Une IA locale et auditable pour la navigation autonome en terrain non structuré

Terrang – MpSec France

Identification des cas d'usages / Identification of Use Cases

Pour la robotique extérieure, et en particulier terrestre, la navigation autonome reste un problème ouvert. Le terrain n'est pas structuré et rarement cartographié : chemins, herbe haute, talus, fossés, bords de falaise. La liaison radio est courte et intermittente, le GNSS peut être dégradé ou brouillé, et l'opérateur n'est pas roboticien.

Dans cette navigation autonome en extérieur, l'intelligence artificielle prend place aussi bien dans la préparation de la mission que dans la conduite en temps réel de celle-ci. Ses apports sont de deux ordres : la planification d'une trajectoire optimisée, à partir d'une segmentation du terrain vu du ciel, et la détection puis la classification des obstacles pendant la navigation. Ces deux apports ne s'exercent ni au même moment ni au même endroit : le premier au poste, avant projection, sur une imagerie ; le second à bord, à la cadence des capteurs.

Les cas d'usage visés sont la reconnaissance d'itinéraire, la couverture d'une zone, la surveillance et l'emport de charge, pour une petite unité déployant un robot terrestre, chenillé ou quadrupède. Deux utilisateurs se partagent le système. Le chef d'unité prépare la mission : il désigne une destination ou une zone à couvrir, et doit se convaincre du comportement de la machine avant d'en autoriser l'emploi. L'opérateur, à pied et dont l'attention est prise ailleurs, conduit et supervise.

La capacité à améliorer est double. Réduire d'abord ce que la conduite exige de l'opérateur : le ratio est aujourd'hui d'un opérateur par robot, et c'est lui qui limite l'emploi. Rendre ensuite la chaîne de décision vérifiable, ce qu'une conduite apprise de bout en bout ne permet pas, faute de bornes, d'audit et de repli spécifié ; or c'est cette vérifiabilité qui conditionne la qualification d'un système autonome. S'y ajoute une contrainte de contexte : l'inférence déportée n'est pas une option, la liaison n'étant pas garantie et les données de mission n'ayant pas à sortir du système. Tout ce qui suit s'exécute donc localement, sur le calculateur du robot ou au poste.

Pistes d'expérimentation et de passage à l'échelle : préparation d'itinéraire sur imagerie satellitaire avant projection, supervision en réalité augmentée, puis carte de franchissabilité partagée entre plusieurs robots terrestres et un drone d'accompagnement. La transposition civile est directe et nous sert de banc : agriculture, carrières et chantiers, forêt, recherche et sauvetage.

Approche technique proposée / Proposed Technical Approach

L'approche sépare les deux temps de la navigation (une préparation hors ligne, une exécution à bord) et cantonne l'apprentissage à un rôle précis : produire une représentation de coût et désigner l'objectif. Aucune brique apprise n'écrit de commande de vitesse, et son absence laisse la chaîne géométrique fonctionner seule. C'est ce choix de placement, plus que le choix des modèles, qui rend le comportement du robot explicable et vérifiable.

Préparation de mission. Une imagerie datée, satellitaire ou issue d'un vol de reconnaissance préalable, est segmentée au poste, sans liaison en vol, par un modèle dont les classes recherchées se redéfinissent pour un théâtre donné sans réentraînement. Le résultat, recalé géographiquement et complété par le relief, donne une carte de franchissabilité. Sa limite est connue : elle décrit la nature du terrain, pas les obstacles à l'échelle du véhicule.

Planification de trajectoire optimisée. Sur cette carte, deux problèmes se posent. Optimiser un itinéraire entre points imposés, le coût n'étant plus la longueur mais la difficulté du terrain traversé : un détour par une piste vaut mieux qu'une traversée de talus. Ou couvrir une zone demandée, en tenant compte de l'autonomie du véhicule. Le résultat est une mission validée contre les capacités du robot, poussée avant projection et donc exécutable sans liaison. Cette

carte étant datée, elle ne peut qu'augmenter un coût, jamais déclarer un terrain franchissable : ce qui a changé depuis la prise de vue est traité à bord.

