

Mise en service de la station d'étude des systèmes de localisation Sessyl

François PEYRET
Chargé de recherche 1
Chef de la Section

Charles LEMAIRE
Technicien supérieur

David BÉTAILLE
Chargé de recherche 2

Section robotique de chantier
Division Méthodes et matériels de construction et d'entretien des routes
Laboratoire central des Ponts et Chaussées
Centre de Nantes

Note

technique

Introduction

Le 10 novembre 1995 a été présentée à différents industriels des secteurs concernés, ainsi qu'aux partenaires privilégiés du Laboratoire central des Ponts et Chaussées (LCPC), la nouvelle station d'études dédiée à la localisation dynamique des engins de génie civil.

Les participants ont manifesté un vif intérêt tant pour l'équipement lui-même que pour les recherches qui s'y rattachent.

Cet outil, sans équivalent connu, a été imaginé en 1991, à l'époque de la préparation du thème de recherche *Robotique de chantier*, dans le but de servir de colonne vertébrale aux actions qui y étaient programmées. Le sujet central de ce thème de recherche s'intitulait en effet *Localisation*, cette fonction étant ensuite mise au service de différentes applications dans les domaines du répandage et du compactage par exemple.

Outre ce rôle, ce banc permet :

- d'exercer une veille technologique extrêmement fine sur le domaine ;
- d'initier nos équipes aux délicats problèmes du positionnement des engins, dans des conditions proches de celles du chantier ;

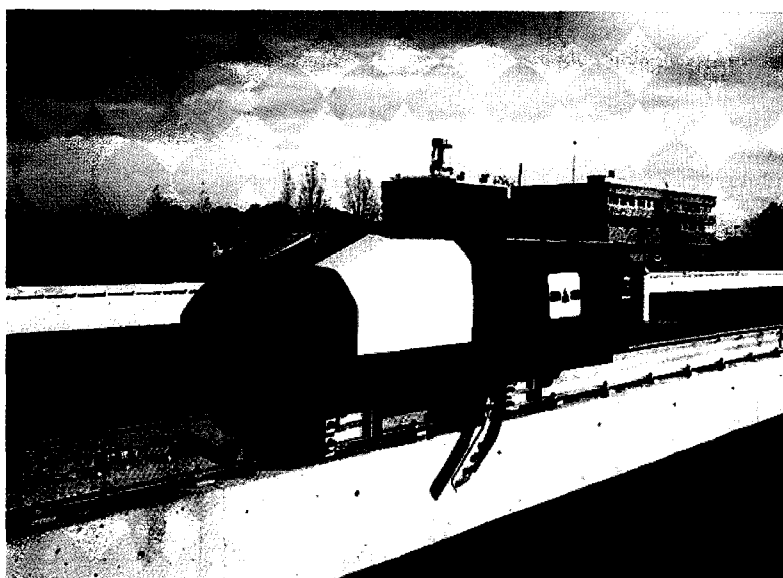


Fig. 1 - Le chariot de Sessyl circulant sur son rail.

- de participer à de nombreux projets de recherche et développement dans le secteur ;
- d'accompagner efficacement nos propres projets de recherche appliqués.

Présentation de la station Sessyl

La station se compose :

- > d'une piste constituée d'un rail métallique chevillé sur un muret en béton,

- > d'un chariot mobile circulant sur le rail et muni d'une plateforme trois axes motorisée,
- > d'un système d'acquisition en temps réel embarqué,
- > d'un logiciel de traitement des mesures en temps différé.

La figure 1 montre le chariot évoluant sur son rail au cours d'un essai.

La figure 2 présente la vue en plan du circuit, une coupe du chariot et ses principales caractéristiques physiques.

