

Fiabilité de la mesure de vitesse moyenne.



La vitesse moyenne sur un tronçon de route est le résultat d'une division de la distance parcourue par le temps mis à le parcourir. Chaque élément peut se mesurer séparément. La longueur du tronçon est un invariant qui se mesure une fois, la durée du trajet est une variable attachée au véhicule.

Il ne s'agit pas ici de mesurer au mètre près les 42,195 km qui font un marathon. Cette mesure pose bien des problèmes aux organisateurs.

Il ne s'agit pas non plus d'analyser les algorithmes utilisés par les sites de cartographies pour établir le temps probable qu'il faut pour faire un trajet de quelques heures à pied, en vélo, en train ou en transport en commun.

Il s'agit ici de mesurer la longueur d'un tronçon de quelques kilomètres et le temps de parcours réel des véhicules qui l'empruntent pour en déduire leur vitesse moyenne avec une précision de l'ordre de 2 ou 3 km/h. Une erreur de 1% équivaut à une incertitude de 100m sur un tronçon de 10km. On pressent que la mesure de distance n'est pas critique. Encore faut-il qu'elle soit fiable. L'expérience montre que les erreurs viennent souvent des actions manuelles réalisées par les opérateurs (installateurs, exploitants, mainteneurs). La mesure automatique fiable est possible et simple.



La mesure de la longueur d'un tronçon peut être réalisée très facilement avec, par exemple les outils de Google Earth (la règle ou le trajet), à condition de pointer méticuleusement et fréquemment dans les virages la route entre le début et la fin du tronçon. L'incertitude est faible (mieux que 1%) pour des tronçons de plus de 1 km. La méthode est insuffisante pour des tronçons plus courts car la précision des pointages aux extrémités dépendent de la définition photographique de l'image satellite offerte - Partout en France, Google ou IGN permettent de distinguer une voiture, c'est à dire un objet de 1,50m de large. Il est donc possible de situer le début et la fin du tronçon au mètre près..

Plus facilement encore, GoogleMap, par exemple, propose le calcul automatique entre deux points définis par leurs coordonnées, mais le résultat s'affiche en centaines de mètres, soit une définition suffisante pour les trajets de plus de 10km. Comparé à un itinéraire mesuré à 6,810 km à l'odomètre de géomètre (une roue calibrée à qui l'on fait suivre la route), GoogleMap donne une longueur de 6,9 km, soit une mesure à 1,5% près. L'odomètre ayant lui-même une exactitude à 0,5%, on peut dire que la précision mesurée au bureau avec un pointage manuel ou avec le calcul d'un moteur de recherche cartographique est meilleure que 2%.

Bien entendu, ce ne sont pas des procédés à retenir pour des systèmes de contrôle qui doivent recourir à des systèmes de mesure certifiés. Néanmoins, les technologies satellitaires permettent aujourd'hui de mesurer aussi précisément qu'une mesure «à la roulette», sous réserve d'une validation administrative du procédé...



Une **première méthode** consiste à utiliser un navigateur GPS (ou Galiléo dans le futur) et enregistrer la trace en se déplaçant du début à la fin du tronçon. Les expérimentations montrent que les points GPS ainsi établis et reportés sur une carte suivent bien la route, sans être forcément centrés sur celle-ci. La trace peut être parallèle à la route, à quelques mètres de celle-ci. Cette erreur, toujours dans le même sens, n'est pas gênante, puisqu'il s'agit d'une simple translation. Sur une ligne droite, on peut observer que la trace des points GPS est presque aussi rectiligne que la route, et non pas en dent de scie si l'on se réfère à la précision GPS sur un point unitaire. Quoi de plus normal, puisque les satellites ont tous une trajectoire rectiligne dans l'espace. La précision chronométrique relative des signaux reçus des 3 satellites nécessaires est très importante et l'erreur induite est négligeable..

Néanmoins, on peut observer de brusques sauts de translation, qui correspondent probablement au changement de constellation satellitaire, particulièrement en fond de vallée ou en ville. Dans ce cas, on peut observer une ou deux «dents de scie» suivies d'une translation de quelques mètres.

Le filtrage et le lissage de la trajectoire, par exemple avec un filtre de Kalman, assure une bonne reconstitution de la trajectoire, y compris si l'on dégrade volontairement les points GPS avec des erreurs aléatoires de plusieurs mètres.

Sur un parcours en boucle de plusieurs très sinueux et dénivelé, avec lacets et couverts végétal, l'expérimentation a montré des mesures successives groupées à moins de 1% d'incertitude par rapport à la mesure odométrique de référence. Ces bons résultats ne valident pas cependant pas la méthode, puisque rien ne certifie son universalité.

Une **deuxième méthode**, plus radicale, consiste à récupérer les vecteurs de la base de données IGN et à les additionner. La qualité de ces vecteurs est calibrée. Les «dents de scie» sont lissées, comme on peut le constater sur les routes de la BDCarto. L'erreur sur la longueur d'un tronçon est nettement inférieure à 1 %.

Le début et la fin du tronçon peuvent être définis par pointage manuel d'un repère sur la photo satellitaire (au mètre près comme vu précédemment). La projection orthogonale de ce repère sur le vecteur le plus proche permet de définir le vecteur initial ou final. Cette action manuelle comporte toujours un risque de mauvais repérage.

D'où l'intérêt de concevoir un repérage automatique du début et de la fin du tronçon réalisé par l'équipement de terrain lui-même, en l'équipant d'un GPS (ou Galiléo). La précision d'un pointage GPS sur un endroit fixe est de l'ordre du 1/10s d'arc, correspondant à environ 3m sous nos latitudes, si l'équipement attend quelques minutes pour établir le barycentre du nuage de points issu de quelques dizaines de relevés GPS.

