

Le Simulateur de Boucles Informatisé de Laboratoire SIBIL

Jean BERTRAND
Chargé de recherche
Unité Propagation des ondes
Laboratoire régional des Ponts et Chaussées d'Angers

Philippe BRIQUET
Chargé de recherche
Section Exploitation de la route et visibilité
Division Exploitation, signalisation, éclairage
Laboratoire central des Ponts et Chaussées

RÉSUMÉ

Cet article présente un dispositif original de simulation de capteurs à boucles électromagnétiques excités par un trafic routier.

SIBIL (Simulateur de Boucles Informatisé de Laboratoire) permet de reproduire fidèlement, en laboratoire et au gré de l'utilisateur, la variation de self inductance observée *in situ* sur ces capteurs lors du passage d'un véhicule.

Le principe repose sur une commutation de selfs inductances élémentaires, pilotée par un micro-ordinateur, de façon à reproduire la variation d'inductance correspondant au phénomène physique réel.

On est ainsi en mesure de simuler un trafic en générant la signature électromagnétique d'un ensemble de véhicules pris dans une bibliothèque contenant les principaux véhicules constituant le parc actuel et que l'on peut enrichir.

Le système offre huit voies « capteurs » qui peuvent être indépendantes ou couplées deux à deux selon les besoins de l'utilisateur. Il est contrôlé par micro-ordinateur sous un logiciel spécifique, dont le rôle est de définir les caractéristiques d'un trafic et de commander les selfs élémentaires chargées de reconstituer en sortie le comportement des capteurs à boucles électromagnétiques sollicités par ce trafic.

SIBIL est donc un outil puissant et reproductible de développement ou de contrôle des détecteurs de trafic routier.

MOTS CLÉS : 85-73 - Appareil de mesure - Simulation - Capteur - Induction - Laboratoire - Trafic - Détection - Véhicule.

Introduction

À l'heure actuelle, en France, le recueil et l'analyse du trafic sont réalisés majoritairement à partir de capteurs à boucles inductives placés dans la chaussée. Ces capteurs sont associés à des détecteurs qui sont reliés à des systèmes logiques ou informatiques chargés de traiter les informations.

Le principe de la détection d'un véhicule est basé sur la variation d'inductance du capteur au moment du passage du véhicule. Cette variation dépend du type de véhicule et de sa vitesse. Fonction du temps, elle peut être définie comme étant la « signature électromagnétique » du véhicule.

On comprend aisément que ces phénomènes ne sont pas maîtrisables sur le terrain, faute de reproductibilité. Il est donc difficile d'effectuer des tests, de développement s'il s'agit d'un industriel, ou de contrôle s'il s'agit de qualifier ou réceptionner un produit. D'où l'intérêt de pouvoir disposer d'un simulateur qui permette de reproduire fidèlement en laboratoire et au gré de l'utilisateur le comportement des capteurs à boucles sollicités par des véhicules.

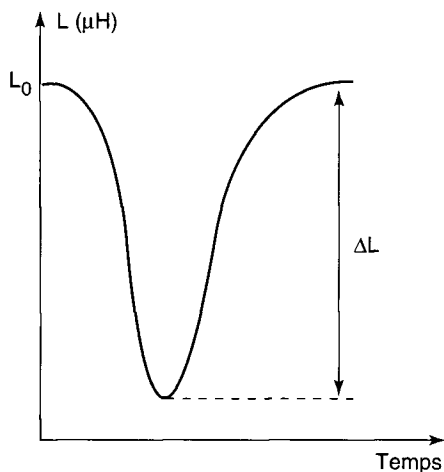
Le simulateur SIBIL (SIMulateur de Boucles Informatisé de Laboratoire), qui a été développé au Laboratoire régional des Ponts et Chaussées (LRPC) d'Angers, répond à cet objectif. Ce dispositif permet de reproduire les variations d'inductance simulant le passage des véhicules sur un ou plusieurs capteurs. La simulation s'effectue au moyen de petites selfs pilotées par un ordinateur dans lequel on a introduit une base de données contenant les signatures des véhicules à simuler. L'utilisateur est ainsi en mesure de générer un trafic sur des capteurs, avec des paramètres de vitesse, de débit ou de type de véhicules totalement maîtrisés. Cette simulation de capteurs est évidemment totalement reproductible.

