminer la fermeture des yeux et le clignotement.
- **Sourcils :** Le mouvement des sourcils peut fournir un contexte supplémentaire sur la vigilance du conducteur.
- **Pointe du nez :** Sert de point de référence central pour le visage.
- **Coins de la bouche :** Des changements dans la forme et les mouvements de la bouche, comme le bâillement, peuvent être détectés.

La détection des repères faciaux repose sur des algorithmes de vision par ordinateur qui peuvent localiser et suivre ces points en temps réel. Le processus comprend généralement :

1. **Détection du visage** : Identifier la présence et l'emplacement du visage dans l'image.

2. **Localisation des repères** : Repérer les coordonnées exactes des repères faciaux.

Les techniques modernes utilisent des modèles d'apprentissage profond, tels que les réseaux de neurones convolutifs (CNN), pour améliorer la précision et la robustesse de la détection des repères faciaux.

### **Modèles d'IA pré-formés vs. options de développement de modèles personnalisés :**

Lors de la mise en œuvre de systèmes de détection de somnolence, les développeurs peuvent choisir entre exploiter des modèles d'IA pré-entraînés et développer des modèles personnalisés à partir de zéro. Chaque approche a ses propres avantages et défis.

#### **3.1.1.3. Modèles d'IA pré-formés :**

Les modèles d'IA pré-entraînés sont des réseaux de neurones qui ont déjà été formés sur de grands ensembles de données. Ces modèles sont généralement disponibles dans des dépôts publics et peuvent être affinés pour des applications spécifiques. L'utilisation de modèles pré-entraînés présente les avantages suivants :

- **Réduction du temps de développement** : Puisque le modèle a déjà été formé, les développeurs peuvent rapidement le déployer et obtenir des performances décentes avec un minimum d'ajustements.

- **Performance prouvée** : Les modèles pré-entraînés sont souvent testés et validés sur divers ensembles de données, assurant un niveau de base de précision et de robustesse.
- **Efficacité des ressources** : La formation de modèles d'apprentissage profond à partir de zéro nécessite des ressources informatiques importantes. Les modèles pré-entraînés atténuent ce besoin, ce qui permet de mettre en œuvre des solutions d'IA avancées même avec un matériel limité.

Cependant, il y a aussi certaines limites à considérer :

- **Adaptabilité** : Les modèles pré-entraînés peuvent ne pas correspondre parfaitement aux exigences spécifiques, et leurs performances peuvent ne pas être optimales sans un réglage fin significatif.
- **Dépendance vis-à-vis des données externes** : Les données de formation utilisées pour les modèles pré-formés pourraient ne pas couvrir tous les scénarios pertinents pour l'application, ce qui pourrait entraîner des biais ou des lacunes dans la détection.

Les modèles pré-entraînés couramment utilisés pour la détection de la somnolence comprennent :

- **FaceNet** : utilisé pour la reconnaissance faciale et la détection de repères.
- **OpenFace** : Un outil open source pour l'analyse du comportement facial.
- **Dlib** : une boîte à outils contenant des algorithmes d'apprentissage automatique, y compris des détecteurs de repères faciaux.



#### 3.1.1.4. Développement de modèles personnalisés :

Le développement de modèles personnalisés implique la création et la formation d'un réseau neuronal à partir de zéro, adapté aux besoins spécifiques du système de détection de la somnolence. Les avantages du développement de modèles personnalisés comprennent :

- **Solutions sur mesure :** Des modèles personnalisés peuvent être conçus pour répondre à des exigences spécifiques, garantissant une précision et une pertinence accrues pour l'application.
- **Flexibilité :** Les développeurs ont un contrôle total sur l'architecture, le processus de formation et les données utilisées, ce qui leur permet de relever tous les défis ou scénarios uniques.
- **Potentiel d'amélioration de la précision :** En formant le modèle aux données recueillies spécifiquement pour l'application, il est possible d'obtenir une plus grande précision et de meilleures performances dans des conditions réelles.

Cependant, l'élaboration de modèles personnalisés présente également plusieurs défis :

- **Ressources intensives :** La formation de modèles d'apprentissage profond exige des ressources et du temps de calcul considérables. L'accès à des GPU puissants ou à des environnements de formation basés sur le cloud est souvent nécessaire.
- **Collecte et étiquetage des données :** La création d'un ensemble de données de haute qualité pour la formation peut être longue et coûteuse. Il s'agit de

capturer un grand nombre d'images ou de vidéos et de les étiqueter méticuleusement.

- **Expertise requise :** Le développement et la formation de modèles personnalisés nécessitent une compréhension approfondie de l'apprentissage automatique, des réseaux neuronaux et du domaine d'application spécifique.