Dans le cas des «radars tronçons», qui supposent que la longueur du tronçon contrôlé soient connue avec une précision de 3%, la procédure serait particulièrement intéressante. Les équipement de terrain du début et de fin de tronçon, munis d'un GPS fixe, génèrent des photos automatiquement horodatées et géolocalisées. Le système d'appairage des plaques minéralogiques, qui peut être mutualisé pour tous les sites de contrôles, dispose alors d'un moyen simple pour établir automatiquement la distance parcourue par le véhicule. Il convient seulement que les services de l'Etat reconnaissent la valeur juridique de la procédure.

Si le calcul ne tient pas compte des dénivelés, la distance sera mesurée plus courte que la distance réelle (environ 0,5% pour une rampe à 10%) et la vitesse moyenne calculée sera plus faible.

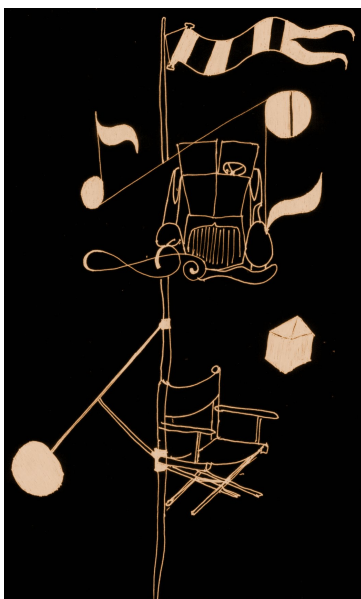


La mesure du temps repose sur des horodateurs à la même heure. Deux bons chronomètres indépendants dérivent et les procédures basées sur la mise à l'heure d'un équipement par l'autre équipement sont complexes et sujettes à caution (comme on peut le constater sur les stations de mesure de trafic dont l'horloge avance ou retarde souvent de plusieurs dizaines de secondes).

Si les chronomètres sont synchronisés par exemple 10 fois par heure sur un signal horaire universel, par exemple celui du GPS, on peut tabler sur une différence maximale de 1/100s entre les horodateurs. A 180km/h, le véhicule avance de 50m en une seconde (50cm en 1/100s). Si le signal horaire universel n'est pas reçu, ou fantaisiste du fait d'une défaillance de l'horloge interne, la mesure doit être automatiquement inhibée.

L'horodatage est réalisé automatiquement par le passage du véhicule. Encore faut-il s'assurer qu'il s'agit bien du même véhicule horodaté en entrée et en sortie du tronçon.

Le système habituellement retenu pour mesurer les temps de parcours sur une route difficile ou pour mesurer le temps de stationnement dans un parking et celui qui lit les plaques minéralogiques, avec un cryptage identique sur les deux équipements. Ces deux cryptogrammes identiques permettent à un équipement superviseur de réaliser les appairage et le calcul du temps de parcours sans accéder au numéro de plaque en clair.



La mesure photographique a ses limites, puisqu'il faut lire une plaque minéralogique au vol dans des environnements changeants. Autant l'on peut lire presque toutes les plaques avant des véhicules en entrée de parking, là où les véhicules roulent lentement et de façon très canalisée, avec des conditions de luminosités stables, autant on peut avoir de difficultés à lire une plaque à 180 km/h sur une route où la végétation provoque des ombres mobiles, où la pluie, le brouillard et la neige réduisent la visibilité, où le soleil ou les phares peuvent aveugler un appareil déporté latéralement et verticalement par rapport à la trajectoire, sans parler des salissures ou rivets ou crochets de remorquage qui masquent partiellement les plaques arrières, et des salissures ou rayures sur l'optique

Si l'équipement ne dispose pas de moyens de contrôle permettant de vérifier précisément tous les éléments du chemin optique (cadrage, netteté,...), on peut s'attendre à un taux de bonne lecture très faible. Si chaque équipement ne lit que la moitié des plaques, il n'y aura qu'un quart des véhicules mesurés ($0,5 \times 0,5 = 0,25$). C'est pour cela que l'analyse d'une vidéo est plus pratique que l'analyse d'une photo déclenchée : un fichier MJPEG du passage d'un véhicule permet de vérifier, image par image, qu'il existe bien une trame vidéo où la plaque est de taille suffisante dans l'image, qu'elle est correctement et continûment exposée et nette sur plusieurs trames successives.



Avec une caméra produisant 25 images par seconde, un véhicule roulant à 180 km/h véhicule progresse de 2m entre deux trames. La position du véhicule au moment où le logiciel décode le numéro n'est pas la même d'un véhicule à l'autre Une incertitude de 2 trames à chaque bout du tronçon correspond à 8m au maximum, soit une erreur non critique de 0,4% sur un tronçon de 2km, à ajouter au 1% d'erreur maximale sur l'odométrie.

En conclusion, la mesure de la vitesse moyenne automatique à l'aide de moyens satellitaires, avec l'objectif d'une erreur inférieure à 3% sur des tronçons d'une longueur supérieure au kilomètre est tout à fait envisageable :

- la mesure de la distance n'est pas une mesure critique. L'incertitude sur le début et la fin du tronçon est réduite. Au pire, il sera toujours temps de refaire la mesure. Les procédés simples ne manquent pas.
- Le chronométrage moderne et précis au 1/100s est très accessible.
- Deux photos vidéo automatiquement horo-localisées du même véhicule suffisent à faire établir, par un équipement externe connecté, son temps de parcours et sa vitesse moyenne sur le tronçon considéré.

G. Lemaitre