Principe de détection électromagnétique des véhicules

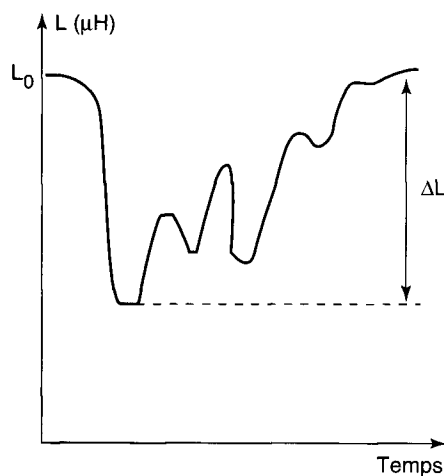
Le capteur à boucle inductive, appelé plus communément boucle électromagnétique, est constitué de quelques spires (généralement trois ou quatre) de fil conducteur disposées dans la chaussée pour former une bobine. Il est généralement de forme rectangulaire et placé à quelques centimètres de profondeur.

Son fonctionnement repose sur le principe de détection d'une masse métallique. La boucle est connectée à un circuit oscillant. Lorsqu'un véhicule (masse métallique) traverse le champ électromagnétique rayonné, on observe une variation de la self inductance de la bobine. Cette variation ΔL , qui est fonction du temps, dépend du type de véhicule et de sa vitesse (fig. 1). Elle définit ce qu'on appelle « la signature électromagnétique » du véhicule.

Fig. 1 - Exemples de signature électromagnétique



Véhicule léger.



Poids lourd.

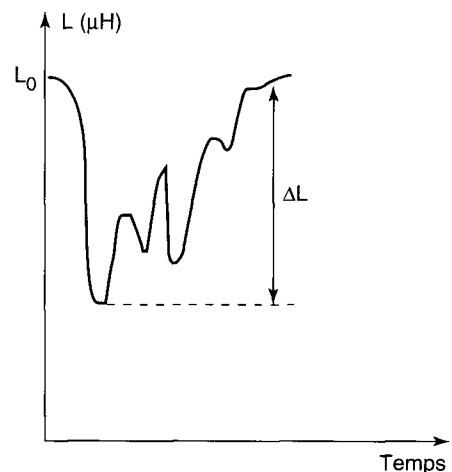
La signature électromagnétique d'un véhicule donné présente une amplitude constante, mais varie de manière homothétique dans le domaine temporel, en fonction de la vitesse de ce véhicule. La figure 2 illustre cette propriété d'homothétie. À noter cependant que, si le véhicule ne passe pas selon l'axe du capteur et ne le chevauche que partiellement, la variation ΔL sera plus petite, dans un rapport proportionnel au degré de chevauchement.

Architecture du simulateur

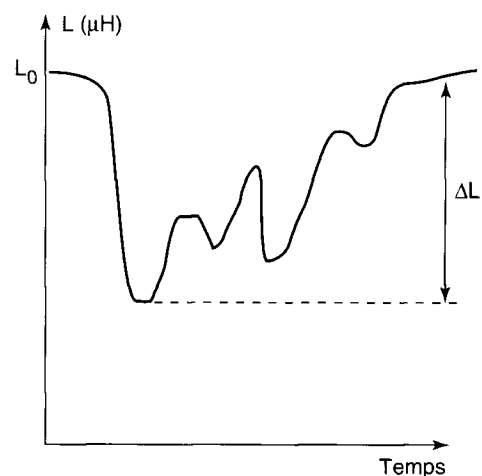
L'architecture de SIBIL apparaît sur la figure 3. Elle est composée :

- d'une partie logicielle dont le rôle est de gérer les signatures à reproduire et de commander leur mise en forme (micro-ordinateur de type PC) ;
- d'une partie matérielle constituée de huit modules de conditionnement, dont la sortie est équivalente à des capteurs « fictifs » (cartes électroniques).