### **Exigences en matière de données et collecte :**

Qu'il s'agisse d'utiliser des modèles pré-entraînés ou de développer des modèles personnalisés, la qualité des données est cruciale. Pour détecter la somnolence, l'ensemble de données doit comprendre :

- **Diverses conditions d'éclairage :** Pour s'assurer que le modèle fonctionne bien dans divers environnements d'éclairage, comme le jour, la nuit et les tunnels.

- **Différentes expressions faciales et orientations :** L'ensemble de données devrait couvrir un large éventail d'expressions faciales et de poses de la tête pour améliorer la robustesse.

- **Annotations :** Des étiquettes précises indiquant l'état du conducteur (éveillé, somnolent, endormi) sont essentielles pour la formation et l'évaluation du modèle.

Les données peuvent être collectées à l'aide de caméras installées dans les véhicules, enregistrant les conducteurs dans des conditions réelles. Des environnements simulés et des simulateurs de conduite peuvent également être utilisés pour augmenter l'ensemble de données, en particulier pour capturer des événements rares comme les incidents induits par la somnolence.

## **Modèle de formation et d'évaluation :**

La formation du modèle de détection de somnolence implique d'alimenter les données collectées dans le réseau neuronal et d'ajuster les paramètres du modèle pour minimiser les erreurs. Voici les principales étapes de ce processus :

- **Prétraitement des données :** normalisation des images, augmentation des données pour accroître la diversité et division de l'ensemble de données en ensembles de formation, de validation et de test.
- **Choisir l'architecture du modèle :** Sélectionner ou concevoir une architecture de réseau de neurones adaptée à la tâche. Les choix courants incluent les CNN pour l'analyse d'images et les réseaux de neurones récurrents (RNNs) pour les données temporelles.
- **Formation du modèle :** Utilisation d'algorithmes de rétropropagation et d'optimisation comme Adam ou SGD pour ajuster itérativement les poids du modèle.
- **Validation :** Suivi de la performance du modèle sur un ensemble de validation pour régler les hyperparamètres et éviter le sur-ajustement.
- **Essais :** Évaluer le modèle final sur un ensemble d'essais distinct pour évaluer sa précision, sa précision, son rappel et sa robustesse globale.

## **Considérations relatives au déploiement dans le monde réel :**

Le déploiement d'un système de détection de somnolence dans des véhicules du monde réel comporte plusieurs considérations supplémentaires :

- **Latence :** Le système doit traiter les trames vidéo en temps réel pour fournir des alertes en temps opportun. Cela nécessite une inférence efficace du modèle et un code optimisé.

- **Robustesse** : Le modèle doit résister à diverses conditions environnementales, comme les changements d'éclairage, les vibrations et les occlusions (p. ex., lunettes de soleil ou chapeaux).
- **Contraintes matérielles** : Le matériel choisi, comme le Jetson Nano, doit être capable de faire fonctionner le modèle efficacement sans surchauffe ni consommation excessive.
- **Expérience utilisateur** : Le système doit fournir des alertes intuitives et non intrusives au conducteur, ce qui réduit au minimum les distractions tout en assurant la sécurité.

En résumé, la compréhension et la mise en œuvre de modèles de détection de somnolence impliquent une combinaison de suivi oculaire, de détection de repères faciaux et de techniques avancées d'IA. Qu'il s'agisse d'utiliser des modèles pré-entraînés ou de développer des modèles personnalisés, la clé du succès réside dans la qualité des données, la robustesse du modèle et l'efficacité du processus de déploiement. En s'attaquant à ces facteurs, les développeurs peuvent créer des systèmes efficaces de détection de la somnolence qui améliorent la sécurité des conducteurs et réduisent le risque d'accidents liés à la fatigue.

## **Implémentation de l'algorithme de détection de somnolence :**

La mise en œuvre d'un algorithme de détection de somnolence implique plusieurs étapes clés, de la capture d'images vidéo à l'exécution de modèles d'IA et à la définition des conditions d'alerte. Voici une explication détaillée de chaque composante :

### **Capter des images vidéo à partir de la caméra :**

La première étape dans la mise en œuvre d'un système de détection de somnolence est de capturer des images vidéo à partir d'une caméra installée à l'intérieur du véhicule. La caméra doit être positionnée stratégiquement pour capturer clairement le visage du conducteur, assurant une visibilité optimale des traits faciaux nécessaires à la détection de la somnolence.

#### **3.1.1.5. Facteurs à considérer pour la sélection de la caméra :**

- **Résolution :** Choisissez une caméra avec une résolution suffisante (p. ex., 1080p HD) pour capturer des images claires du visage du conducteur.
- **Fréquence d'images :** Des fréquences d'images plus élevées (par exemple, 30 images par seconde ou plus) garantissent une capture vidéo fluide, ce qui est crucial pour l'analyse en temps réel.
- **Faible luminosité :** Optez pour un appareil photo à faible luminosité pour maintenir la visibilité dans diverses conditions d'éclairage, y compris la conduite de nuit.
- **Champ de vision :** S'assurer que le champ de vision de la caméra couvre adéquatement le visage du conducteur sans distorsion ou occlusion importante.

