I/ PRESENTATION DU BESOIN

L'objet technique étudié est un chariot filoguidé appelé aussi V.A.G. (véhicule auto-guidé).

I-1/ EXPRESSION DU BESOIN

Le chariot filoguidé est utilisé pour assurer une continuité dans le transport de pièces, entre les différentes chaînes de montage d'une entreprise, avec un rendement maximal.

Le chariot est entièrement automatisé et peut fonctionner de manière autonome suivant une séquence programmée (appelé scénario). Il suit alors un parcours prédéterminé par un fil de guidage noyé dans le sol.

Le chariot filoguidé est employé dans les entreprises telles que PEUGEOT (Sochaux), la SNECMA (le Creusot), COCA-COLA (les Pennes Mirabeau)…
Nous nous pencherons plus précisément sur l'étude du chariot filoguidé fabriqué par la société BA SYSTEMES et utilisé dans l'entreprise PERRIER située à Vergèze.

I-2/ L'ENTREPRISE PERRIER

Historique :

L'histoire de l'eau de "Perrier" remonte au 1er siècle avant Jésus Christ. Les romains apprécient les bienfaits de la source des Bouillens et construisent un bassin afin de s'y baigner.

L'aspect "Bouillonnant" de l'eau gazeuse est certainement à l'origine du nom "Les Bouillens".

C'est au XIX ème siècle (1847) qu'Alphonse Granier qui était maire de Vergèze commence l'exploitation de la source des Bouillens et attire donc les premiers curistes.

En 1888 le docteur Louis Perrier convaincu des ressources commerciales du site, en devient propriétaire et développe la mise en bouteille.

En 1903 Louis Perrier trouve un partenaire, Sir Saint John Harmsworth, qui rachète la société et donne à la bouteille une forme originale. En 1927, il décide de recouvrir la source et de créer un kiosque autour duquel les visiteurs pourront déguster des bouteilles Perrier.

L'usine se modernise sans cesse et s'enrichit d'une verrerie et d'une carrière. A partir de 1973, Perrier contrôle donc, du sable jusqu'à la bouteille pleine, la totalité du processus de fabrication.

Trajet suivi par l'eau :

L'eau de pluie tombe sur les garrigues calcaires et chemine dans le sous-sol. Après un long trajet souterrain, elle remonte à la surface par un dédale de failles et se charge de gaz carbonique. L'eau de Perrier arrive ainsi naturellement gazeuse à la surface.
L'eau est captée entre 70 et 100 mètres sous terre dans un revoir naturel calcaire.

Usine PERRIER :

L'usine fonctionne 24h sur 24h sauf la nuit pendant l'hiver. Chaque jour, Perrier produit en moyenne 3 000 000 de bouteilles soit 50 bouteilles par seconde. Pour acheminer ces produits aux quatre coins du globe, le site est doté d'une logistique adéquate. Ainsi, le site de Vergèze possède sa propre gare reliée au réseau S.N.C.F.
En plus des wagons, les bouteilles sont expédiées par camions et containers chargés sur des cargos qui sillonnent le globe.
Sa particularité est sa connexion directe à la verrerie qui permet une fabrication en continu depuis la bouteille en verre jusqu'aux expéditions des produits finis.

Selon les pays destinataires ou leurs formats (20cl, 33cl, 50cl, 75cl ou 100cl), les bouteilles sont conditionnées par carton, barquettes ou regroupées avec un film plastique.

Ces différents conditionnements sont ensuite disposés automatiquement sur une palette. La dernière phase est le houssage automatique de la palette.

Aujourd'hui, Perrier-Vittel SA (qui appartient au groupe Nestlé) est le numéro 1 mondial de l'eau embouteillée.

