

Dossier technique

S E R P E N T I N E



Un moyen de transport public
économique,
écologique
et efficace.



Rapport technique Serpentine, Avril 2003

Table des Matières

1. Introduction.....	2
2. Alimentation, propulsion et guidage de la capsule.....	4
2.1. Spécificités techniques.....	4
2.2. Moteurs électriques.....	4
2.3. MagnétoGlisseur®.....	4
2.4. Guidage.....	5
2.5. Gestion du système.....	5
3. Installation de démonstration.....	6
4. La capsule Serpentine.....	8
4.1. La vitesse de la capsule.....	8
4.2. Le dimensionnement des capsules.....	8
4.3. La conception des capsules.....	9
4.4. La sécurité embarquée.....	10
4.4.1. Sécurité intrinsèque.....	10
4.4.2. Capteurs de sécurité.....	11
5. La gestion d'une ligne ou d'un réseau.....	13
5.1. Gestion simple.....	13
5.1.1. En quai continu.....	13
5.1.2. Circuit cadencé.....	13
5.2. Gestion dynamique: origine destination.....	14
5.3. Circulation individuelle.....	15
6. Interface utilisateur.....	16
6.1. Méthodes de paiement.....	16
6.1.1. Monnaie et jeton.....	16
6.1.2. SMS (Short Message Service).....	16
6.1.3. Carte magnétique.....	16
6.2. Informations à l'utilisateur.....	17
6.2.1. Borne de station d'arrêt.....	17
6.2.2. Dans la capsule.....	17
7. Application à Lausanne-Ouchy.....	18
8. Conclusion.....	20
9. Fiche technique.....	21

1 Introduction

Le développement des transports collectifs urbains, dont l'un des rôles majeurs est de diminuer les nuisances du trafic individuel motorisé, a ses limites : toute amélioration des fréquences, synonyme d'attractivité, entraîne forcément une augmentation des charges d'exploitation qui aujourd'hui grèvent lourdement les budgets publics. Dans le but de réduire ces charges, les transports de proximité qui fonctionnent automatiquement sont une solution appropriée. Ces systèmes sont prévus pour déplacer des flux importants de personnes, voire de marchandises, sur des distances allant de 250 à 5 000 m., avec un minimum d'encombrements et de coûts. En raison des distances assez courtes pour lesquelles ils sont prévus, quatre paramètres importants les caractérisent :

- vitesse de pointe relativement faible
- fréquence élevée
- grande capacité de transport
- système automatique

Ces véhicules sont généralement tractés par des câbles qui induisent des efforts mécaniques importants et qui sont, compte tenu du système de traction, d'une souplesse d'utilisation limitée. De plus, leur consommation énergétique, par suite de frottements importants, est élevée. La miniaturisation des ordinateurs, amorcée dès 1980, permet d'envisager d'autres systèmes. C'est dans ce contexte que s'inscrit le concept du système Serpentine. Celui-ci propose des capsules automatiques, en site mixte, protégé ou propre, alimentées et guidées par une installation électrique posée sur ou incrustée dans le sol. Cette technologie révolutionnaire a été conçue par le Bureau de Service et d'Ingénierie (BSI SA), partenaire et instigateur du groupe CN Serpentine SA.

L'électrification de la chaussée sert à l'alimentation des capsules par l'intermédiaire d'éléments fixés à la fois au sol et sous les capsules, constituant le MagnétoGlisseur®. Le système de transmission énergétique breveté, sert également de support d'informations, grâce

auquel le système de gestion peut gérer en temps réel l'offre des capsules en fonction de la demande et de ses origines-destinations.

Compte tenu du choix d'une vitesse de circulation relativement faible de 15km/h en moyenne, les capsules, d'une capacité de 4 personnes avec bagages, peuvent évoluer à ciel ouvert et en site mixte. Le risque d'accident est ainsi minime et la vitesse réduite est compensée par des temps d'attente en station très courts.

Le fonctionnement automatique des capsules réduit considérablement les coûts d'exploitation. Il devrait fournir ainsi une solution conviviale pour décongestionner le coeur des villes. Sa souplesse d'utilisation peut aussi l'orienter, avec autant de performances, sur le transport de marchandises, notamment dans les grands centres industriels.

Les résultats du développement et des analyses montrent que, d'une part, la transmission d'énergie et le guidage par le MagnétoGlisseur®, objet d'un brevet, permettent d'obtenir des rendements supérieurs à 90% et qu'il est, d'autre part, possible de concevoir une capsule très étroite, mais stable au vent, avec des appuis lombaires et une plate-forme dégagée pour les bagages, les vélos ou les véhicules d'handicapés. Les quais d'Ouchy retenus comme site pour la réalisation d'un premier tronçon, se prêtent à un tel projet pilote. Les études de simulation montrent qu'il suffit de 10 capsules pour satisfaire la demande à cet endroit avec des temps d'attente moyens en station inférieurs à une minute.

2 Alimentation, propulsion et guidage de la capsule

2.1. Spécificités techniques

Un véhicule électrique classique utilise comme source d'énergie une batterie d'accumulateurs souffrant de plusieurs handicaps tels qu'une masse importante, une forte limitation de l'autonomie, des coûts importants et un temps de charge relativement long. Le système de transport Serpentine comprend plusieurs aspects techniques originaux dont la combinaison avec des éléments plus classiques en fait un système innovatif.

Parmi les aspects techniques spécifiques, on mentionnera :

- une capsule à propulsion par moteurs électriques intégrés dans les roues, à haut rendement énergétique ;
- une transmission d'énergie à haute fréquence sans contact, à partir de bobines posées sur ou insérées dans le sol, par phénomène d'induction ; ce dispositif constitue une voie active, alimentée localement sous la capsule, au fur et à mesure de son avance ;
- une conduite automatique impliquant un guidage latéral et axial, basé sur les champs magnétiques créés par l'alimentation ;
- la possibilité éventuelle de conversion en un véhicule en site banalisé par le recours à une batterie auxiliaire.

2.2. Moteurs électriques

La propulsion est assurée par quatre moteurs électriques synchrones, de type courant continu sans collecteur. Les moteurs sont intégrés dans les quatre roues, avec une puissance nominale de 600 W par moteur.

L'alimentation provient directement des batteries tampon. Des régulateurs intégrés dans les moteurs assurent un contrôle précis de la poussée et de la vitesse.

2.3. MagnétoGlisseur®

L'énergie électrique est transmise de façon continue à la capsule par le MagnétoGlisseur®. Celui-ci est constitué des éléments suivants :

- un ensemble de spires d'environ 1 m70 sur 30 cm, d'une épaisseur d'environ 1,5cm, noyées à la surface du sol ;
- des convertisseurs à haute fréquence intégrés alimentant les bobinages au sol ;
- un bobinage d'environ 140 cm sur 40 cm fixé sous le châssis de la capsule, à une distance de 5 à 8cm du sol ;
- un redresseur transformant l'énergie récupérée par le bobinage de la capsule en courant continu.