#### **Prétraitement des trames pour l'analyse IA**

Une fois les images vidéo capturées, elles doivent être prétraitées avant d'être introduites dans le modèle d'IA pour analyse. Le prétraitement améliore la qualité des données d'entrée et optimise les performances de l'algorithme d'IA

#### **3.1.1.6. Étapes de prétraitement :**

- **Redimensionner :** Ajuster la résolution de chaque image pour correspondre à la taille d'entrée requise par le modèle d'IA. Cette étape assure la cohérence et réduit les frais de calcul.

- **Normalisation** : Normaliser les valeurs de pixels à une plage normalisée (p. ex., [0, 1]) pour améliorer la convergence du modèle pendant l'entraînement et l'inférence.
- **Conversion des couleurs** : Convertir les images en niveaux de gris si les informations sur les couleurs ne sont pas nécessaires pour la tâche de détection de somnolence. Les images en niveaux de gris simplifient le traitement tout en conservant les caractéristiques faciales essentielles.

### **Exécution du modèle AI sur chaque trame pour détecter l'état du pilote :**

Le cœur de l'algorithme de détection de somnolence consiste à exécuter un modèle d'IA sur chaque trame prétraitée pour analyser l'état du pilote. Le modèle d'IA traite les traits faciaux extraits des images pour déterminer si le conducteur est éveillé, somnolent ou absent.

#### **3.1.1.7. Sélection du modèle d'IA :**

- **Architecture de modèle** : Choisissez une architecture de réseau de neurones appropriée pour la tâche, comme les réseaux de neurones convolutifs (CNN) pour l'analyse d'images ou les réseaux de neurones récurrents (RNN) pour le traitement séquentiel des données.
- **Formation** : Former le modèle d'IA en utilisant des données étiquetées qui comprennent des exemples d'états éveillés et somnolents. Affinez le modèle pour obtenir une précision et une robustesse optimales dans des conditions réelles.
- **Inférence** : Pendant l'exécution, appliquez le modèle entraîné pour classer chaque image en fonction des tendances apprises des indicateurs de somnolence, comme la durée de fermeture des yeux et les expressions faciales.

#### **Définition des conditions d'alerte :**

Pour alerter efficacement le conducteur de somnolence potentielle, définissez des seuils et des conditions basés sur les prédictions du modèle d'IA sur des images consécutives.

#### **3.1.1.8. Conditions d'alerte :**

- **Seuils :** Fixer des seuils pour les indicateurs clés, tels que le pourcentage de fermeture des paupières (PERCLOS) ou la durée de fermeture des yeux, au-delà de laquelle la somnolence est détectée.
- **Images consécutives :** Définissez le nombre d'images consécutives présentant des indicateurs de somnolence nécessaires pour déclencher une alerte. Cela évite les fausses alarmes causées par des événements isolés.
- **Intervalle de temps :** Mettre en œuvre un mécanisme d'alerte basé sur le temps pour assurer des notifications en temps opportun, comme le déclenchement d'une alerte si la somnolence persiste pendant plus d'une durée spécifiée.

#### **Considérations opérationnelles :**

Le déploiement de l'algorithme de détection de la somnolence dans un environnement de véhicule réel exige un examen attentif des facteurs opérationnels :

- **Traitement en temps réel :** S'assurer que l'algorithme fonctionne en temps réel pour fournir une rétroaction immédiate au pilote, ce qui minimise la latence de réponse.
- **Compatibilité matérielle :** Sélectionner des composants matériels, tels que des GPU ou des systèmes embarqués comme Jetson Nano, capables de prendre en charge efficacement l'inférence du modèle d'IA dans les contraintes du véhicule.

- **Interface utilisateur :** Concevoir une interface utilisateur intuitive ou un système d'alerte qui communique efficacement les alertes de somnolence sans distraire le conducteur.

- **Intégration :** Intégrer le système de détection de somnolence aux systèmes de sécurité des véhicules existants ou aux tableaux de bord pour un fonctionnement et une surveillance sans faille.

## **Définition des conditions d'alerte :**

La définition des conditions d'alerte dans un système de détection de somnolence est cruciale pour une intervention rapide afin de prévenir les accidents potentiels causés par la fatigue du conducteur. Ces conditions déterminent quand et comment les alertes sont déclenchées en fonction de l'analyse des images vidéo traitées par les modèles d'IA. Voici une explication complète de la façon dont les conditions d'alerte sont définies et mises en œuvre :

### **Définition des seuils de détection de somnolence :**

Les seuils jouent un rôle crucial dans la détermination du moment où un conducteur est considéré somnolent d'après l'analyse des images vidéo. Ces seuils sont généralement basés sur des mesures quantitatives extraites des traits du visage et des mouvements oculaires, qui indiquent une somnolence.