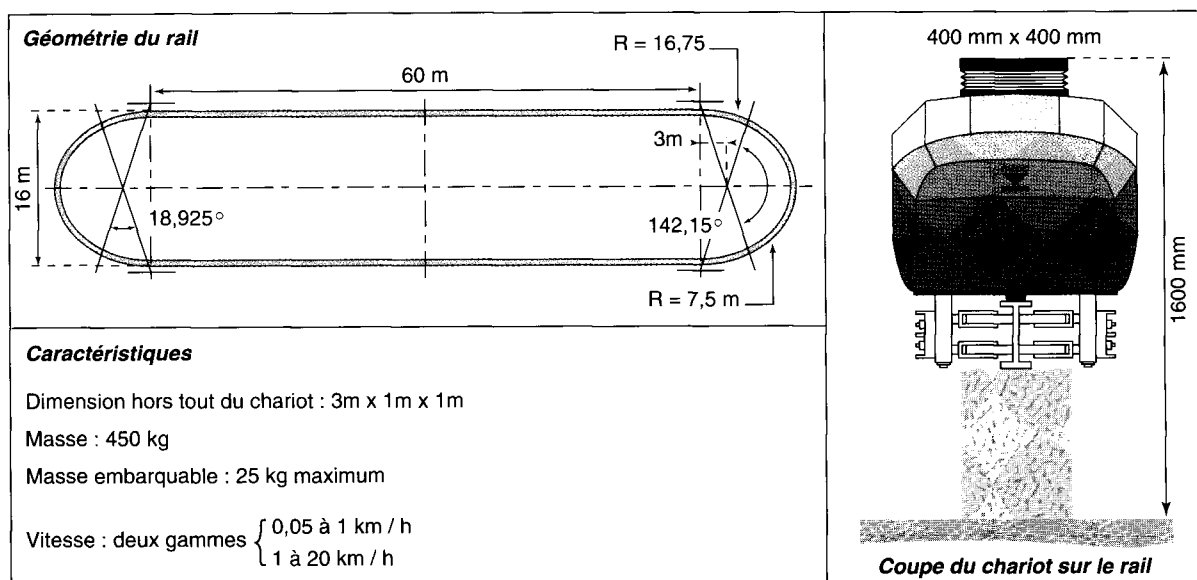


Fig. 2 - Dimensions et principales caractéristiques physiques de Sessyl.

Le chariot et le logiciel embarqué ont été étudiés et réalisés par le Centre d'Études et de construction de prototypes (CECP) de Rouen (centre spécialisé du METT, sous la tutelle technique du LCPC), sur un cahier des charges du LCPC.

Principe de fonctionnement

Le principe général consiste à faire décrire au système de localisation en essai une trajectoire programmée et parfaitement définie.

À cette trajectoire, dite « de référence », est ensuite comparée la trajectoire mesurée par le système en essai. La comparaison renseigne sur la qualité du système évalué. Elle peut être effectuée soit globalement, soit point à point.

Toute la difficulté consiste en la détermination de la trajectoire de référence qui est obtenue par une succession de mesures et de traitements.

Les repères utilisés

La figure 3 représente une vue en plan de la piste de Sessyl et des principaux repères utilisés.

➤ Le référentiel absolu R_0 est un référentiel soit spatial de type *World Geodetic System* (WGS) 84

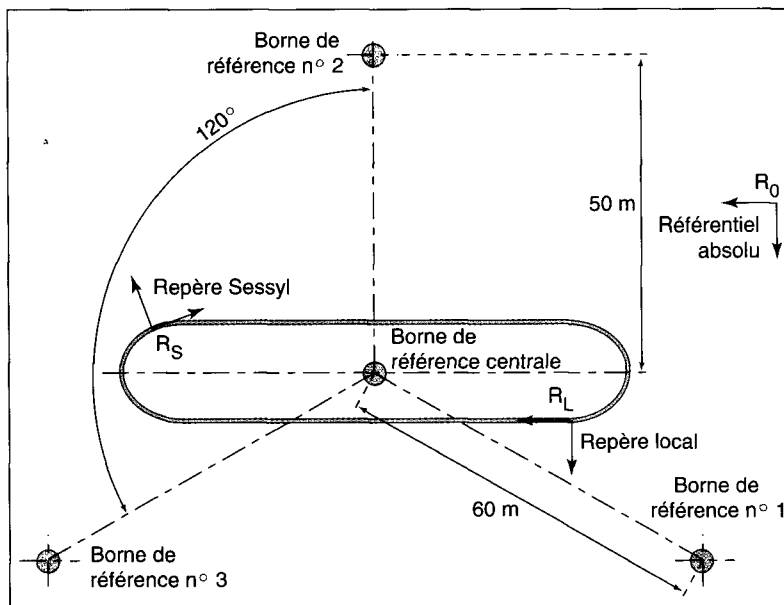


Fig. 3 - Rappel des principaux repères de Sessyl.

