

Quantification du trafic de transport de marchandises dangereuses par reconnaissance des formes

Guillaume Gublin , Christophe Heinkelé, Dimitri Klockenbring, Geoffrey Ossard,
Pierre Charbonnier
Cerema, Equipe Recherche ENDSUM

Dans cette contribution, nous décrivons la mise en place d'une intelligence artificielle (IA) caractérisant, à partir d'images de vidéo-surveillance, le trafic de Transports de Marchandises Dangereuses (TMD) dans un tunnel géré par la Collectivité européenne d'Alsace (CeA).

Suite aux catastrophes survenues dans les tunnels alpins à la fin des années 1990, la réglementation européenne et sa transposition dans le droit français imposent un examen de sécurité périodique des tunnels routiers d'une longueur supérieure à 300 m. Cet examen donne lieu à une autorisation préfectorale de mise en service renouvelable, valable 6 ans [1]. L'étude du trafic routier, notamment celui des TMD fait partie des éléments à fournir par le gestionnaire de l'ouvrage. Le comptage est effectué en bord de voie, sur une période minimale, supposée représentative, de 3 jours ouvrables. Les TMD sont signalés par des plaques rectangulaires de couleur orange contenant un code danger et un code matière (ou code ONU), et par des plaques losanges appelées étiquettes de danger. La plaque rectangulaire peut être vierge, pour les camions composés de plusieurs citernes, les camions bâchés ou le transport de bouteilles. Même s'il peut être aidé par de la vidéo, le relevé de ces éléments est un travail fastidieux et propice aux erreurs.

La CeA est gestionnaire du tunnel de Schirmeck, ouvrage d'une longueur de 570 m, composé d'un seul tube, bidirectionnel. Lors d'une formation-pilote au "*design-thinking*", deux agents du Cerema sont allés à la rencontre du service Gestion du Trafic de la CeA. Le besoin d'automatiser le comptage des TMD, à partir des vidéos issues de caméras a émergé de cette approche. Il a été formalisé par un contrat de recherche-développement entre la CeA et le Cerema. Afin de limiter les risques liés au déploiement d'une solution innovante, celui-ci a été structuré en deux séquences, séparées par une décision "*go/no-go*". La première séquence, démarrée à l'automne 2021, comprenait la collecte de vidéos issues de la caméra mise à disposition par la CeA ainsi que l'étude par le Cerema d'un modèle d'IA et son évaluation. A l'issue de l'exposé des résultats de celle-ci, le "*go*" a été prononcé en février 2023, permettant ainsi de démarrer la seconde séquence du projet, dédiée à l'implémentation d'un logiciel opérationnel (avec interface web). Celui-ci a été livré à la CeA en janvier 2024 par le Cerema.

Il existe quelques systèmes commerciaux de comptage des TMD [2]. Ceux-ci peuvent être liés à un modèle particulier de caméra et leur degré d'ouverture des données est variable. L'approche retenue ici utilise une caméra en place aux abords du tunnel, ce qui permet de réduire les coûts, et elle permet aux partenaires de conserver la maîtrise des développements et des résultats.

Le système développé [2], illustré Figure 1, utilise les vidéos fournies par une caméra de vidéo-surveillance située sur un rond-point en amont du tunnel. Cette configuration limite la vitesse des véhicules et augmente la qualité des prises de vues. La phase de collecte avait permis de rassembler plus de 2 millions d'images en janvier 2023, parmi lesquelles environ 7 600 contenaient un TMD, 250 000 contenaient des PL (hors TMD) et le reste, des VL ou aucun véhicule. Environ 5 000 images de TMD différents ont alors été annotées manuellement (Figure 1-1). Quelque 33 000 boîtes englobantes ont été placées, par des opérateurs, autour des objets d'intérêt divisés en trois classes : les plaques oranges avec code, les plaques oranges vierges et les plaques losanges de symbole. A partir des 5000 images annotées et d'environ 8500 autres images, une base de données a été constituée pour l'apprentissage, la validation et les tests d'une architecture de type RetinaNet (voir

Figure 1-2, extraite de [4]). Les paramètres d'un modèle pré-entraîné ont été ajustées aux images du tunnel par *fine-tuning*.

En phase d'exploitation, les images issues des vidéos en couleurs sont traitées individuellement par cette IA, adaptée aux vues 2D, et les détections successives (Figure 1-3) sont ensuite agglomérées (Figure 1-4) par un algorithme de vision par ordinateur. Cela permet de conforter les détections, de gérer le cas des véhicules avec remorques et d'éliminer d'éventuelles fausses alarmes générées, par exemple, par des véhicules venant en sens inverse. L'ensemble des traitements est développé en langage Python. Le résultat est fourni sous forme de fichier texte formaté contenant pour chaque TMD l'horodatage de la vidéo où il apparaît et les types de plaques identifiées. Une image de contexte montrant le véhicule et une imagerie de chaque plaque détectée sont également sauvegardées. Dans l'image de contexte, les visages et plaques d'immatriculation sont floutés pour respecter le règlement général sur la protection des données (RGPD). L'ensemble des traitements est lancé automatiquement chaque nuit sur la machine de calcul installée à la CeA : un PC sous Windows 11 et équipé de cartes graphiques puissantes. Toutes les vidéos d'une journée peuvent être traitées en une heure.