#### **3.1.1.9. Mesures clés pour l'établissement du seuil :**

- **Pourcentage de fermeture des paupières (PERCLOS) :** Le PERCLOS mesure la proportion de temps pendant lequel les yeux sont fermés au-delà d'un certain seuil, comme 80 % de fermeture, sur une période donnée (p. ex., quelques secondes).



- **Taux de clignotement :** Une augmentation du taux de clignotement ou des clignotements prolongés peuvent indiquer une fatigue. Définir un seuil pour une fréquence de clignotement anormale aide à détecter la somnolence.
- **Mouvements oculaires :** Les changements dans les mouvements oculaires, comme une fréquence réduite ou une réponse retardée aux stimuli visuels, peuvent aussi indiquer une somnolence.

### **Détermination des trames consécutives pour le déclenchement d'alerte :**

Pour minimiser les fausses alarmes et assurer une détection précise, il est crucial de définir le nombre d'images consécutives présentant des indicateurs de somnolence. Cette approche aide à faire la distinction entre les distractions momentanées et la somnolence soutenue.

#### **3.1.1.10. Considérations pour les trames consécutives :**

- **Durée de la trame :** Déterminer la durée de chaque cycle de capture et de traitement de la trame. Par exemple, si les images sont traitées à 30 images par seconde (fps), une durée d'une seconde correspond à 30 images.
- **Définition du seuil :** Déterminez le nombre minimal d'images consécutives qui doivent présenter des indicateurs de somnolence avant de déclencher une alerte. Ce seuil peut varier en fonction de la sensibilité du système de détection et du niveau de sécurité souhaité.

#### **Mécanisme d'alerte temporel :**

En plus des périodes consécutives, la mise en œuvre d'un mécanisme d'alerte basé sur le temps assure une intervention en temps opportun lorsque la somnolence persiste sur une période prolongée. Ce mécanisme améliore la réactivité du système à l'évolution des conditions de conduite.

### 3.1.1.11. Étapes de mise en œuvre :

- **Définition de l'intervalle de temps** : Définissez un seuil d'intervalle de temps (p. ex., 2 secondes) au-delà duquel la somnolence continue déclenche une alerte. Cela évite les retards dans l'alerte du conducteur et garantit une action rapide.
- **Combinaison avec l'analyse de la base de sondage** : Intégrer des critères fondés sur le temps avec l'analyse de la base de sondage consécutive pour obtenir une stratégie d'alerte complète. Par exemple, une alerte peut être déclenchée si la somnolence est détectée en continu pendant 5 images ou pendant plus de 2 secondes.

### Stratégies d'alerte adaptative :

Pour optimiser l'efficacité des conditions d'alerte, envisagez des stratégies adaptatives qui ajustent les seuils de façon dynamique en fonction du comportement du conducteur en temps réel et des facteurs environnementaux.

### 3.1.1.12. Adaptive Techniques :

- **Profilage des conducteurs** : Intégrer des techniques d'apprentissage automatique pour profiler les conducteurs individuels en fonction de leur comportement et de leurs modèles de réponse typiques. Cela permet des seuils d'alerte personnalisés adaptés aux caractéristiques de chaque conducteur.
- **Sensibilité à l'environnement** : Ajuster les seuils en fonction des conditions environnementales, comme les changements d'éclairage ou les conditions routières, ce qui peut affecter la vigilance du conducteur et les mouvements oculaires.
- **Mécanismes de rétroaction** : Mettre en œuvre des boucles de rétroaction qui surveillent l'efficacité des conditions d'alerte et affinent continuellement les seuils en fonction des données de rendement réelles.

### **Intégration avec l'interface utilisateur et la rétroaction :**

Les conditions d'alerte devraient être intégrées de façon transparente aux interfaces utilisateur et aux mécanismes de rétroaction afin de s'assurer que les conducteurs sont informés rapidement de la somnolence potentielle sans causer de distraction ou de fatigue d'alarme.

#### **3.1.1.13. Conception de l'interface utilisateur :**

- **Alertes visuelles :** Concevez des alertes visuelles intuitives, comme des messages à l'écran ou des indicateurs, qui avertissent les conducteurs de la somnolence détectée.
- **Alertes auditives :** Tenez compte des signaux sonores, comme les alarmes ou les messages vocaux, pour alerter les conducteurs lorsque l'attention visuelle est occupée ou réduite.
- **Notifications non intrusives :** S'assurer que les alertes ne sont pas intrusives et ne nuisent pas à la capacité du conducteur de se concentrer sur les tâches de conduite tout en transmettant efficacement la gravité de la somnolence détectée.

#### **Test et validation des conditions d'alerte :**

Avant le déploiement, testez et validez rigoureusement les conditions d'alerte en utilisant divers ensembles de données et environnements de simulation pour garantir des performances robustes dans différents scénarios.