Le bobinage au sol et celui de la capsule constituent un transformateur sans fer. Les bobines au sol sont alimentées au fur et à mesure de l'avance de la capsule, sans possibilité d'interaction avec d'autres objets ou personnes.

Le rendement global d'une telle chaîne de transmission est de l'ordre de 88 % (mesuré) pour une puissance d'environ 2kW.

2.4. Guidage

Le système d'alimentation au sol assure simultanément les deux fonctions nécessaires à la conduite automatique de la capsule :

- la détection de position axiale de la capsule avec une précision relative de l'ordre de ~ 1 cm.

2.5. Gestion du système

Un ensemble de capsules est géré à partir d'une centrale de gestion, assurant l'enclenchement synchrone des bobines primaires par des interrupteurs électroniques. Ce système connaît également la position de toutes les capsules. Chacun d'entre eux est équipé d'un dispositif de contrôle interne et capable de communiquer avec la centrale de gestion. Le système de gestion intègre toute la coordination de la chaîne de l'utilisateur jusqu'au déplacement de la capsule :

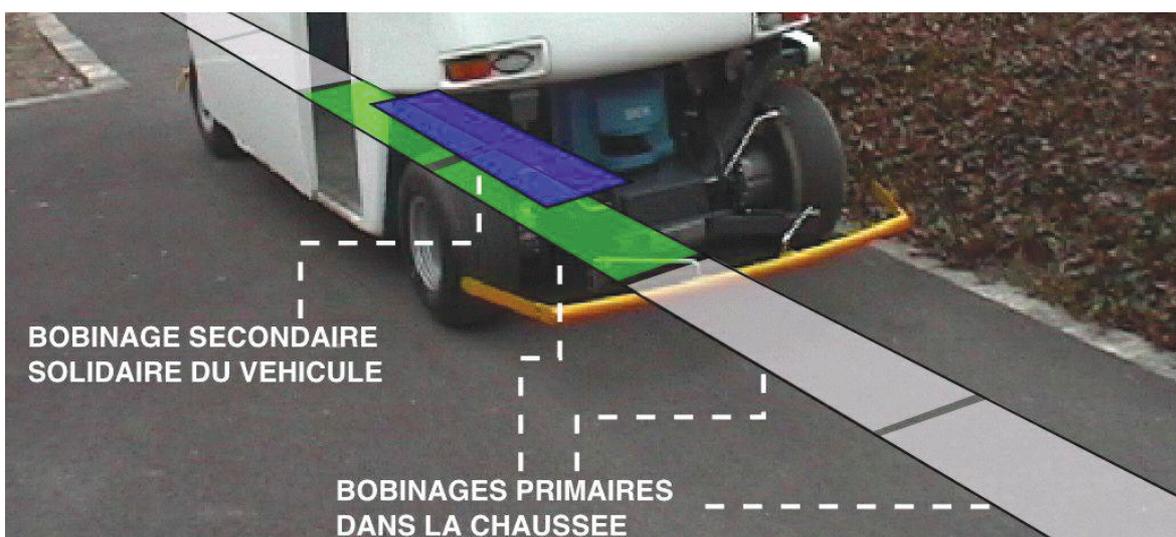
- **La commande** reçoit les feuilles de route de la centrale et prend en charge l'allumage des bobines au sol de manière synchrone avec le déplacement des capsules.
- **La centrale** coordonne toutes les demandes des utilisateurs issues de paiements, de demandes d'arrêt et

• le guidage latéral de la capsule, à partir de capteurs situés sur la capsule qui alimentent les régulateurs des moteurs.

d'arrêt d'urgences. A partir des ordres reçus, elle organise les trajets des capsules sous forme de feuilles de route assignées individuellement. Elle s'assure entre autres qu'aucune collision entre capsules n'est possible.

- **La borne d'information et de commande multimédia.** D'une borne de station, l'utilisateur peut commander une ou plusieurs capsules. En outre, elle offre une série d'informations utiles ;

- **L'ordinateur de bord.** Celui-ci remplit les fonctions de la borne multimédia dans la capsule. Il assure le dialogue avec l'utilisateur et la diffusion d'information. En outre, il offre des capacités de surveillance et de contrôle.



Principe de fonctionnement de la transmission d'énergie

4 La capsule Serpentine

4.1. La vitesse de la capsule

La capsule Serpentine, qui peut circuler à 15 km/h., constitue un moyen de transport qui doit cohabiter en milieu urbain avec les piétons, les transports collectifs, les vélos et les voitures. Ces derniers ont pour vitesses respectives :

- Piétons: 4 à 7 km/h
- Transports collectifs: 12 à 15 km/h (*vitesse commerciale moyenne*)
- Système Serpentine 10 à 15 km/h (*vitesse commerciale moyenne*)
- Vélo: 15 à 20 km/h
- Voiture: 30 à 60 km/h

Des tests de simulation ont confirmé le fait qu'une vitesse de 15 km/h. est rapide par rapport à celle d'un piéton, ceci sans être agressive.

Passer de 15 à 50 km permet en soi de s'insérer dans le flux des voitures. Cependant, pour une augmentation d'un facteur de 3 de la vitesse de pointe, la vitesse commerciale ne serait guère augmentée en ville compte tenu des encombrements et des arrêts aux carrefours et en station. A titre d'exemple, la vitesse commerciale moyenne des bus lausannois est de 15 km/h sur l'ensemble du réseau urbain. A l'heure de pointe, elle s'abaisse même à 12 km/h. A 50 km/h, l'énergie cinétique, par contre, serait multipliée par 9 et le dommage en cas d'accident peut aller jusqu'au centuple.

4.2. Le dimensionnement des capsules

Les longueurs et largeurs libres du plancher de la capsule étant de 145 cm, la surface résultante libre est de 2.00 m². Cette surface permettrait d'accueillir selon les normes 6 personnes. Pour des raisons de confort, mais également dans le but d'éviter une certaine promiscuité et les agressions sur les passagers, la capsule Serpentine est conçue pour un groupe de voyageurs de 4 personnes par capsule. Le cas échéant, ce groupe pourrait être homogène, comme par exemple :

- 2 adultes, 3 enfants, 1 chien, 1 caddie ou 1 vélo
- ou 1 handicapé et son accompagnant
- ou 3-4 personnes avec valises

Cette orientation fait que la solution de base ne présente pas de sièges. La capsule comprend donc deux appuis lombaires confortables au fond de la capsule, avec des appuis dorsaux pour les enfants ou les accompagnants. Pour le transport d'handicapés, les contraintes de place sont acceptables, pour autant que le plancher soit le plus bas possible (6 cm), et que la plate-forme soit suffisamment dégagée. Ces contraintes sont semblables à celles du transport de bagages et de caddies.