(un point dans ce référentiel s'exprime généralement en coordonnées tridimensionnelles géographiques : longitude, latitude et hauteur au-dessus d'un ellipsoïde modélisant la surface terrestre), soit terrestre de type projection Lambert + niveau NGF.

➤ Le repère local R_L est un repère orthonormé vertical lié au rail, qui est utilisé pour la comparaison des mesures du système essayé et des données de référence de Sessyl.

➤ Le repère Sessyl R_S est un repère orthonormé mobile lié au chariot, donc tournant avec lui pendant l'essai.

➤ Le repère plate-forme R_P , non représenté sur la figure précédente, est le repère attaché à la plate-forme sur laquelle sont montés les capteurs à essayer sur Sessyl. Son origine se trouve physiquement sous la surface de montage, mais l'axe $\rightarrow Z_P$ la traverse en son centre géométrique.

➤ Le repère capteur R_C est un repère dont l'origine est au point de mesure du capteur et dont les axes sont orientés suivant les axes sensibles du capteur, quand celui-ci est conçu pour mesurer des angles d'attitude. Généralement, ce repère se déduit du repère précédent par une simple translation verticale.

Sur la figure 4, on peut voir un exemple de montage d'un capteur sur la plate-forme (ici une antenne GPS) et la position des deux repères R_P et R_C .

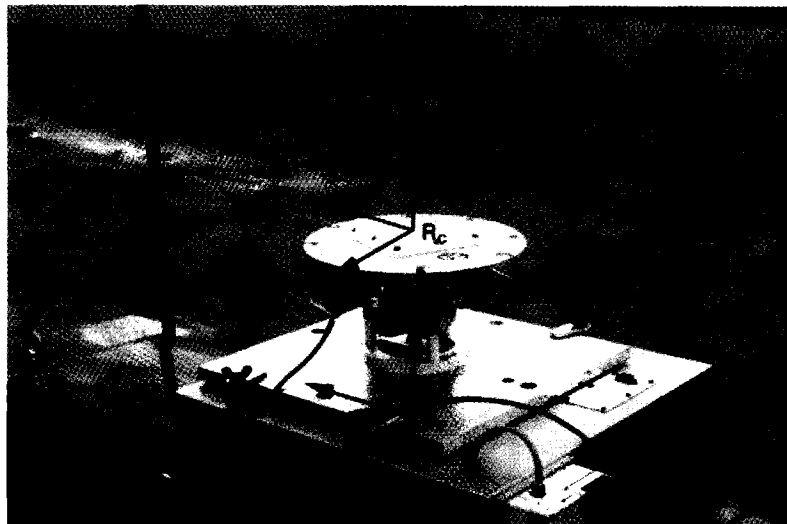


Fig. 4 - Montage sur la plate-forme d'un capteur GPS.

Obtention de la trajectoire de référence

Remarque préliminaire : La fonction d'enregistrement synchrone de Sessyl permet d'acquérir simultanément les mesures du système en essai et celles des capteurs internes du chariot en les synchronisant sur l'abscisse curviligne.

Ce choix d'une « synchronisation spatiale » et non temporelle nous affranchit des problèmes liés au décalage des horloges de Sessyl et du système en essai.

Une trajectoire est une suite de données ordonnées de la forme :

S	X	Y	Z	R	T	L
S_1	X_1	Y_1	Z_1	R_1	T_1	L_1
S_2	X_2	Y_2	Z_2	R_2	T_2	L_2
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots

Chaque ligne i correspond à une position donnée du chariot sur le rail.

➤ La première colonne est l'abscisse curviligne S_i du chariot au point considéré. Cette abscisse curviligne joue le rôle d'horloge dans toutes les procédures de Sessyl.

➤ Les trois colonnes suivantes sont constituées des coordonnées X, Y, Z de l'origine du repère R_C dans le repère R_L .

➤ Les trois autres colonnes sont constituées des angles de lacet, roulis, tangage du repère R_C dans le repère local R_L .

Mathématiquement parlant, ces six paramètres représentent les six paramètres indépendants de la matrice homogène ${}^L T_C$ qui permet de passer du repère R_C au repère R_L .

Il y a donc bijection entre chacune des lignes ($X_i, Y_i, Z_i, L_i, R_i, T_i$) d'une trajectoire et la matrice de transfert associée $({}^L T_C)_i$, correspondante.