#### **3.1.1.14. Considérations relatives à la mise à l'essai :**

- **Variabilité de l'ensemble de données :** Tester les conditions d'alerte à l'aide d'ensembles de données qui représentent un large éventail de conditions de conduite, y compris la conduite de jour et de nuit, les routes et les milieux urbains, et divers niveaux de fatigue des conducteurs.

- **Mesures du rendement** : Évaluer la sensibilité, la spécificité et la précision des conditions d’alerte par rapport aux étiquettes de vérité au sol pour quantifier l’efficacité de la détection.
- **Simulation du monde réel** : Effectuer des tests de simulation du monde réel pour valider l’efficacité pratique des conditions d’alerte dans des scénarios de conduite en temps réel.

### **Conformité et de régulation :**

Enfin, veiller à ce que les conditions d’alerte soient conformes aux réglementations et normes de sécurité pertinentes régissant le déploiement de systèmes d’aide à la conduite dans les véhicules.

#### **3.1.1.15. La conformité réglementaire :**

- **Normes de sécurité** : Respecter les directives de sécurité, telles que celles établies par les autorités de sécurité automobile et les organismes de réglementation, afin de garantir la fiabilité et la légalité des mécanismes d’alerte.
- **Considérations éthiques** : Tenir compte des implications éthiques liées à la confidentialité, à la sécurité des données et au consentement des utilisateurs lors de la mise en œuvre de conditions d’alerte qui surveillent le comportement du conducteur et les indicateurs physiologiques.

### **Conclusion :**

La mise en œuvre d’un algorithme de détection de somnolence nécessite l’intégration de techniques d’IA avancées avec des méthodologies robustes de capture et de prétraitement des données. Cela implique de capturer des images vidéo, de les prétraiter pour l’analyse de l’IA, d’exécuter le modèle d’IA pour détecter l’état du pilote et de définir des conditions d’alerte efficaces. Des

conditions d'alerte efficaces exigent un examen attentif des seuils, des périodes consécutives, des mécanismes basés sur le temps, des stratégies adaptatives, de l'intégration de l'interface utilisateur et des tests rigoureux. En tenant compte de ces considérations opérationnelles et en mettant en œuvre des conditions d'alerte robustes, les promoteurs peuvent créer un système efficace qui améliore la sécurité du conducteur en alertant en temps opportun de la somnolence potentielle, atténuant ainsi le risque d'accidents causés par la fatigue du conducteur sur la route.

## ***Chapitre 4 :***

### **4. test et étalonnage :**

## **Introduction :**

Les tests et l'étalonnage sont des phases cruciales dans le développement de systèmes de surveillance des conducteurs alimentés par l'intelligence artificielle. Cette section examine les méthodologies, les défis et les résultats de la mise à l'essai de divers états de conduite et de l'ajustement des modèles d'IA pour une performance optimale.

## **4.1. But des essais et de l'étalonnage :**

Les tests et l'étalonnage servent à de multiples fins dans l'intégration de la capture vidéo, du traitement de l'IA et des systèmes de génération d'alertes. Leurs principaux objectifs sont d'assurer l'exactitude, la fiabilité et l'adaptabilité du système dans différentes conditions opérationnelles.

### **4.1.1. Vérification de la précision :**

La détection précise des états du conducteur (éveillé, somnolent, aucun conducteur) est primordiale. Les tests consistent à valider la capacité des modèles d'IA à interpréter correctement les indices faciaux, les mouvements oculaires et les positions de la tête capturés par le flux vidéo. L'étalonnage ajuste les paramètres pour minimiser les faux positifs et négatifs, optimisant les seuils de détection.

### **4.1.2. Evaluation de la fiabilité :**

Les tests de fiabilité évaluent la cohérence du système dans des scénarios réels. Il faut effectuer des essais prolongés dans des conditions variées (p. ex., différents moments de la journée, conditions météorologiques) pour déterminer les variations de rendement. L'étalonnage ajuste les algorithmes pour améliorer la robustesse face à des facteurs environnementaux tels que les changements d'éclairage ou les casques de conducteur.

### **4.1.3. Adaptabilité à la variabilité du conducteur :**

Les conducteurs présentent divers comportements et réponses physiologiques. L'étalonnage garantit que les modèles d'IA peuvent s'adapter aux variations individuelles des traits du visage, des caractéristiques des yeux et des habitudes