Par ailleurs, il est tout à fait concevable que le système Serpentine soit également employé pour le seul transport de marchandises non accompagnés: p. ex. transport palettisé.

4.3. La conception des capsules

La conception des capsules n'est pas limitée aux aspects visuels mais à l'ensemble des facteurs de confort d'utilisation perçus par l'utilisateur. Dans le cas de ce nouveau moyen de transport qui présente des caractéristiques techniques très originales, le design se détache inévitablement de celui des autres moyens de transport.

Les capsules Serpentine sont équipées de portes automatiques liées au mécanisme de levage et de baisse de la capsule par un mécanisme breveté. Lorsque celle-ci est baissée, les portes sont ouvertes alors que si elle est levée, les portes sont fermées. Elles comportent la surveillance d'obstacle, un dispositif anti-pincement et plusieurs systèmes d'ouverture de secours pour l'utilisateur, pouvant être commandés à distance. La capsule Serpentine n'est pas rapide en vitesse de pointe mais l'impression de service est accélérée par la manoeuvre rapide des portes et l'absence de temps morts aux arrêts.

Avec un plancher à 60 mm du sol, l'utilisateur accède de plain-pied à partir du trottoir ou de la chaussée. Cette hauteur est parfaitement franchissable pour un handicapé en fauteuil roulant.

Un affichage intérieur optionnel peut servir à l'information du voyageur. Ce dernier dispose d'un moyen de communication avec la centrale de commande du système. De plus, la capsule est équipée d'une vidéo-surveillance permettant le contrôle visuel de l'occupation de la capsule ainsi que de la manoeuvre des portes. L'ensemble de ces caractéristiques apparentent la capsule Serpentine à un ascenseur horizontal. Plusieurs systèmes électroniques et électromagnétiques anti-collision, montés à l'avant, assurent la sécurité sur le parcours, aussi bien pour la capsule

et ses occupants que pour le trafic extérieur, notamment piétonnier. Le design se caractérise par d'importantes baies vitrées descendant jusqu'à 900 mm. du plancher. Elles offrent une excellente vision circulaire mais permettent aussi d'apercevoir l'occupation de la capsule depuis l'extérieur. Tous les vitrages sont prévus en matière thermoplastique. La capsule Serpentine n'est pas équipée d'essuie-glaces.

L'avant présente des formes très douces qui soulignent le caractère inoffensif de la capsule Serpentine, tout en offrant une réelle protection.

La capsule Serpentine est une structure auto-porteuse, composée d'un assemblage de panneaux sandwich-composite. La traction électrique et l'absence de batteries de grande capacité permettent d'obtenir un véhicule léger avec un poids à vide de moins de 400 kg.

Le train roulant se compose de 4 pneumatiques de petit diamètre (environ 500 mm.), avec quatre roues motrices et directrices. La direction électrique est commandée par le balisage intégré dans la piste de roulement. Malgré sa faible vitesse, une suspension simple est nécessaire pour assurer un bon confort de roulement. En cas de panne de l'alimentation, les quatre batteries tampon permettent un fonctionnement en mode dégradé.

L'éclairage retenu pour l'intérieur est composé de deux sources. A l'arrière et à l'avant, au-dessus des voyageurs, un luminaire transversal est situé dans l'angle du plafond. La signalisation extérieure est composée de feux de position et de clignoteurs pour la direction.

4.4. La sécurité embarquée

Tout système de transport automatique implique une réactivité à son environnement afin d'éviter un comportement des véhicules susceptible d'entraîner une mise en danger des personnes à l'intérieur ou à l'extérieur du système ou d'entraîner des dégâts matériels.

4.4.1. Sécurité intrinsèque

Afin de réduire au maximum les risques liés aux comportements des capsules, la conception des composants et de leurs fonctionnements ont été étudiés avec les aspects de sécurité comme critères fondamentaux.

- **Position à l'arrêt.** Lorsque la capsule n'est pas en déplacement, sa coque repose sur les roues avec des patins d'immobilisation. La capsule se trouvant ainsi dans sa position dite « basse » ne peut plus se déplacer, les roues étant bloquées par le poids du véhicule. En outre, le centre de gravité est situé très bas, ce qui rend la capsule très difficilement renversable.
- **Coque.** La coque est constituée de matériaux légers et ne comporte pas de châssis traditionnel, ce qui réduit de manière considérable le poids d'une capsule (400 kg). Ceci est un facteur essentiel en cas de collision, puisque l'énergie cinétique liée à la vitesse de la capsule est fortement réduite par rapport à un véhicule traditionnel. Malgré la position très basse de la plateforme, la garde au sol évite l'écrasement de pied ou de main lors du passage de la position « haute » (de roulement) à la position « basse ».

Les capsules Serpentine sont conçues pour offrir une sécurité intrinsèque par leur fonctionnement. En outre, des capteurs permettent d'anticiper les dangers et réagir de manière adéquate en cas de collision possible.

- **Roues.** La pression de gonflage très basse des roues accompagnée du faible poids de la capsule (800 kg chargée, soit 200 kg au maximum par roues) implique aucun danger en cas de roulement sur un pied ou une main.
- **Fermeture des portes.** La fermeture des portes est réglée de manière à s'arrêter en cas de pincement possible d'un membre d'une personne ou d'un objet. Ce n'est qu'une fois la fermeture des portes effectuée que la capsule peut se déplacer, les roues étant libérées des patins d'immobilisation. En outre, la fermeture des portes s'effectue de bas en haut afin de ne pas pouvoir écraser un élément situé dans la trajectoire de la porte.
- **Ouverture des portes.** Le mécanisme de fermeture et d'ouverture des portes s'effectue de manière latérale à la coque. Ainsi, l'ouverture d'une porte n'entraîne pas de risque de collision avec un objet mobile ou immobile situé à côté de la capsule. L'ouverture des portes entraîne le passage de la position « haute » à la position « basse », immobilisant immédiatement la capsule.



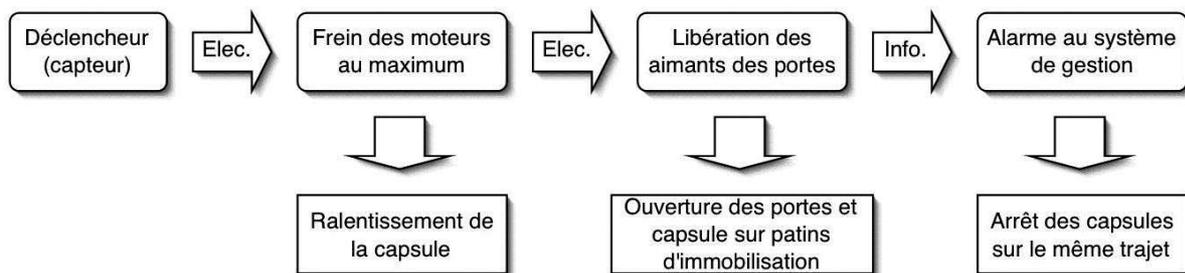
Porte bloquée par une personne

4.4.2. Capteurs de sécurité

En plus de la conception des composants décrits aux points précédents, les capsules Serpentine sont équipées de plusieurs capteurs de sécurité. Il faut noter que tous

les capteurs sont à boucle fermée soit, si un fil est coupé, la chaîne de sécurité est ouverte et la capsule ne peut plus se déplacer.