La figure 5 schématise le principe de traitement des mesures de Sessyl.

Le traitement se résume à l'obtention et à la comparaison de deux successions de matrices de transformation $({}^L T_C)_i$, obtenues de deux façons différentes.

➤ Les matrices $({}^L T_C)_i$ obtenues par la branche de gauche du schéma : ${}^L T_C = {}^L T_0 * {}^0 T_C$ (ce sont les mesures du capteur ramenées dans le repère local).

➤ Les matrices $({}^L T_C)_i$ obtenues par la branche de droite du schéma : ${}^L T_C = {}^L T_S * {}^S T_P * {}^P T_C$ (ce sont les mesures internes de Sessyl et les données d'étalonnage qui permettent de calculer la trajectoire de référence).

– ${}^L T_S$: trajectoire étalon du rail obtenue par une succession de mesures statiques réalisées à l'aide d'une station optique de grande précision Sokkia NET 2 et de deux inclinomètres asservis,

– ${}^S T_P$: mesures du mouvement relatif de la plate-forme par rapport au chariot effectuées en temps réel par les capteurs internes de la plate-forme,
– ${}^P T_C$: matrice constante caractérisant la position relative du capteur sur la plate-forme.

Le logiciel de dépouillement

Celui-ci a été développé sur station de travail sous l'environnement Matlab.

Il est alimenté par les fichiers suivants, entrés sous la forme standard décrite plus haut :

– ${}^0 T_C$: mesures dynamiques du système de localisation en essai ;
– ${}^S T_P$: mesures dynamiques des capteurs internes de Sessyl.

Il possède les fichiers de mesures statiques ${}^L T_0$, ${}^P T_C$ and ${}^L T_S$ en mémoire.

Le logiciel permet de :

➤ reconstruire la trajectoire de référence ;

➤ reconstruire la trajectoire du capteur ;

➤ afficher ces deux trajectoires, avec superposition possible des deux courbes ;

➤ comparer globalement ou point à point ces deux trajectoires (deux fichiers d'écart sont créés et peuvent être sauvegardés) ;