Le Cerema a développé une interface web écrite en Javascript [2], permettant de consulter les résultats des détections de TMD et d'établir des statistiques exportables, répondant ainsi aux demandes réglementaires. Les fonctionnalités de l'interface permettent :

- la recherche du transit TMD constaté sur une période (Figure 2.a), avec visualisation horodatée des images de contexte, des plaques oranges et des étiquettes losanges. D'éventuelles fausses alarmes peuvent ici être filtrées par l'opérateur. La saisie manuelle des code danger et ONU est possible à ce niveau. Une évolution de l'application avec mise en place d'un algorithme de reconnaissance de caractères est envisagée afin de faciliter cette tâche ;
- la visualisation des résultats selon le calendrier (Figure 2.b). Cela offre une information visuelle globale (histogramme) de la fréquentation des TMD en fonction de la période sélectionnée, des week-ends et jours fériés, ou autres évènements, comme les fermetures du tunnel ;
- la visualisation graphique des statistiques de fréquentation et de proportion de marchandises dangereuses transportées, sous forme de tableau de bord (Figure 2.c). Les statistiques sont exportables à ce niveau ;
- le lancement manuel des détections, de l'anonymisation des images de contexte et de l'ajout des résultats en base de données, si le traitement automatique quotidien n'a pas fonctionné.

Une évaluation du système développé a été menée à partir des 21 406 vidéos acquises par la caméra pendant 27 jours consécutifs du 20 mars au 15 avril 2023. Un décompte manuel a montré que 333 TMD étaient visibles sur ces séquences. Il faut noter qu'il a fallu une relecture par deux opérateurs, pour lever deux oublis et une fausse détection. Le comptage automatique fournit un chiffre de 338 TMD : le système ne fait aucun oubli, mais cinq fausses détections, liées par exemple à des logos, housses d'extincteurs, réflecteurs.

Ce projet de recherche-développement a abouti à une solution adaptée de comptage quotidien des TMD transitant dans le tunnel de Schirmeck. Le modèle mis en place est ajusté à la configuration et au trafic observé, il est évalué et maîtrisé par le Cerema. La présentation des détections est adaptée aux besoins du partenaire et lui permet de conserver la maîtrise fine des résultats. Les statistiques obtenues en 2022 et 2023 ont été fournies, ainsi que la base de données des codes de plaques saisies, soit plus de 2 100 plaques. La solution a été déployée à partir d'une caméra déjà en place. Celle-ci ne possède pas d'éclairage infra-rouge et les vidéos traitées ne concernent donc que la période diurne, où les images sont en couleurs. Par ailleurs, elle ne permet d'étudier qu'un sens de circulation. Afin d'obtenir des statistiques exhaustives, il conviendrait de mettre en place une paire de caméras, permettant une visualisation bidirectionnelle et une vision nocturne exploitable. Le modèle est susceptible d'être adapté à la nuit ou transposé à une autre infrastructure, moyennant un effort de réapprentissage. Quant à l'interface de visualisation, elle pourrait être rendue interopérable pour prendre en compte les résultats d'autres systèmes d'analyse vidéo.