L'arrêt d'urgence d'une capsule est défini par la séquence d'événements illustrée ci-après.



Séquence d'arrêt d'urgence

La chaîne de sécurité est composée des deux capteurs suivants:

- **Pare-choc avec détecteur mécanique.** En cas de collision avec un obstacle, le pare-choc peut s'enfoncer jusqu'à 30 cm et déclenche immédiatement l'arrêt d'urgence de la capsule ainsi que l'ouverture des portes. L'arrêt de la capsule étant le passage de la position « haute » à la position « basse », la distance d'arrêt ne dépasse pas 30 cm, ce qui rend un choc quasi impossible.

- **Bouton d'arrêt d'urgence.** Le bouton d'urgence situé à l'intérieur de la capsule permet à tout passager de déclencher un arrêt d'urgence en cas d'agression ou de danger.

En plus des capteurs de sécurité, la capsule est équipée d'un laser de distance qui détecte tout obstacle dans un champ jusqu'à 10 mètres de distance et sur la largeur de la piste. En cas d'obstacle détecté, la capsule émet un signal d'avertissement continu (klaxon) et ralentit jusqu'à une vitesse nulle, sans toutefois se mettre en arrêt d'urgence.



Face avant d'une capsule avec les capteurs de sécurité

5 La gestion d'une ligne ou d'un réseau

L'électrification de la chaussée permet de suivre en tous points les capsules en circulation à partir d'une centrale et les ordinateurs de commande du système qui gère l'organisation des circulations en fonction de la demande. Le système peut être géré en site propre intégral ou en site partiellement protégé.

Dans le deuxième cas, les capsules circulent, par exemple, de part et d'autre de la chaussée sans que celle-ci ne nécessite de renforcement. Elles sont séparées du trafic routier et protégées

par un dénivelé, un muret ou une protection naturelle. La vitesse est maximale (18km/h).

Aux carrefours, les capsules passent avec la phase piétons, à vitesse réduite. La vitesse est également réduite lorsque le tracé est situé dans une zone piétonne (7-10 km/h). Aucune mesure de séparation physique des capsules n'est alors nécessaire dans ce cas.

Plusieurs modes de gestion des circulations décrits ci-après sont possibles.

5.1. Gestion simple

5.1.1. En quai continu

Sur les axes à forte demande, les capsules se suivent proches les unes des autres, pour former une chaîne. Ce train de capsules s'arrête, par exemple, une dizaine de secondes toutes les minutes, pour permettre le

chargement/déchargement en tous points du réseau sur le quai continu. La capacité horaire d'une ligne, en site propre, peut atteindre dans ce cas jusqu'à 15000 voyageurs par sens (1 personne/m à vitesse commerciale de 15 km/h).

5.1.2. Circuit cadencé

Dans ce cas, les capsules sont envoyées dans le circuit, qui est une boucle fermée reliant toutes les stations, avec un écart fixe entre elles. Cet écart dépend du nombre de capsules prévues en circulation. Il en découle une fréquence stable de passage des capsules en stations.

L'arrêt en point d'embarquement est systématique pendant une dizaine de secondes en l'absence de perturbations. Le système est

cadencé par tranches horaires en fonction de la demande, mais il peut être perturbé soit par l'action des feux, dans le cas où les capsules ne sont pas prioritaires, soit par des obstacles inattendus ou de courtes pannes. Le système de gestion recadence alors automatiquement en début de circuit les capsules en circulation, à l'exemple des télécabines dont les cabines s'encolonnent en attente à la station de départ. Le système fonctionne comme une ligne de transports collectifs classique, mais dans ce cas sans chauffeurs.

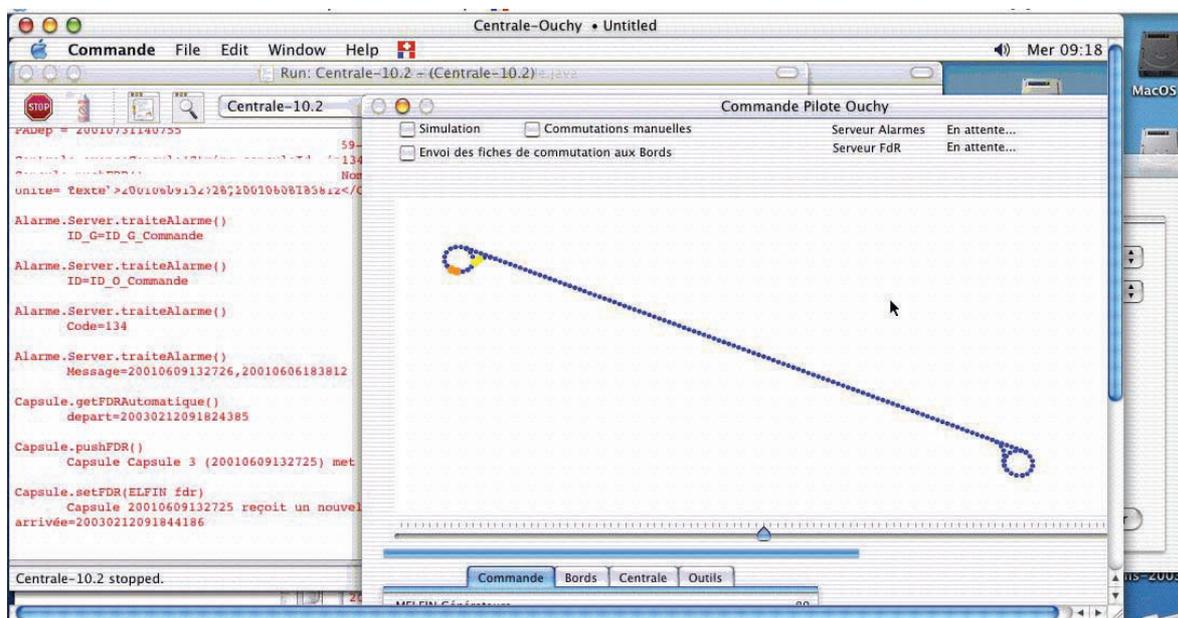
L'utilisateur applique son doigt sur l'écran de la borne et désigne la destination de son trajet. S'il le souhaite, il peut préciser par quelles stations il veut passer, dans combien de temps (pour une réservation) et le nombre de capsules nécessaires.