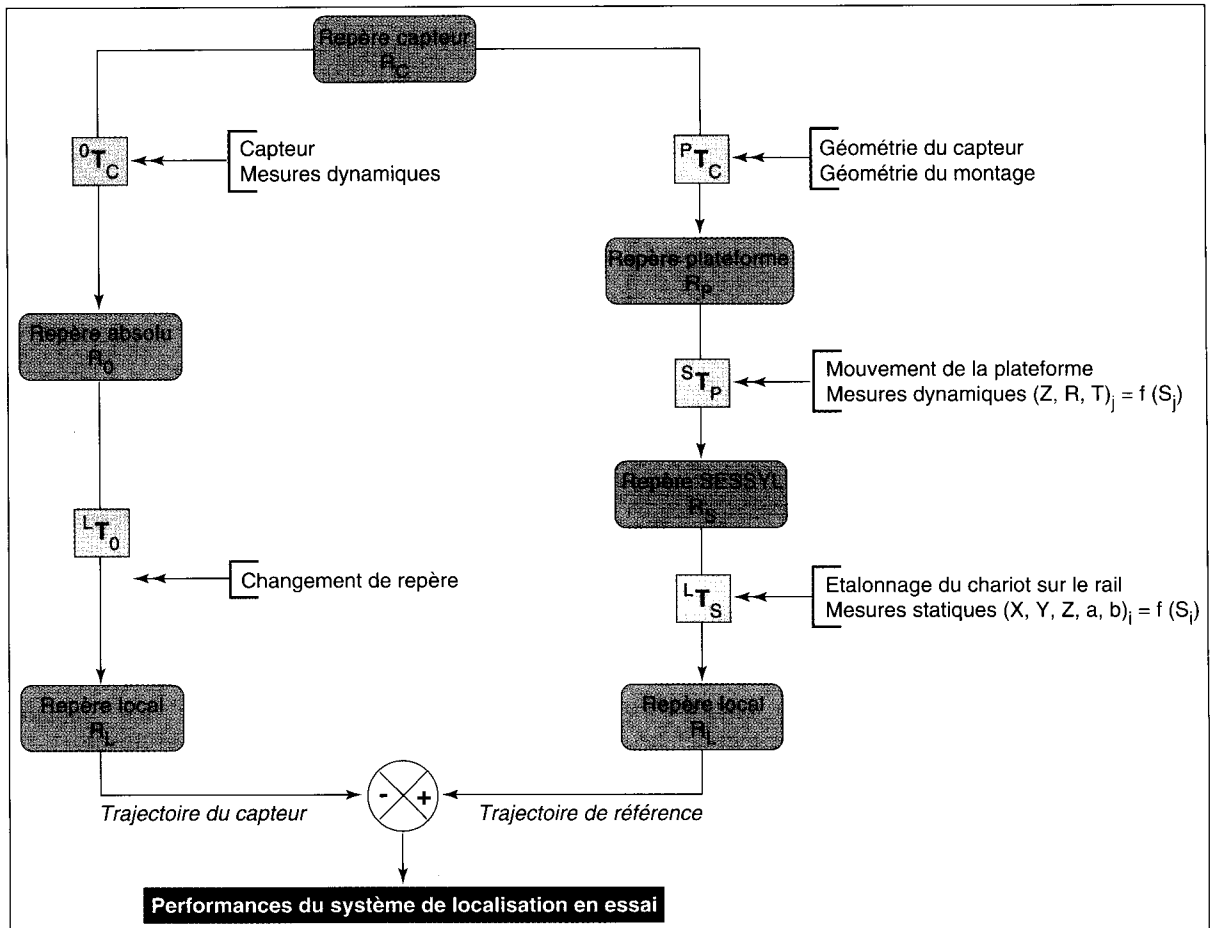


Fig. 5 - Les traitements effectués par Sessyl.

➤ afficher les écarts :

- issus de la comparaison globale (graphiques d'écarts et représentation vectorielle dans un plan normal à la trajectoire) ;
- issus de la comparaison point à point (graphiques d'écarts) ;

➤ calculer certains indices statistiques sur les écarts (moyenne et écart type par tronçon) ;

➤ afficher certains autres paramètres que les coordonnées ou les angles d'attitude qui sont fournis par le système en essai (par exemple les données relatives aux satellites pour les systèmes GPS, des informations de vitesse, etc.).

Le logiciel est bien entendu évolutif et fait l'objet d'améliorations permanentes. En particulier, de nouveaux modules de traitement et de modélisation statistiques sont en cours d'implantation.

Déroulement d'un essai

Mise en œuvre

Avant toute chose, il faut définir le programme d'essai et établir le plan d'expérience. Ce plan d'expérience est décrit sous la forme d'une succession d'essais élémentaires, appelés « rafales » dans le vocabulaire de Sessyl. Une rafale peut correspondre à un seul ou à plusieurs tours de piste du chariot.

Ces rafales sont programmées au bureau, sur le micro-ordinateur amovible de Sessyl, appelé « PCA », à l'aide d'un utilitaire adéquat. Pour chaque rafale, les quatre mouvements : vitesse du chariot, déplacement vertical, roulis et tangage de la plateforme doivent être décrits en fonction de l'abscisse curviligne.

Il faut également écrire dans le programme général de Sessyl le module d'acquisition en temps

réel adapté au système en test et le compiler avec l'ensemble des autres modules.

Une fois le chariot installé sur le rail, le PCA remonté sur sa station d'accueil et le capteur de localisation installé, le programme général est transféré sur un autre micro-ordinateur, appelé « PCP ».

Dès son lancement, celui-ci commence par réaliser la procédure d'initialisation qui place le chariot et la plate-forme sur les positions d'origine.

On choisit alors la rafale à exécuter et on lance l'essai proprement dit, qui se déroulera automatiquement.

La rafale choisie est d'abord transformée en fichier exécutable par le PCP, qui joue dans Sessyl le rôle d'un automate. Le chariot démarre, exécute les mouvements programmés, s'arrête en fin de cycle et transfère toutes ses données sous un format standard dans le répertoire adéquat.