Les chariots filoguidés dans l'usine Perrier :

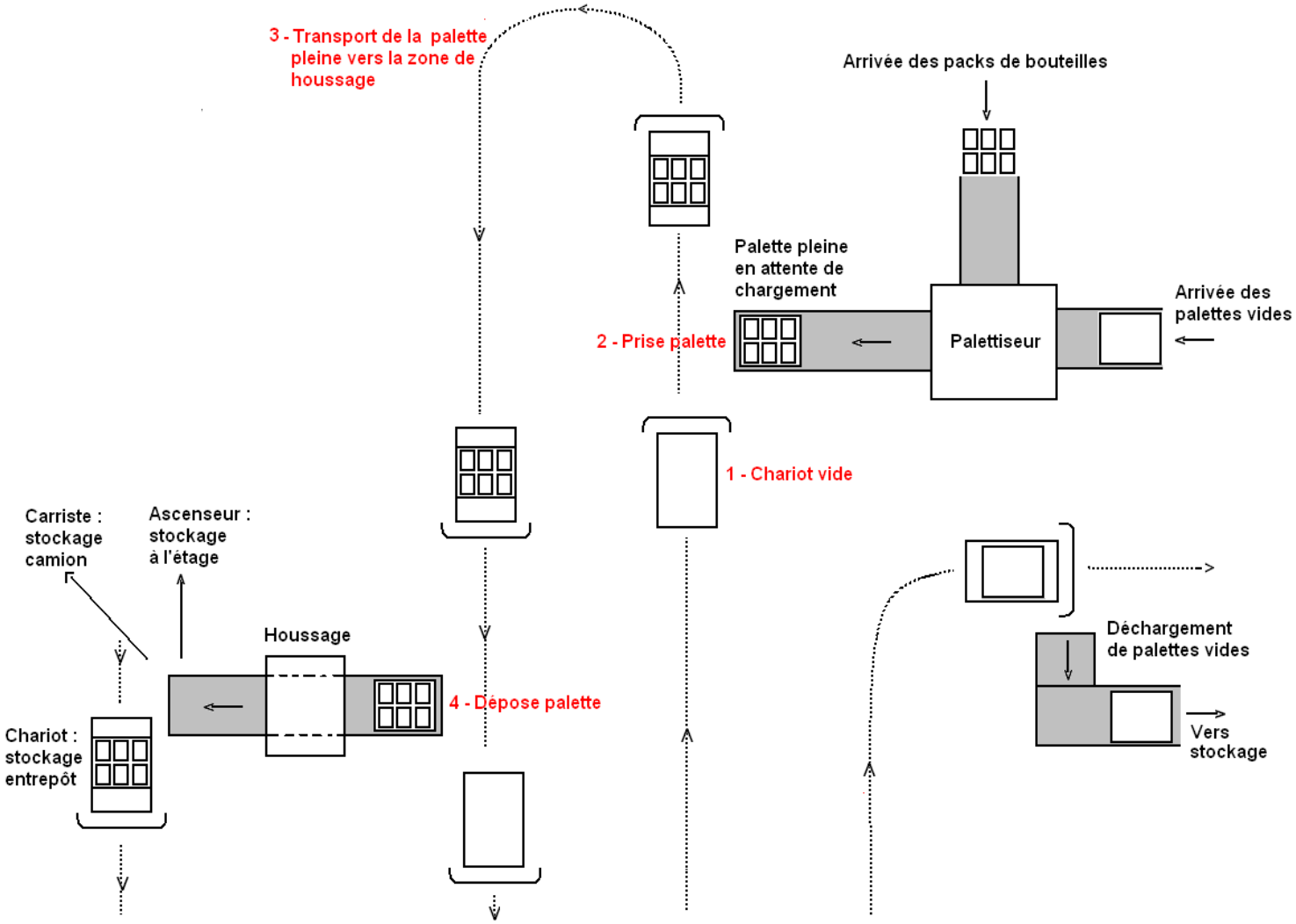
Dans l'unité de "verre consigné" (bouteilles destinées à l'hôtellerie, aux bars), 31 chariots filoguidés sont utilisés depuis 1989, et dans l'unité de "verre perdu" (bouteilles destinées aux supermarchés), 22 depuis 1991 plus 6 (de nouvelle génération) depuis 1998.