Fig. 2 - Signature électromagnétique d'un poids lourd circulant à 100 km/h ou à 60 km/h



100 km/h.



60 km/h.

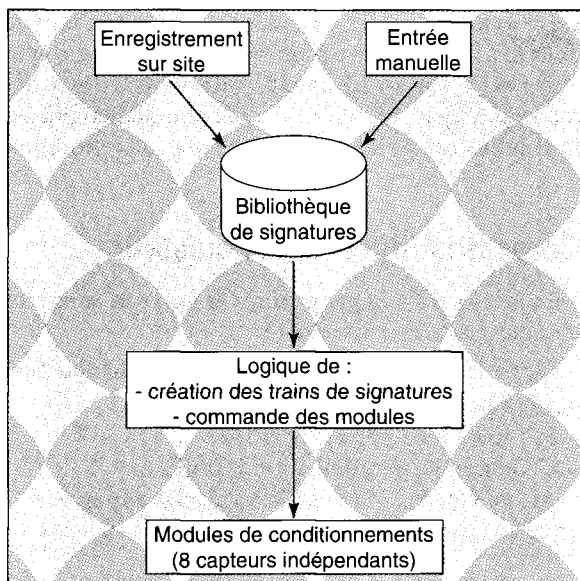


Fig. 3 - Architecture de SIBIL.

Bibliothèque de signatures

On a vu que la signature électromagnétique d'un véhicule est une caractéristique intrinsèque du véhicule. L'amplitude maximale est indépendante de la vitesse et reste constante. La durée de la signature suit une loi d'homothétie proportionnelle à la vitesse du véhicule. Par conséquent, les signatures des différents véhicules peuvent s'intégrer dans une base de données, dans laquelle on viendra « puiser » pour reproduire les signatures des véhicules qu'on souhaite simuler.

Pour des raisons pratiques, les signatures de l'ensemble des véhicules ont été « normalisées ». Elles occupent ainsi une même taille mémoire au sein de la base.

La signature « normalisée » d'un véhicule est définie essentiellement comme étant celle qu'il présenterait s'il mesurait 18,5 m de longueur et s'il circulait à une vitesse de 3 km/h sur une boucle de 1,5 m de largeur dans le sens de la circulation.

À partir de cette signature « normalisée », on peut retrouver la signature réelle du véhicule, dont la longueur est l (m) dans la réalité, quelle que soit sa vitesse V (km/h). Il suffit d'appliquer, selon l'échelle des temps, le rapport d'homothétie K tel que :

$$K = \frac{l}{(18,5 + 1,5)} \times \frac{3}{V}$$

La bibliothèque de signatures « normalisées » a été constituée à partir de signatures réelles enregistrées sur site. Elle contient environ 180 véhicules dont 100 poids lourds. Mais on peut aussi l'enrichir avec des signatures créées manuelle-

ment grâce à l'éditeur graphique de SIBIL. Ces signatures théoriques sont particulièrement intéressantes pour analyser les performances des détecteurs si on leur donne des formes particulières, comme par exemple une rampe ou un créneau.

Logique de création de « trains » de signatures

En faisant se succéder les signatures de véhicules, selon certains critères de répartition ou de choix, on obtient une sorte de « train » de signatures qui, de fait, est équivalent au comportement d'un capteur à boucle électromagnétique sous un trafic donné.

La reconstitution d'un trafic comporte deux étapes.

❶ Choix des types de véhicules à simuler et des vitesses associées pour déterminer les signatures à reproduire.

❷ Définition de la distribution temporelle des signatures :

- les véhicules peuvent être répartis régulièrement dans un intervalle de temps donné (option **débit**) ;
- les véhicules peuvent se succéder selon des distances prédéfinies (option **distance intervéhiculaire**) ;
- le débit et la distance intervéhiculaire peuvent être prédéfinis (option **débit + distance intervéhiculaire**).