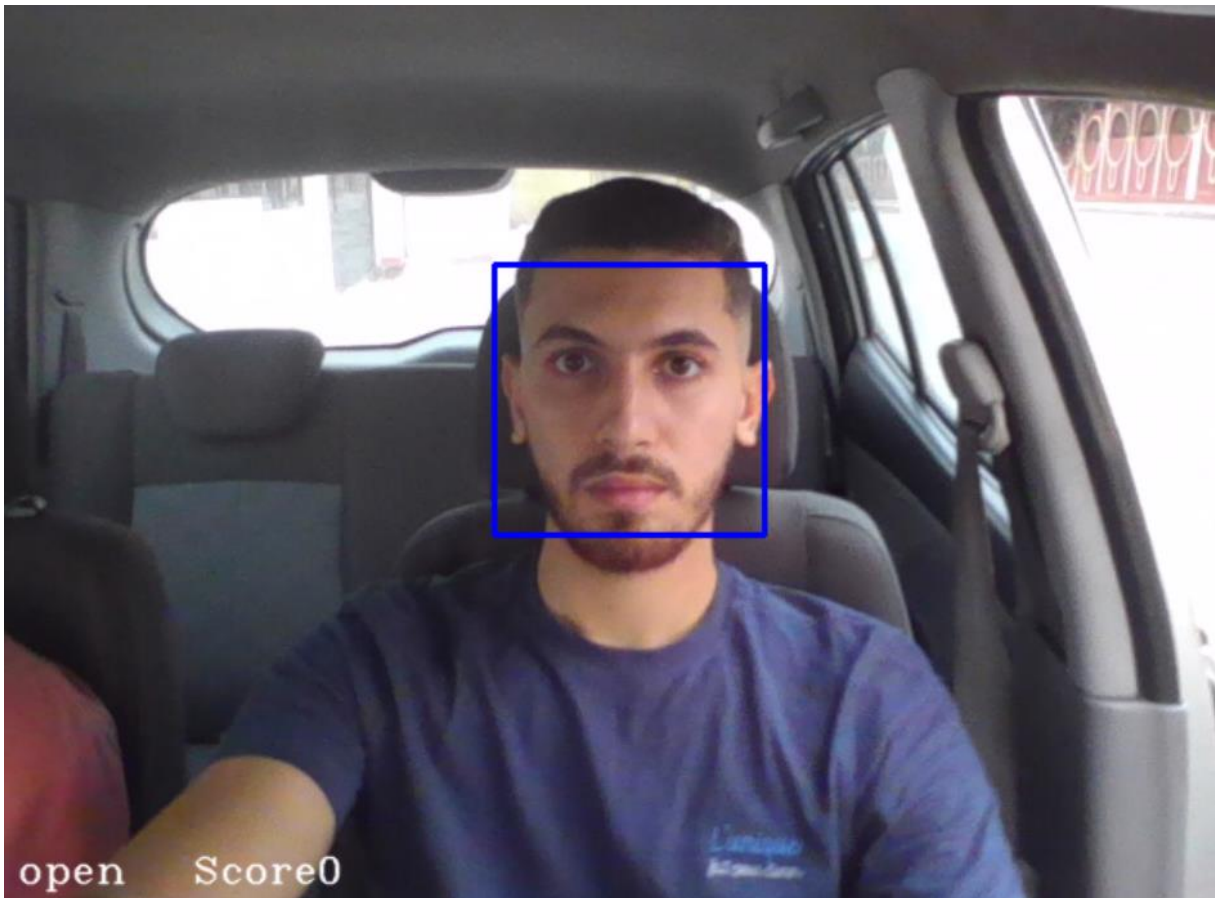


de conduite. Les essais consistent à utiliser des ensembles de données démographiques diversifiées pour valider l'applicabilité universelle du système.

## 4.2. Les états du conducteur :

Les différents états du conducteur lors des tests fournissent des informations sur la réactivité et la précision du système dans tous les scénarios.