Ces chariots filoguidés ont remplacé les simples chariots élévateurs, ce qui a permis d'avoir un gain de productivité, une souplesse d'utilisation avec moins de personnel.

Ces chariots filoguidés sont destinés à transporter des palettes d'un poste de prise vers un poste de dépose. Les postes de prise et de dépose sont situés de part et d'autre et en bout d'une ligne de circulation.

Exemple de scénario : Prise de palettes au dock N° 4 et dépôt de palettes au dock N° 9.

I-3/ EXEMPLE DE PARCOURS DE CHARIOTS DANS L'USINE



I-4/ CONFIGURATION MATERIELLE DE L'OBJET TECHNIQUE

a- CHARIOT FILOGUIDE DE L'ENTREPRISE PERRIER: SYSTEME ETUDIE

a1- Photographie

a2- Caractéristiques techniques

Dimensions:
- longueur: 1 m 80
- largeur: 1 m 30
- hauteur: 0 m 90

Poids:
- à vide, sans batterie: 600 kg
- charge maximale autorisée: 1000 kg

Batterie:
- batterie de 48 V 350 Ah
- autonomie: 16 h
- poids : 550 kg
- recharge automatique sur patins

Vitesse:
- 7 vitesses différentes avec un maximum de 1 m/s sur ligne droite

contraintes extérieures:
- eau
- poussières
- vibrations

a3- Superviseur (Automate)

Un superviseur peut communiquer en permanence avec les chariots et les docks.
La communication avec les chariots se fait par ondes radio grâce à des antennes reliées au superviseur et réparties au plafond et grâce aux antennes embarquées sur les chariots.

La communication avec les docks se fait par réseau Ethernet.

Rôles du superviseur :

- Transmettre des scénarios aux chariots (un scénario correspond uniquement à un déplacement entre 2 docks selon un parcours défini) :

Exemple de 4 scénarios successifs :

Départ	Arrivée
Zone de recharge batterie	File d'attente N°1
File d'attente N°1	Prise de palette au dock N°4
Dock N°4	Dépose de palette au dock N°9
Dock N°9	File d'attente N°2

- S'assurer qu'il n'y a pas de problèmes lors de la prise ou de la dépose de palettes.

Exemples: - Le chariot vient faire une prise à une base où il n'y a pas de palettes à prendre.
- Le chariot vient faire une dépose sur une base déjà occupée par une palette.