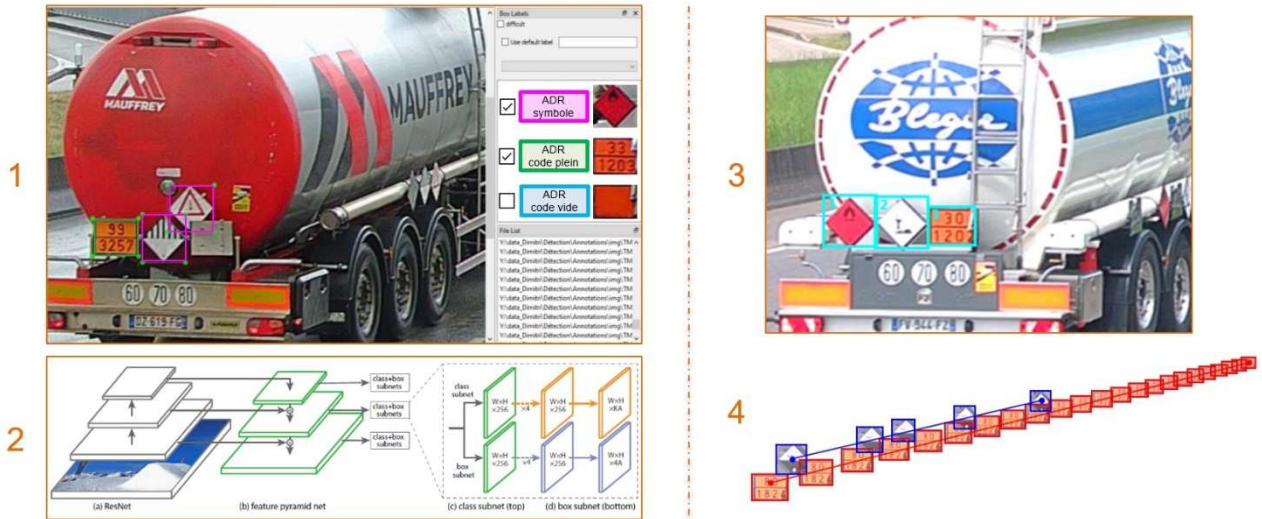


Figure 1 : schéma synoptique de la chaîne de traitement

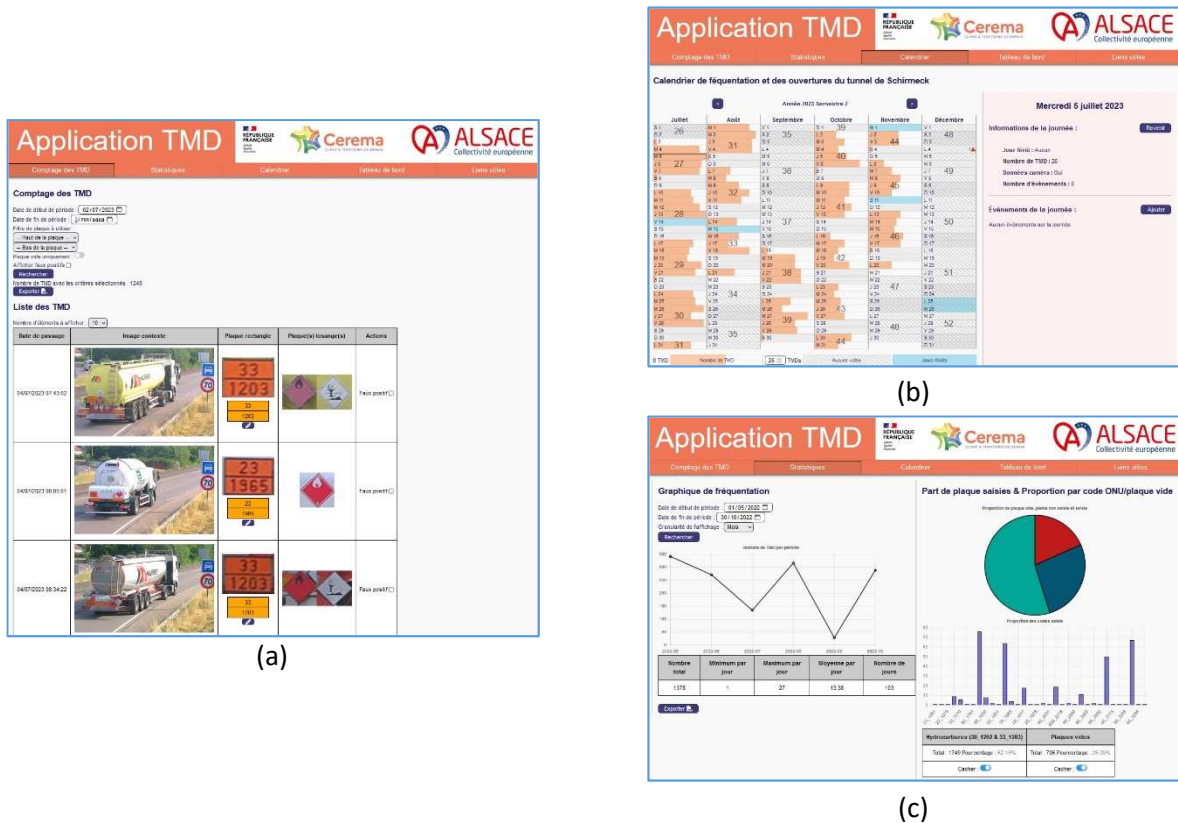


Figure 2 : vues de l'application Web réalisée. (a) onglet visualisation des résultats, (b) onglet vue "calendrier", (c) onglet tableau de bord des statistiques

Références bibliographiques :

- [1] Centre d'étude des tunnels (CETU), *L'examen périodique de sécurité des tunnels routiers - Renouvellement de l'autorisation de mise en service*, collection Les documents d'information, 2016.
- [2] Geoffrey Ossard, *Mise en place d'une interface pour une IA de détection automatique des transports de matière dangereuse*, Rapport de stage - BUT2, juin 2023.
- [3] Dimitri Klockenbring, *Détection automatique par IA pour caractériser le transport de matières dangereuses (TMD) - Cas du tunnel de Schirmeck*, Rapport de stage — Master 2 CSMI, septembre 2022.
- [4] Tsung-Yi Lin, Priya Goyal, Ross Girshick, Kaiming He, Piotr Dollár, *Retinanet, Focal Loss for Dense Object Detection*, Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, pp. 2980-2988, 2017.