### Etat d'éveil :

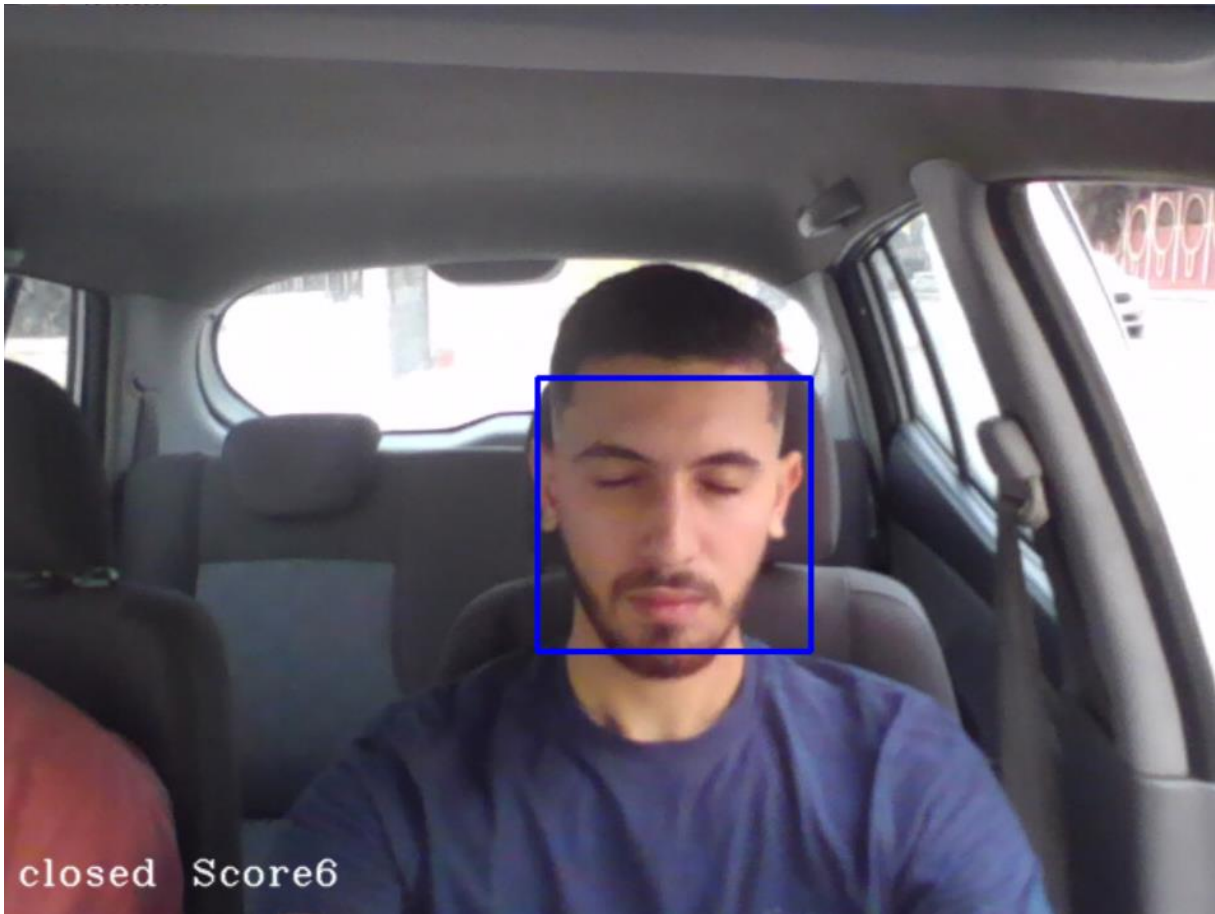


Les essais dans des conditions de conduite normales permettent de vérifier la capacité du système à reconnaître un comportement attentif et alerte. L'étalonnage affine les paramètres pour différencier avec précision les mouvements oculaires normaux et les signes potentiels de fatigue.

- **Méthodologie** : Utiliser des ensembles de données pour saisir les conducteurs dans des états attentifs, surveiller les taux typiques de clignement des yeux et les

mouvements de la tête. L'étalonnage ajuste les seuils des indicateurs de vigilance en fonction des comportements de base.

**Etat de somnolence:**



La détection de la somnolence est essentielle pour prévenir les accidents. Les tests impliquent d'induire la somnolence artificiellement ou d'utiliser des ensembles de données avec des sujets naturellement somnolents pour entraîner et valider les modèles d'IA.

- **Défis** : Distinguer les signes subtils de somnolence (p. ex., fermetures prolongées des yeux, clignotements irréguliers) de la fatigue normale exige un étalonnage précis des algorithmes de détection.
- **Résultat** : L'étalonnage affine la sensibilité aux indicateurs de somnolence tout en minimisant les fausses alarmes.

## Etat d'absence de conducteur :



La détection de l'absence d'un conducteur est essentielle pour que les systèmes automatisés s'activent correctement (p. ex., freinage d'urgence). Les tests impliquent des scénarios sans présence de pilote pour valider des protocoles de détection et de réponse fiables.

- **Approche** : Utiliser la fusion des données des capteurs et les algorithmes d'IA pour détecter l'absence d'actions attendues du conducteur (p. ex., prise de volant, mouvements du visage). L'étalonnage ajuste les seuils de réponse pour la robustesse contre le bruit ambiant et les faux positifs.

## Affiner les modèles IA et les paramètres d'alerte :

Le réglage fin des modèles d'IA et des paramètres d'alerte optimise les performances du système en fonction des données de test empiriques et des commentaires des utilisateurs.

#### **Amélioration du modèle itératif :**

Le raffinement itératif implique la mise à jour continue des algorithmes d'IA en fonction des résultats des tests et des commentaires des utilisateurs pour améliorer la précision et l'adaptabilité.

- **Étalonnage axé sur les données :** Analyser les mesures du rendement (p. ex., précision, rappel) dans l'ensemble des scénarios de mise à l'essai afin de déterminer les domaines d'amélioration du modèle. L'étalonnage intègre de nouveaux ensembles de données et ajuste les poids des fonctions pour améliorer la précision des prévisions.