a4- Fil de guidage

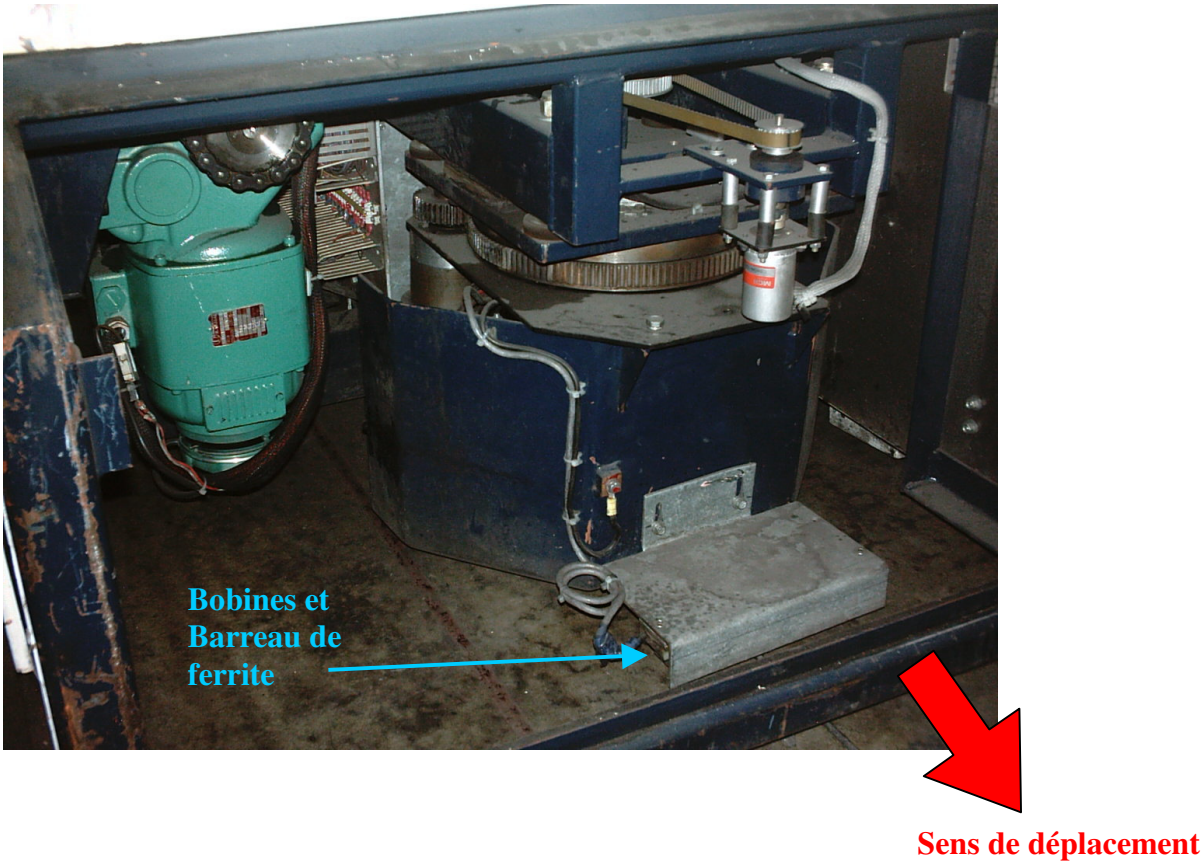
- enterré à 1 cm du sol
- section: 2,5 mm2
- courant alternatif sinusoïdal de 500 mA, 15 kHz
- résistance de 5 à 10 Ohms sur quelques centaines de mètres

Remarque: Si le fil de guidage est coupé, il existe des "détecteurs de coupure" qui déterminent l'emplacement de la coupure à quelques cm près.