La borne transmet les ordres à la centrale qui connaît la disponibilité des capsules et leur emplacement. Elle attribue une ou plusieurs capsules pour la course requise selon l'itinéraire et l'horaire demandé.

Les capsules quittent alors les zones de stockage et se déplacent automatiquement selon les ordres donnés à la borne par l'utilisateur.

Le poste de commande du MagnétoGlisseur® met successivement sous tension les bobines au-dessus desquelles la capsule se trouve. Un dispositif suit le passage de la capsule et informe la centrale en cas de retard ou d'obstacle rencontré sur la chaussée. De cette manière les capsules peuvent se réinsérer sans conflits aux aiguillages. Ce dispositif assure le maintien des distances ou de la synchronisation des capsules encoignées en cas d'arrêt de l'une d'entre elles.

La réalisation du site de démonstration des quais d'Ouchy a ainsi permis de montrer qu'il est possible d'introduire des fonctions de gestion automatique des stocks avec anticipation de la demande.



Systeme de gestion sur le site des quais d'Ouchy

5.3. Circulation individuelle

Les personnes autorisées à conduire les capsules Serpentine peuvent quitter le réseau, les capsules étant équipées de batteries pour alimenter les moteurs et d'un dispositif de commande embarqué dans un ordinateur de poche.

En outre, les bandes de chaussée équipées du MagnétoGlisseur® qui alimentent en énergie les capsules Serpentine pourraient aussi alimenter des véhicules privés individuels. Dans ce cas, la souplesse d'utilisation est maximale.

6 Interface utilisateur

6.1. Méthodes de paiement

6.1.1. Monnaie et jeton

Les bornes ainsi que les capsules sont équipées de monnayeurs acceptant de la monnaie ou des jetons préprogrammés. Lors de l'introduction de la première pièce,



Monnayeur installé dans la capsule

l'utilisateur est prévenu par un message audio qu'il a 10 secondes pour ajouter de nouvelles pièces et compléter son paiement. Le paiement est ensuite enregistré et la demande traitée par la centrale du système de gestion.



Paiement par SMS

6.1.2. SMS (Short Message Service)

Chaque personne possédant un compte dûment enregistré auprès de l'exploitant du réseau Serpentine, peut appeler une capsule à l'aide d'un SMS sur son téléphone mobile.

6.1.3. Carte magnétique

En complément des deux méthodes de paiement ci-dessus, il est également possible d'équiper les bornes d'arrêt et les capsules de lecteurs de cartes magnétiques.

Une fois la validité du message vérifiée, celui-ci est envoyé à la centrale du système de gestion et le compte de l'utilisateur débité. Les messages contenant des textes incompréhensibles ou provenant de personnes non identifiées sont automatiquement rejetés.

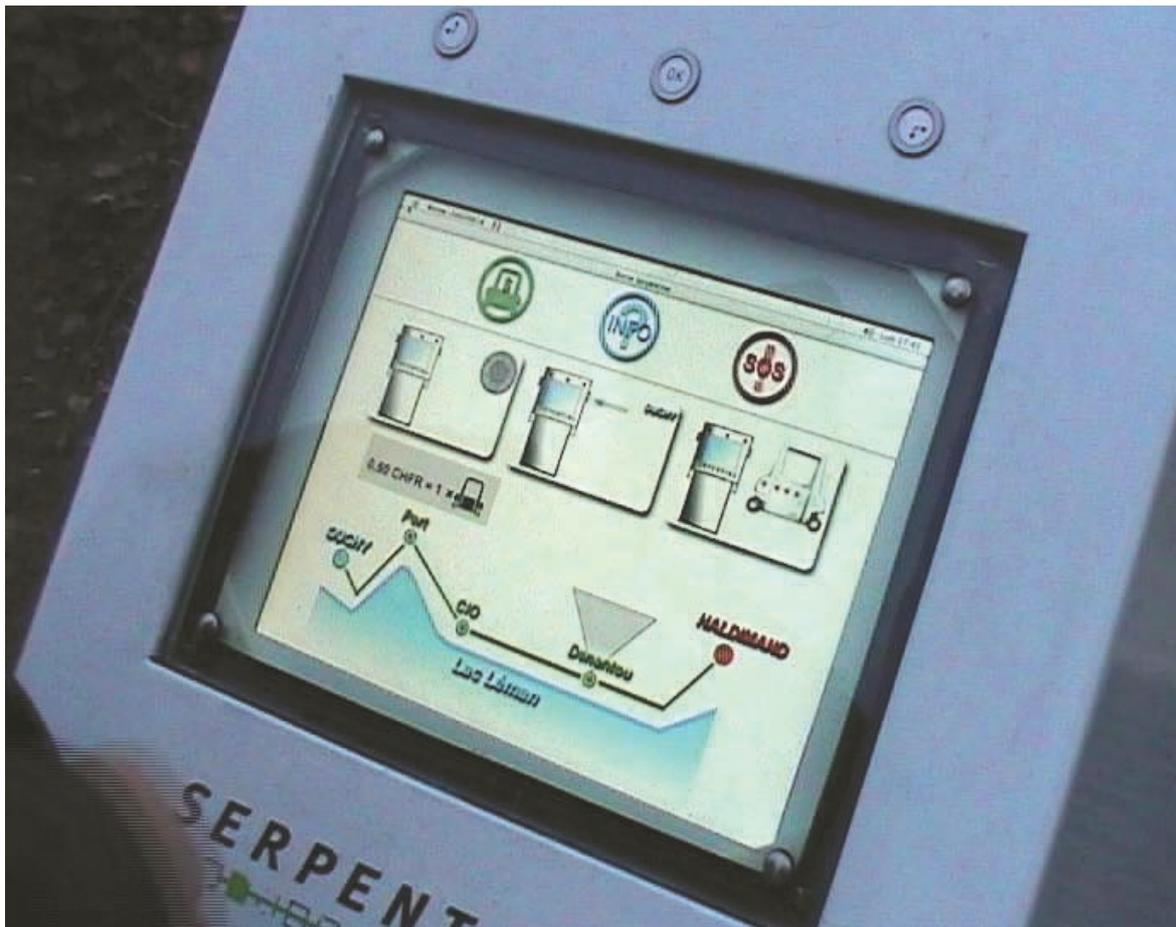
Dans ce cas, deux possibilités s'offrent pour l'offre de trajets : gratuit et autorisé pour les personnes identifiées ou par débit sur la carte magnétique.