Ces trains de signatures sont affectés aux différentes voies du simulateur pour constituer ce qu'on appelle un « test ». Les voies peuvent être indépendantes, donc présenter des trains de signatures différents. Mais elles peuvent aussi être couplées deux à deux, c'est-à-dire présenter le même train de signatures, décalé temporellement en fonction de la distance interboucles et de la vitesse. Un test peut aussi être mixte et comporter à la fois des voies indépendantes et des voies couplées.

Logique de commande des modules de sorties

Le pilotage des modules de sorties, qui constituent de fait les capteurs simulés, est effectué par le micro-ordinateur. Le processus est le suivant : le « test » (tel qu'il a été défini précédemment) est placé en mémoire vive. Il contient toutes les informations concernant l'état des relais des modules de conditionnement à un instant donné. Ces informations sont ensuite envoyées périodiquement toutes les 2 ms aux modules de sorties, *via* une carte d'interface parallèle.

Caractéristiques du logiciel

La gestion des signatures, des tests et de la commande des modules de sorties est effectuée au moyen d'un code écrit en langage C. De nombreux menus déroulants ainsi qu'une large utilisation des fonctions graphiques facilitent grandement l'utilisation de SIBIL et contribuent à lui donner une ergonomie appréciable. La figure 4 donne des exemples de copie d'écran.

Modules de conditionnement

C'est la partie matérielle du système. Chaque sortie de l'ensemble des huit modules est équivalente à une boucle électromagnétique.

Un module est constitué d'une suite de selfs inductances placées en série, chacune de ces selfs étant associée à un relais qui viendra ou non la court-circuiter (fig. 5). L'état des relais est rafraîchi toutes les 2 ms, ce qui permet d'obtenir par échantillonnage temporel une fluctuation de self, celle-ci étant contrôlée par le logiciel.

Les modules sont indépendants ou éventuellement couplés. Ils restent néanmoins parfaitement synchrones, c'est-à-dire que le rafraîchissement des relais à chaque période s'effectue simultanément sur la totalité des relais de l'ensemble des modules.

Caractéristiques du simulateur

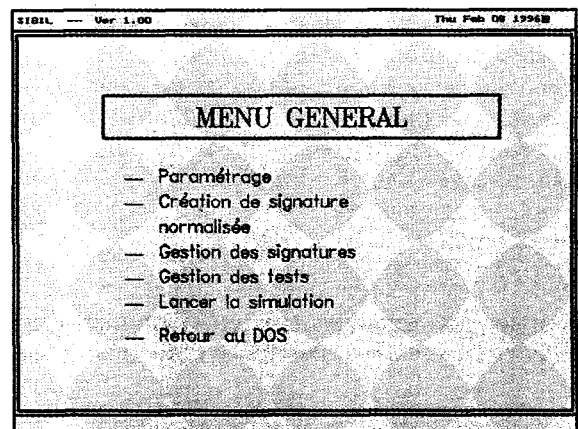
Chaque sortie « capteur équivalent » présente les caractéristiques suivantes :

- L_0 (self au repos) : 50, 100 ou 200 μH à définir par l'utilisateur,
- R (résistance série) : < 10 Ω ,
- C (capacité parallèle) : < 150 nF,
- ΔL maximale : 10 % de la valeur L_0 au repos,
- ΔL minimale : 0,1 μH .

Les paramètres de simulation peuvent être définis à l'intérieur des limites suivantes :

- nombre maximal de signatures simulables (véhicules) dans un « test » : 100 (sous réserve d'une mémoire RAM suffisante, supérieure ou égale à 4 Mo).

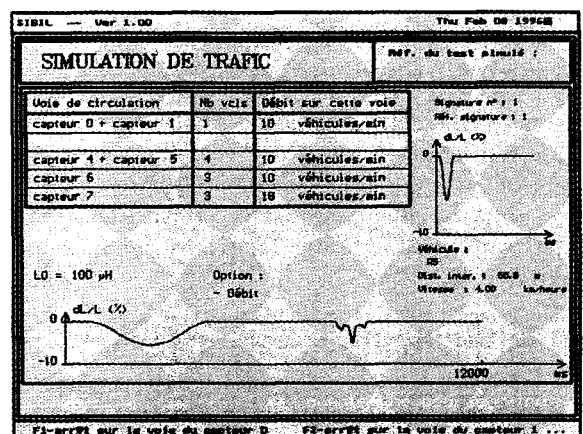
Fig. 4 - Exemples de copie d'écran de SIBIL



Menu général.