a5- Constituants du chariot

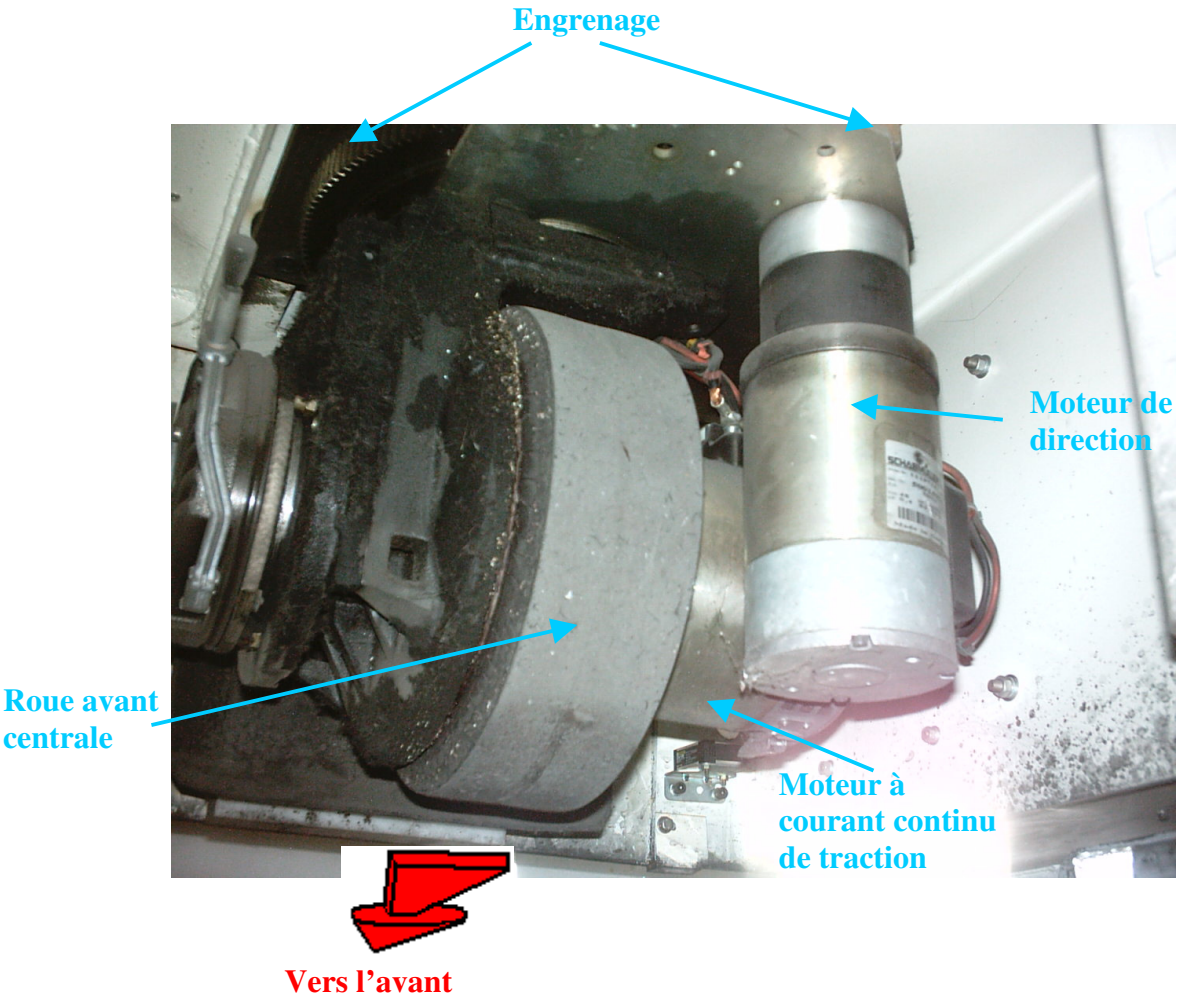
Bobines de détection du fil de guidage

2 bobines situées aux extrémités d'un barreau de ferrite associées chacune à un condensateur ont une fréquence de résonance réglée sur la fréquence du courant alternatif circulant dans le fil de guidage. Elles détectent le champ magnétique généré par ce courant, ce qui permettra au microprocesseur de déterminer la position du chariot par rapport au fil de guidage, et par la suite, de rectifier, si nécessaire, le parcours du chariot.



Roues et moteurs

- 1 roue avant centrale avec un système d'engrenage liant mécaniquement entre eux, le moteur de traction et le moteur de direction.



Remarque : Cet ensemble roue avant / moteurs, se trouve dans le carter bleu de la photo précédente. On observe également l'engrenage au dessus du carter.