6.2. Informations à l'utilisateur

6.2.1. Borne de station d'arrêt

Les bornes de station d'arrêt remplissent, en plus des possibilités de commande de capsules, une interface importante de communication avec les utilisateurs. Une interface de navigation simple permet d'accéder à de

nombreuses informations sur la disponibilité des capsules, le plan du réseau dans le contexte urbain et des renseignements sur l'emploi du système. Il est envisagé d'offrir également un suivi en temps réel de la position des capsules sur le réseau.



Borne d'information

6.2.2. Dans la capsule

La capsule Serpentine est équipée d'un système d'information audio. En cas de besoin, des messages vocaux sont diffusés selon la langue prédéfinie et la situation. Il est également prévu d'équiper les capsules d'un projecteur permettant de diffuser des informations visuelles sur les vitres de la capsule. Celles-ci peuvent être les mêmes que celles

montrées sur la borne d'information, mais aussi des messages à caractère informatif sur le contexte dans lequel se déroule le parcours. Par exemple, lors d'un parcours de visite dans une usine, les explications audio-visuelles peuvent être diffusées en synchronisation avec l'avance de la visite. Le même principe peut s'appliquer pour un tour dans un centre historique de ville.

7 Application à Lausanne-Ouchy

Le site des quais d'Ouchy a été retenu pour une première réalisation d'un tronçon équipé du système Serpentine parce qu'il pose des problèmes techniques intéressants et qu'un transport public traditionnel n'est pas envisageable à cet endroit sans gros déficit, en raison d'une demande insuffisante et par trop fluctuante.

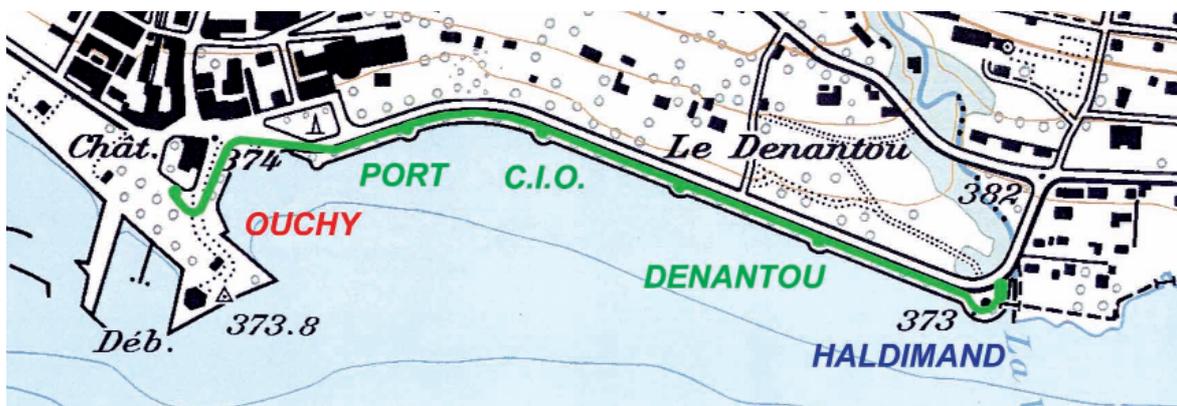
L'implantation de ce tronçon équipé du système Serpentine relierait le Musée Olympique au nouveau parking souterrain de la Navigation, au terminus du métro Lausanne-Ouchy et à la halte du bus N°2 à Ouchy. Elle permettrait également la liaison entre les lignes TL N° 2 et N° 8 par le Quai de Belgique et complète, ainsi le maillon manquant d'une desserte littorale entre la Bourdonnette et le port de Pully. Enfin, Ouchy, secteur le plus touristique de Lausanne, serait doté d'une technologie de transport révolutionnaire mettant en valeur les nouveaux équipements et l'image de la Ville à l'extérieur.

Un programme informatique de simulation (Slamsystème) a été utilisé par l'Institut des transports et de planification de l'EPFL pour dimensionner le système de transport. Ce programme permet notamment de déterminer le nombre de capsules ainsi que les zones

de stockage nécessaires pour satisfaire la demande des usagers en fonction d'un temps d'attente maximum donné.

L'évaluation de la demande a été basée sur une fréquentation annuelle du Musée Olympique estimée au début de l'étude entre 80 et 100000 personnes avec des flux horaires pouvant atteindre 200 personnes les jours d'affluence. Les données qui nous sont parvenues ultérieurement montrent qu'en 1993, première année d'exploitation du musée, la fréquentation a été de plus du double, soit 200000 visiteurs environ.

La demande n'est pas étalée de manière homogène dans le temps. Elle correspond plutôt à des arrivées en station de groupes de personnes (« pics de demande ») qui proviennent principalement du métro Lausanne-Ouchy (L-O), de cars touristiques, du parking de la Navigation ou du Musée Olympique. Cette demande se concentrant sur certaines stations (place du Port, Musée Olympique) et se caractérisant par des intensités très variables, une gestion des capsules en circuit de type « dynamique » (ou « à la demande ») a été retenue. Cette gestion permet de réduire au maximum les temps d'attente en station.



Plan général du système Serpentine à Ouchy

Le programme de simulation a permis de déterminer les éléments du système. Le circuit est équipé de trois zones de stockage et de quatre stations: Place du Port (PP), Musée Olympique (MOI, M02), Chemin Sandoz (CSI, CS2) et Tour Haldimand (TH). Les capsules en attente et proches des stations principales se mettent en marche à la demande de l'utilisateur qui indique aussi sa destination. Ces trois zones sont disposées, d'une part aux extrémités de la ligne à la place du Port et à la Tour Haldimand et d'autre part à mi-parcours au Musée Olympique, en direction de la Place du Port. Leur capacité de stockage maximale est respectivement de 4, 3 et 3 capsules, afin d'assurer sur le circuit la redistribution la plus adéquate possible des capsules, en prenant en compte les origines-destinations principales des usagers.

En fonction des hypothèses de demande citées plus haut, auxquelles s'additionnent des « pics de demande » aléatoires, dix capsules d'une capacité maximale de cinq personnes suffisent à répondre à la demande, avec des temps d'attente moyens inférieurs à une minute.

A titre d'exemple, sur la ligne équipée des trois aires de stockage et de 10 capsules dont la capacité est de 4 personnes, on additionne

à l'heure de pointe, l'arrivée massive de 10 personnes à la Tour Haldimand, une autre de 20 personnes à la Place du Port et une dernière de 20 personnes au Musée Olympique 2 en un laps de temps de 25'.

Les simulations montrent que le temps moyen d'attente à chaque station est compris à l'intérieur d'un intervalle répondant parfaitement à l'exigence du seuil critique fixé à une minute d'attente.

Actuellement ce tronçon est en attente d'autorisation et seul un premier tronçon de 270 m a été réalisé.

Au 15 février 2003, 3500 ordres ont été transmis au système lors des tests, ceci a conduit à 3250 déplacements sans aucun accident. Des sorties de pistes sans conséquence ont été suivies lors du calibrage des paramètres de guidage.