#### **Optimisation des paramètres pour les alertes :**

Les paramètres d'alerte déterminent le moment et la nature des alertes émises aux conducteurs. L'étalonnage équilibre les avertissements en temps opportun avec la minimisation des fausses alarmes pour assurer une intervention efficace sans distraire de la conduite sécuritaire.

- **Considérations liées aux facteurs humains :** Intégrer les connaissances tirées des études comportementales afin d'optimiser les paramètres d'alerte pour l'acceptation par l'utilisateur et l'efficacité de l'aide à la conduite en temps réel.

- **Résultat :** L'étalonnage permet d'atteindre un équilibre entre les seuils d'alerte précoce et d'intervention, améliorant la réactivité du conducteur et la facilité d'utilisation du système.

### **4.3. Conclusion :**

En conclusion, assurer la sécurité et la fiabilité des systèmes de surveillance du conducteur est primordial pour la sécurité routière. Le fait de tenir compte des principales considérations de sécurité, comme la redondance des composants du système et l'intégration aux systèmes de sécurité des véhicules, améliore l'efficacité globale. L'adaptation aux facteurs environnementaux et externes, tels que les variations d'éclairage et les couvre-chefs, assure une détection précise. Éduquer les utilisateurs sur les capacités et les limites du système, tout en respectant les normes de confidentialité, favorise une utilisation appropriée. Le respect de la conformité réglementaire et des meilleures pratiques de l'industrie garantit le déploiement éthique et juridique de ces technologies, favorisant l'amélioration continue et l'innovation dans les systèmes de surveillance des conducteurs.

## **5. Conclusion générale :**

En conclusion, le Jetson Nano est une plateforme IA idéale pour les systèmes de surveillance des conducteurs, améliorant ainsi la sécurité routière. La somnolence au volant est une menace sérieuse nécessitant des mesures avancées de prévention. Avec son GPU puissant, sa compatibilité avec divers cadres IA, et son efficacité énergétique, le Jetson Nano est optimal pour l'intégration dans les véhicules.

Installer le Jetson Nano avec Ubuntu et le SDK NVIDIA JetPack, et utiliser des outils comme OpenCV et TensorFlow, permet de traiter efficacement les images pour détecter la somnolence. Des conditions d'alerte bien définies et testées sont essentielles, en tenant compte des variations environnementales.

La sécurité des systèmes de surveillance repose sur la redondance des composants, l'intégration avec les systèmes de sécurité des véhicules, et l'éducation des utilisateurs. Respecter les normes réglementaires garantit un déploiement éthique. Le Jetson Nano permet de développer des solutions robustes pour réduire les risques de somnolence au volant, renforçant ainsi la sécurité routière.

## **Référence :**

- [1] [https://tirf.ca/wp-content/uploads/2017/01/RSM\\_La\\_somnolence\\_au\\_volant\\_2004.pdf](https://tirf.ca/wp-content/uploads/2017/01/RSM_La_somnolence_au_volant_2004.pdf)
- [2] <https://developer.nvidia.com/embedded/learn/get-started-jetson-nano-devkit>
- [3] Manaswi, Navin Kumar, Deep Learning with Applications Using Python | | Convolutional Neural Networks
- [4] Contributions to driver fatigue detection based on eye-tracking, Ana-Maria Băiașu, Cătălin Dumitrescu, Department of Telematics and Electronics for Transports (Faculty of Transports) University Politehnica (of Bucharest) Bucharest, 060042, Romania. Received: May 28, 2020. Revised: December 13, 2020. Accepted: January 5, 2021. Published: January 18, 2021.
- [5] Effects of Fatigue on Driving Performance Under Different Roadway Geometries: A Simulator Study Hongji Dua, Xiaohua Zhaoa, Xingjian Zhanga, Yunlong Zhangb & Jian Ronga a Key Lab of Traffic Engineering, Beijing University of Technology, Beijing, P. R. China b Department of Civil Engineering, Texas A&M University, College Station, Texas  
Accepted author version posted online: 13 Oct 2014. Published online: 28 Jan 2015.
- [6] Vanlaar, W., Simpson, H., Mayhew, D., & Robertson, R. (2008). Fatigued and drowsy driving: A survey of attitudes, opinions and behaviors. Journal of Safety Research
- [7] <https://engage-ai.co/fr/quelle-formation-de-mod%C3%A8le-IA/>
- [8] Christine Dewi, Rung-Ching Chen, Xiaoyi Jiang, Hui Yu4, «Adjusting eye aspect ratio for strong eye blink detection based on facial landmarks», Pub Med Central, [Online]. Available : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9044337/>
- [9] A. Rosebrock, "Drowsiness detection with OpenCV," 08 May 2018. [Online]. Available: <https://www.pyimagesearch.com/2017/05/08/drowsiness-detection-opencv/>.

**[10]** T. Soukupová, «Real-Time Eye Blink Detection using Facial Landmarks».2016