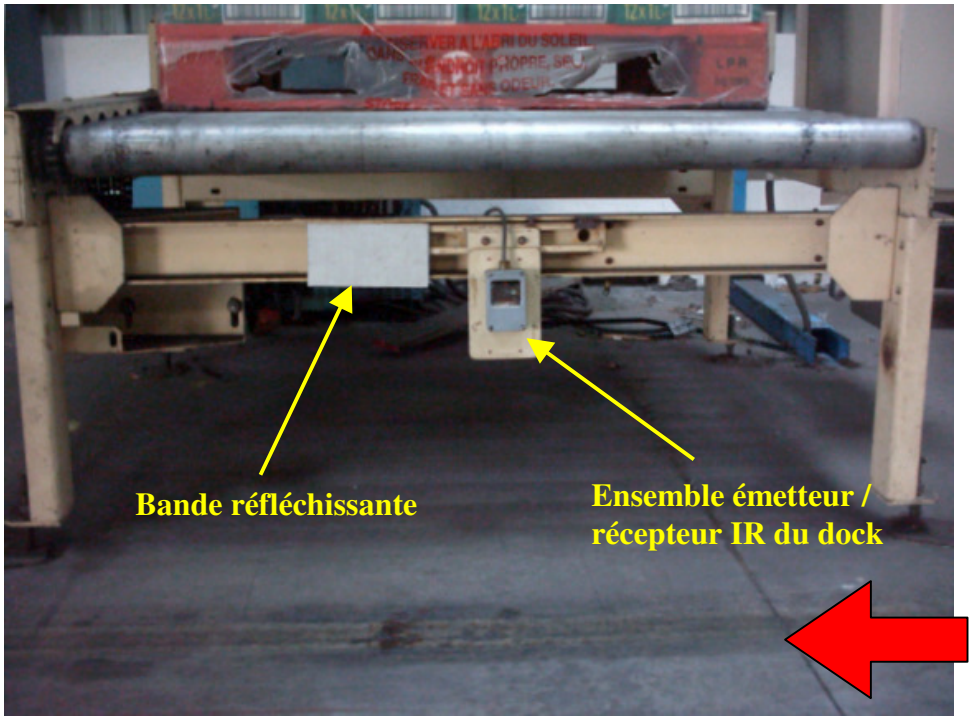
- 2 roues libres à l'arrière

- Le moteur de traction est un moteur à courant continu 48 V piloté par un variateur de vitesse 70 A qui entraîne le chariot avec 7 vitesses différentes possibles :

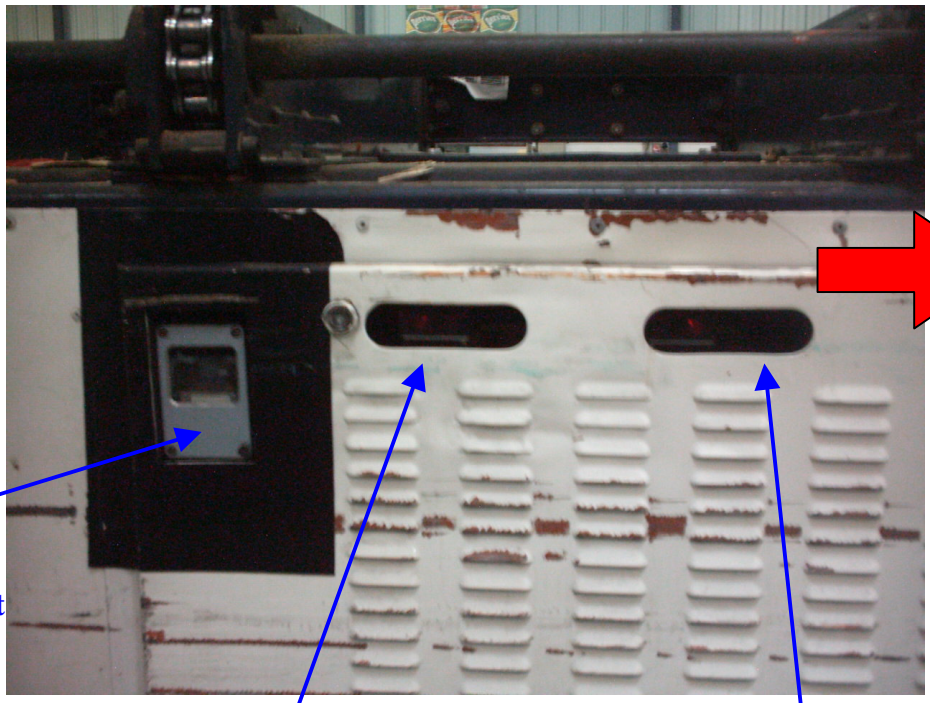
  - vitesse lente de départ
  - vitesse lente à l'approche d'un dock
  - vitesse lente dans les courbes
  - vitesse lente quand détection obstacle à distance
  - vitesse super lente de positionnement précis devant un dock
  - vitesse rapide (1 m/s) sur ligne droite
  - vitesse pour les tests de maintenance