Les capsules ont ainsi effectué plus de 270 km sans incident.



Chaine de capsules sur les quais d'Ouchy

8 Conclusion

Moyen de transport intermédiaire parcourant des distances courtes et moyennes, à vitesse réduite, mais à fréquence élevée, le système *Serpentine* constitue principalement une interface entre le lieu d'origine et les stations de grands moyens de transports métropolitains ou interurbains. Outre cette fonction utilitaire principale, n'oublions pas que l'aspect ludique des capsules *Serpentine* en fait également un moyen de transport parfaitement adapté à des lieux et à des circuits touristiques.

De **faible gabarit**, avec une **gestion en réseau**, la *Serpentine* est le mode de transport adapté aux centres villes ou aux villes moyennes.

Les **capsules *Serpentine*** ont été étudiées pour être conviviales, mais par-dessus tout dotées d'**un système de sécurité extrêmement fiable** tant dans les caractéristiques constructives que dans l'équipement embarqué.

La **gestion automatique** du système *Serpentine* par le *Traffic Manager HB*[®] permet d'adapter **les cadences aux exigences les plus variables**, offre d'autres perspectives d'utilisation dans les aéroports, les ports maritimes ou de grands complexes industriels par exemple. Elle prend également en charge tous les aspects d'interface utilisateur.

L'**infrastructure du MagnétoGlisseur**[®] permet un contrôle du positionnement latéral et longitudinal des capsules avec une précision d'environ 1 cm. De plus, la fonction de transmission d'énergie permet **une disponibilité des capsules 24h/24h, tous les jours de l'année**.

Par-dessus tout, la force du *système *Serpentine** réside en une **intégration cohérente** de tous les niveaux d'un système de transports public, **de la gestion du réseau au capteur de sécurité embarqué**.



Capsules sur le site d'Ouchy, Lausanne

9 Fiche technique

Capsule

Masse à vide	400	kg
Charge utile	350	kg
Surface libre plancher	2.00	m ²

Dimensions extérieures

Hauteur	2.27	m
Longueur	3.20	m
Largeur	1.40	m
Niveau plancher (vide)	170	mm
Garde au sol	101	mm

Capacité

De service	4	personnes
Maximale	4	personnes

Vitesse

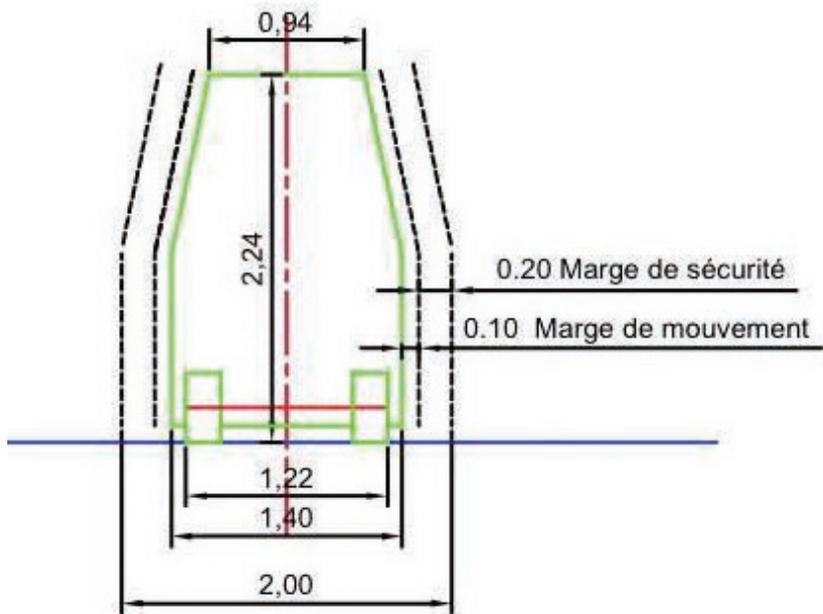
Vitesse maximale	18	km/h
Vitesse en zone piétonne	7	km/h
Accélération/Freinage nominal	1.2	m/s ²
Freinage d'urgence	2.5	m/s ²
Pente maximale	10% à 10	km/h