TABLEAU I
Essais réalisés

Système	Mode	Date
GPS ASHTECH Z-12	Cinématique temps différé	novembre 1994
GPS ASHTECH Z-12	Cinématique temps-réel (RTK) avec initialisation « on the fly » (OTF)	août 1995
GPS SERCEL KART	RTK OTF	novembre 1995
GPS TRIMBLE 4000 SSi	RTK OTF	novembre 1995
GPS GEOTRONICS 2000	RTK OTF	novembre 1995
GPS TRIMBLE 7400 MSi	RTK OTF « boîte noire » dédié au guidage d'engins acquis récemment par le LCPC	février-mars 1996

Dépouillement

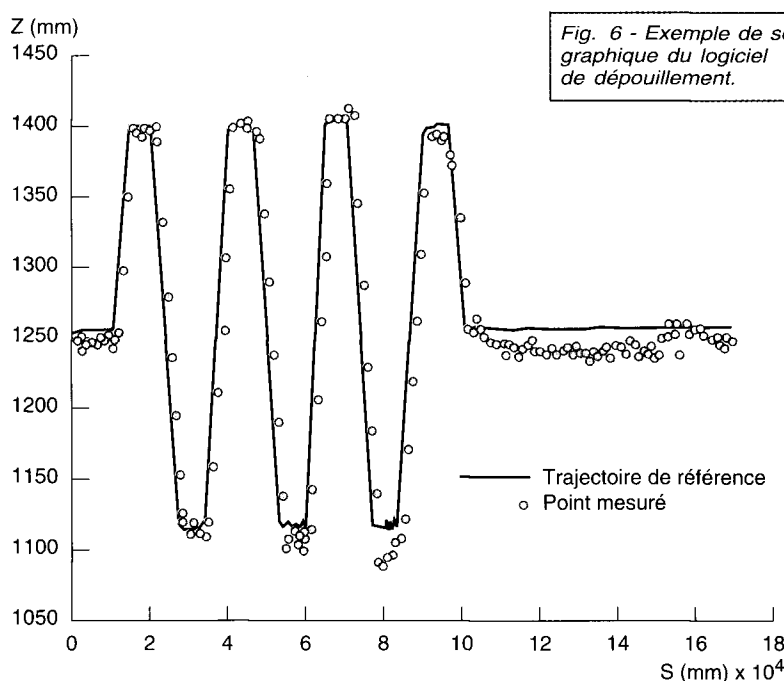
Les fichiers dynamiques de mesure brutes, provenant du système essayé et des capteurs internes de Sessyl, subissent d'abord une première phase de pré-traitement pour pouvoir être traités par le logiciel de dépouillement.

Au cours de cette phase, on reconstitue l'abscisse curviligne exacte à partir des informations délivrées par le codeur existant dans les deux fichiers et à partir du fichier d'étalonnage des « barrières optiques ». Ce fichier contient les abscisses curvilignes exactes de 14 barrières optiques réparties uniformément le long de la piste et qui sont lues par le chariot pendant l'essai. Cette solution a été choisie pour pouvoir prendre en compte d'éventuels glissements ou dérives du codeur. La procédure peut être exécutée sous Excel ou automatiquement par un programme adapté écrit en langage C.

Les fichiers, munis de cette première colonne leur donnant le statut de « trajectoire » au sens défini plus haut, sont alors aptes à être chargés et manipulés par le logiciel de dépouillement.

Un exemple de sortie graphique est donné sur la figure 6.

Remarque : On peut mettre en évidence sur cet exemple, par le décalage entre les points mesurés et la référence le long des rampes, le retard apporté par la chaîne de mesure GPS.



Essais réalisés

Le tableau I donne la liste des systèmes testés sur Sessyl depuis sa mise en service.

Conclusion

Comme il a été remarqué en introduction, Sessyl offre plusieurs champs d'action.

Pour la recherche propre au LCPC, la station fournit un support précieux pour les projets d'études relatives au guidage des engins routiers. À titre d'exemple, elle a été largement mise à contribution pour l'étude de faisabilité du guidage des machines de répandage par GPS que nous avons menée en collaboration avec l'École supérieure

des géomètres et topographes (ESGT) et l'entreprise Colas au premier semestre 1996.

Dans le cadre de projets de recherche et développement en partenariat, Sessyl permet de proposer la participation du LCPC en qualité d'expert en matière de localisation dynamique et de prestataires d'essais. C'est, par exemple, le cas dans le projet *Computer Integrated Road Construction* (CIRC) soumis au troisième appel d'offres Brite-EuRam.

Du point de vue de la veille technologique, indispensable dans le cadre très appliqué de nos recherches, Sessyl permet de recueillir des informations très tôt, souvent « en avant-première », sur les nouveautés produites par la plupart des constructeurs.