Écran d'accueil.



Écran de présentation d'un « test » avant lancement de la simulation.

- vitesse d'un véhicule : comprise entre 0,55 et 250 km/h,
- largeur de boucle : modulable entre 0,50 et 10 m,
- distance interboucle : modulable entre 1 et 20 m,
- distance intervéhiculaire entre la largeur de boucle et 280 km,
- reconstitution du trafic selon trois modes au choix : **débit** (véhicules équirépartis dans un intervalle de temps), **distance intervéhiculaire** (véhicules répartis selon des distances prédéfinies) ou **débit + distance intervéhiculaire** (véhicules répartis en fonction d'un débit et des distances prédéfinies).

Les modules de conditionnement sont intégrés dans un coffret métallique (L = 365 × H = 145 × P = 270 mm) (fig. 6), relié au micro-ordinateur par un câble « nappe ».

Conclusion

SIBIL permet de maîtriser et de reproduire en laboratoire le comportement de boucles inductives sous l'effet d'un trafic quelconque. On s'affranchit ainsi des aléas, souvent fréquents, que l'on peut rencontrer en trafic réel. À ce titre, c'est un outil puissant qui n'a pas d'équivalent à notre connaissance. Ce simulateur, dont la construction est assurée par le Centre d'études et de construction de prototypes d'Angers, intéresse les personnes travaillant au développement des détecteurs associés aux boucles électromagnétiques. La figure 7 illustre un exemple dans lequel on compare la réponse de trois détecteurs de marque différente, sollicités par une même signature électromagnétique produite par SIBIL. Il est destiné également à la qualification des détecteurs et semble tout à fait adapté à devenir un banc de tests des détecteurs à boucles inductives pour des besoins de qualification des produits.

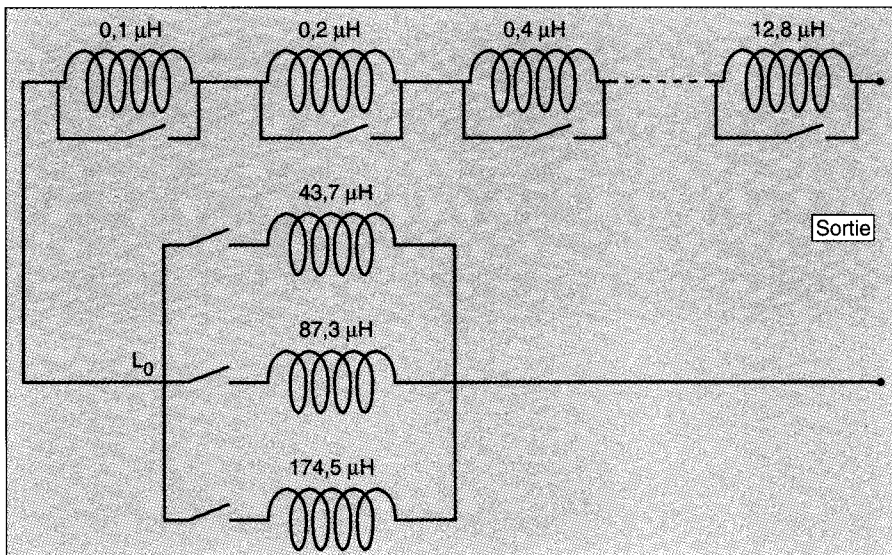


Fig. 5 - Schéma de structure d'un module.