Autonomie avec batteries

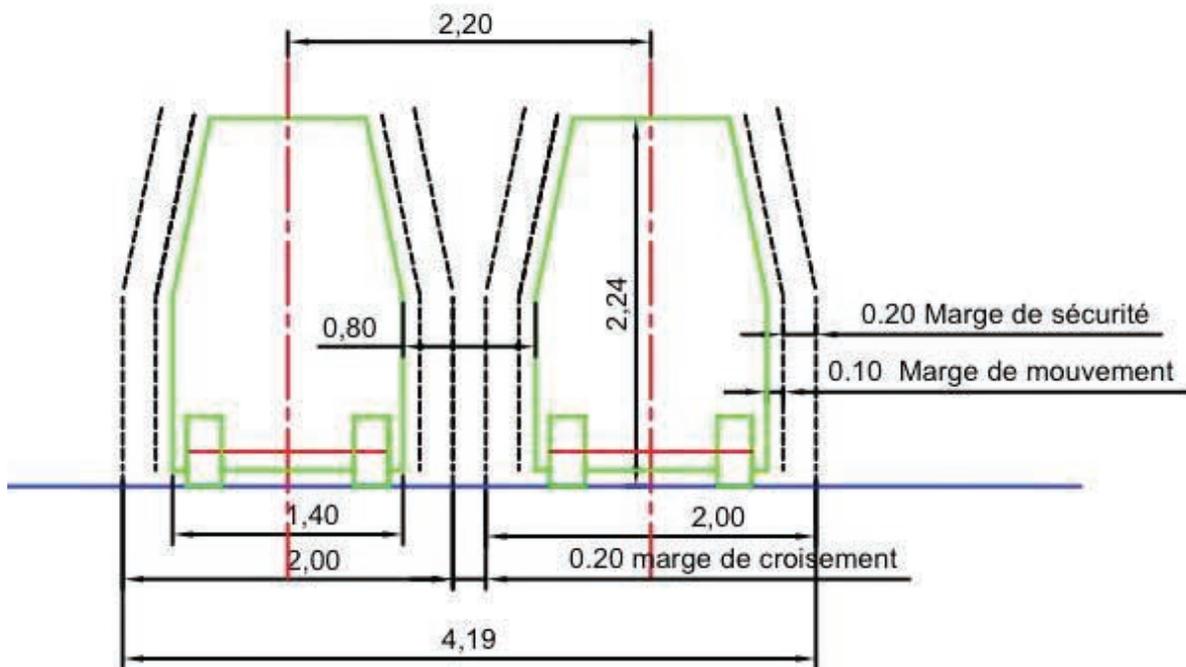
Autonomie	10	km
-----------	----	----

Type de chaussée

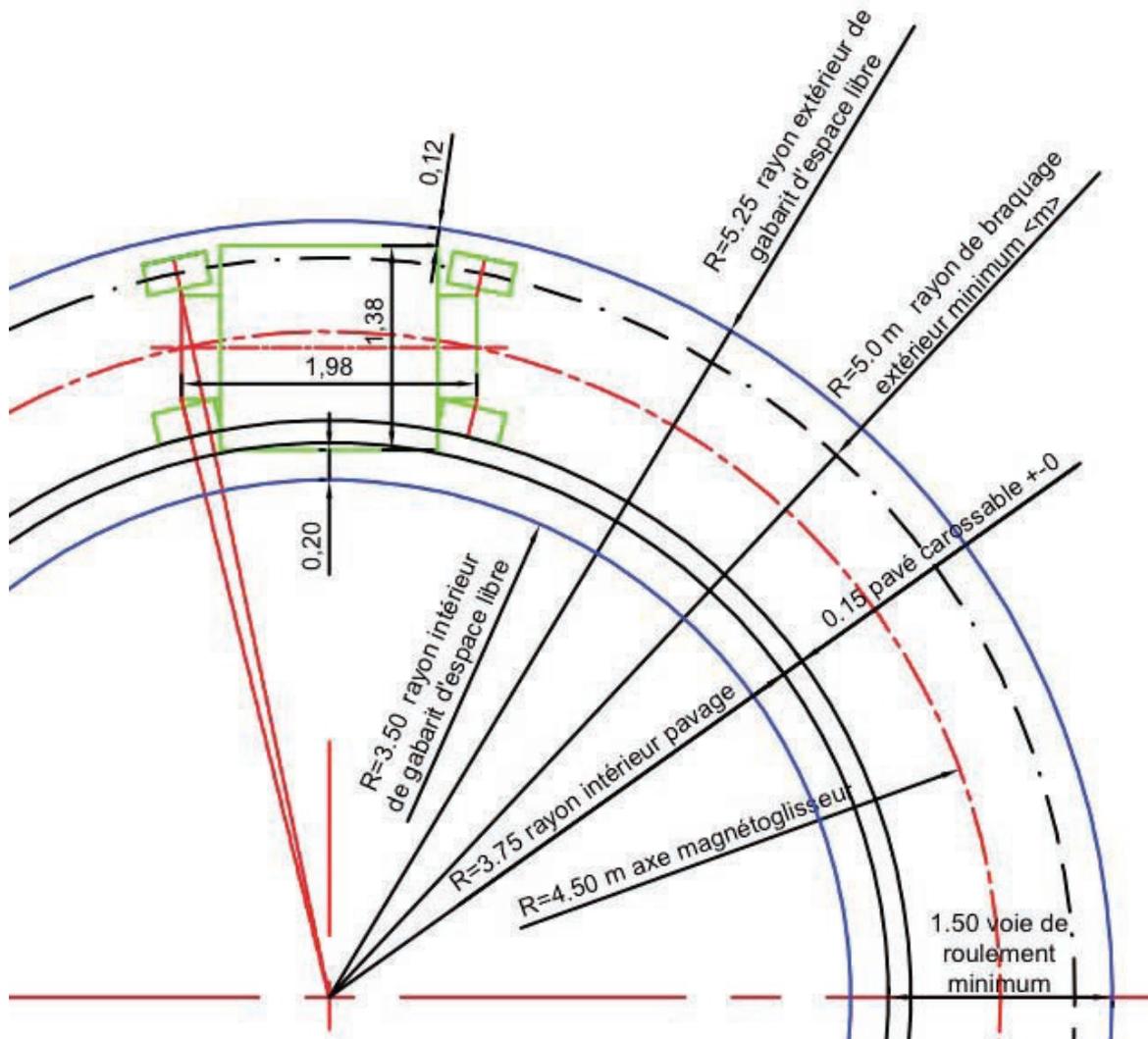
enrobés classiques, béton, pavage



Gabarit d'une capsule (VSS SN 640 201)



Gabarit de croisement de deux capsules (VSS SN 640 201)



Rayons de giration minimum d'une capsule Serpentine

Conseil d'administration

- Alec Jean Baer, dr. géologue, ancien directeur suppléant de l'Office fédéral de l'Energie.
- Olivier Français, ing. Civil EPFL, directeur des Travaux de la ville de Lausanne.
- Didier Bonnard, ing. EPFL, consultant, ancien directeur de Leclanché SA.
- François Drayer, ing. ETS, entrepreneur en systèmes électroniques.
- Michel Aguet, ing. EPFL, représentant des Electriciens Romands.
- Bernard Saugy, ing. EPFL, directeur de BSI, Bureau de Service et d'Ingénierie SA.

La société a disposé et dispose des compétences d'une vingtaine de collaborateurs des partenaires dont en particulier:

- Rodolphe Nieth, ing. EPFL, chef du Service de voirie de Lausanne lors de la construction.
- Bertrand Cardis, ing. Mécanicien EPFL, concepteur de la coque de la capsule.
- Henri Baumgartner, ing. Mécanicien EPFL, designer IDE.
- Richard Mesple et Mark Wuest, directeurs de MW Line, producteurs des capsules.
- Jacques Epitoux, directeur de Epitoux electronics, développeur électronique.
- Olivier Graf, ing. ETS, directeur technique BSI, spécialiste en systèmes temps réel.
- Pierre-Yves Saugy, ing. environnement EPFL, spécialiste de l'environnement.
- Vincent Pittet, ing. ETS, ing. commercial BSI, spécialiste marketing.
- Boris Dardel, ing. physicien Nexans, spécialiste des techniques câblières.
- Jacques Menu, ing. EPFL et Jean-Marc Reymond, spécialistes réseaux et informatique.
- Christophe Salzmänn, ing. ETS, doctorant EPFL, institut d'automatique.
- Marcel Jufer, prof. EPFL et M. Germano, moteurs et transmission d'énergie.
- Francis-Luc Perret, prof. EPFL, logistique et évaluation du système Pilote.
- Fabrizio Marzolini, ing. électricien ETS, Leclanché SA.
- Pierre Bressan, ing. électricien, Services industriels, équipements et infrastructures.

Actionnaires



CFD Drayer



Projets de recherche européens



Bernard Saugy, Ingénieur EPFL SIA Dr es sc. tech.
Directeur

Guy de Pourtalès, Architecte EPFL
Chef de projet

CN SERPENTINE SA
Chemin de Primerose 27 • CH-1007 Lausanne
dir. + 41 (0)79 725 39 19 • tél. + 41 (0)21 617 17 66
fax + 41 (0)21 617 17 80

mail@serpentine.ch

http://www.serpentine.ch