Conduite en temps réel. À bord, un ensemble de capteurs (télémétrie laser, caméras visibles et thermiques) alimente une chaîne de perception géométrique qui sépare le sol des obstacles, mesure le relief et détecte les creux, comme les fossés et les bords de falaise, que les approches usuelles ignorent. La voie thermique étend la conduite à la nuit et à la visibilité dégradée. La détection et la classification d'images y ajoutent la sémantique : elles distinguent ce qui est réellement infranchissable de ce qui ne l'est pas, à commencer par l'herbe haute, que la géométrie seule voit comme un mur et qui arrêtait le robot. Ce qui n'est pas reconnu reste traité comme un obstacle. Le tout alimente une carte de coûts, sur laquelle le chemin est planifié puis suivi. Chaque critère qui entre dans ce choix reste nommé, pondéré et désactivable.

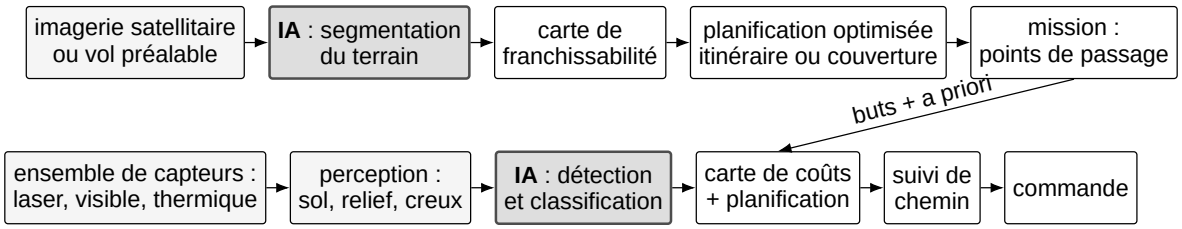

Figure 1. Haut : préparation hors ligne, au poste. Bas : conduite à bord, temps réel. Les deux briques d'IA (grisé) produisent du coût, jamais une commande.

Interface opérateur. L'objectif se désigne sur carte ou à la voix, par une reconnaissance vocale embarquée qui n'accepte qu'un vocabulaire restreint, sous confirmation. La supervision passe par une vue en réalité augmentée qui superpose au flux caméra ce que le robot a décidé, le terrain qu'il juge franchissable et le chemin qu'il suit, de sorte que l'opérateur le lise au lieu de le déduire. C'est le levier sur lequel nous comptons pour passer d'un opérateur par robot à un opérateur pour plusieurs.

Verrous traités. Le plus coûteux n'est pas l'obstacle manqué mais le faux obstacle : de l'herbe haute, une branche basse, de la poussière suffisent à faire voir un mur là où le véhicule passe, et le robot s'arrête pour rien : un faux positif immobilise la mission. C'est pourquoi la sémantique tranche là où la géométrie se trompe, sans jamais pouvoir déclarer un passage libre d'elle-même. Viennent ensuite les obstacles que les approches usuelles ne voient pas et que nous traitons désormais : les creux, fossés et bords de falaise, qui n'ont aucun volume à mesurer ; les pentes, qui ne sont pas des obstacles mais cessent d'être franchissables au-delà d'une limite propre au châssis ; les obstacles fins, ou vus une seule fois, qu'il faut garder en mémoire lorsqu'ils sortent du champ des capteurs ; et la distinction entre ce qui bouge et ce qui ne bouge pas, le terrain méritant de la patience quand un obstacle mobile exige de la réactivité. Restent la perte du GNSS, où le robot peut se croire loin d'un point qu'il occupe déjà, et l'autonomie de calcul : tout tourne à bord, liaison coupée.

Éléments de validation et maturité. La chaîne tourne en temps réel sur le calculateur embarqué du robot, et les comportements observés en mission sont rejouables. Les campagnes de l'été 2026 ont validé l'enchaînement de points de passage et la conduite en GNSS dégradé. Sont *pré-opérationnels*, en essais sur plateforme chenillée et sur quadrupède, la perception, la détection-classification, l'exécution d'itinéraire, la planification optimisée et la couverture de zone ; sont au stade de *prototype* la segmentation d'imagerie aérienne et satellitaire, qui alimentera cette planification, ainsi que la supervision en réalité augmentée ; reste au stade de *concept* la carte de franchissabilité partagée entre robots.

La présentation proposée serait un retour d'expérience : le découpage préparation / conduite et ce qu'il apporte en vérifiabilité, les verrous rencontrés sur le terrain, et des séquences de démonstrateur sur les deux plateformes.