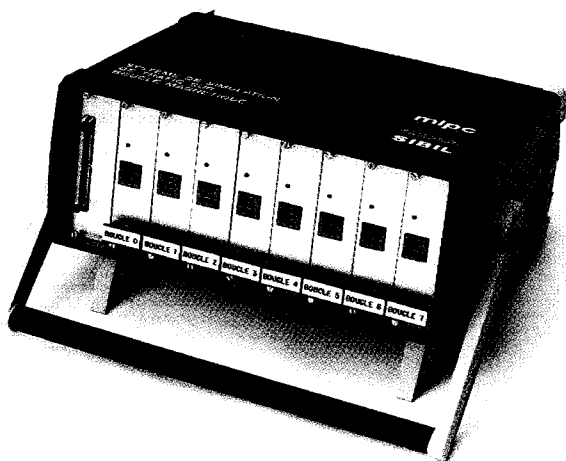


Fig. 6 - Simulateur SIBIL.

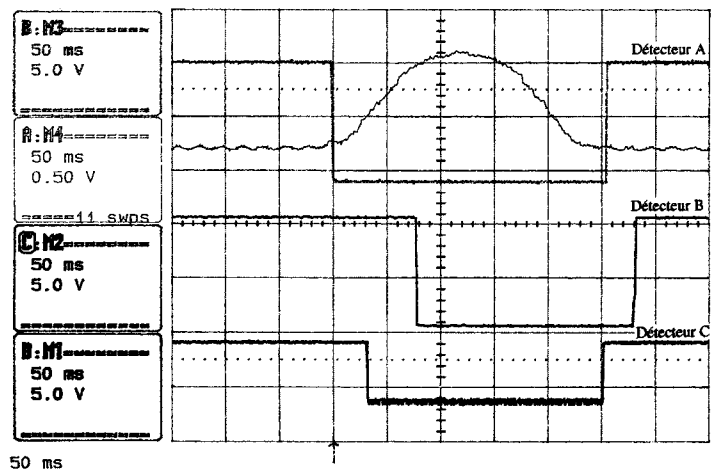


Fig. 7 - Étude comparative de la réponse de trois détecteurs à une même sollicitation générée par SIBIL.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] DELTOMBE J.-F., GIROT D. (1985), *Discrimination de différents types de véhicules à partir de l'analyse d'une signature fournie par une boucle électromagnétique*, compte rendu du Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Rouen, sept.
- [2] GIMENEZ F. (1990), *Étude d'un simulateur de véhicules pour détecteur électromagnétique à analyse de signatures*, Université Aix-Marseille II Luminy, juin.
- [3] BERTRAND J. (1994), *Recueil des signatures électromagnétiques des véhicules*, Compte rendu du Laboratoire régional des Ponts et Chaussées d'Angers, mars.
- [4] BRIQUET P., BERTRAND J. (1994), SIBIL, *Simulateur de boucles informatisé de laboratoire*, Revue générale des routes et aérodromes, **715**, p. 61.
- [5] BERTRAND J., BRIQUET P. (1994), SIBIL, *Simulateur de boucles informatisé de laboratoire*, Journées des sciences de l'ingénieur, **Vol. 2**, oct., pp. 201-207.
-

ABSTRACT

The Laboratory Computerised Loop Simulator SIBIL

J. BERTRAND - Ph. BRIQUET

This article describes an original device that simulates electromagnetic loop sensors activated by road traffic.

SIBIL (French acronym for Laboratory Computerised Loop Simulator) reproduces faithfully, in the laboratory and whenever desired by the user, the self-inductance variation observed *in situ* on these sensors when a vehicle passes.

The principle is based on the switching of basic inductance coils driven by a microcomputer so as to reproduce the inductance variation corresponding to the real physical phenomenon.

It is thus possible to simulate traffic by generating the electromagnetic signature of a set of vehicles taken from a library containing the main vehicles on the road today and which can be extended.

The system offers eight « sensor » channels which may be independent or coupled two-by-two depending on user requirements. It is controlled by a microcomputer under specific software whose rôle is to define the characteristics of traffic and to control the basic coils designed to reconstitute at the output the behaviour of the electromagnetic loop sensors activated by this traffic.

SIBIL is thus a powerful and reproducible tool for development or for the checking of road traffic detectors.