Positionnement devant un dock : Poste de chargement ou de déchargement de palettes

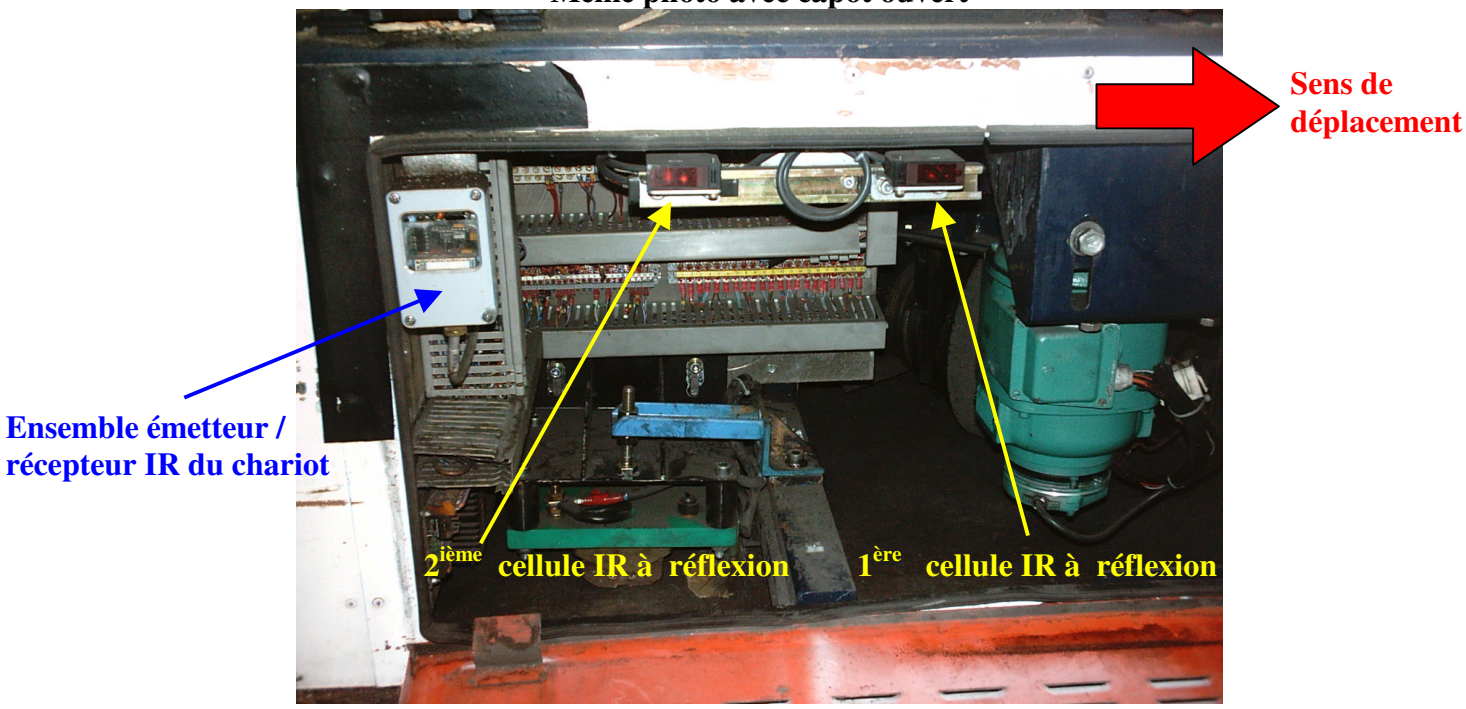
Le dock est muni d'un ensemble émetteur / récepteur Infra Rouge et d'une bande réfléchissante.



Le chariot est muni également sur son côté droit d'un même ensemble émetteur / récepteur IR et de 2 cellules infra rouge à réflexion.



Même photo avec capot ouvert



Le chargement (comme le déchargement) se fait par une procédure de type maître-esclave par les 2 ensembles émetteur / récepteur.

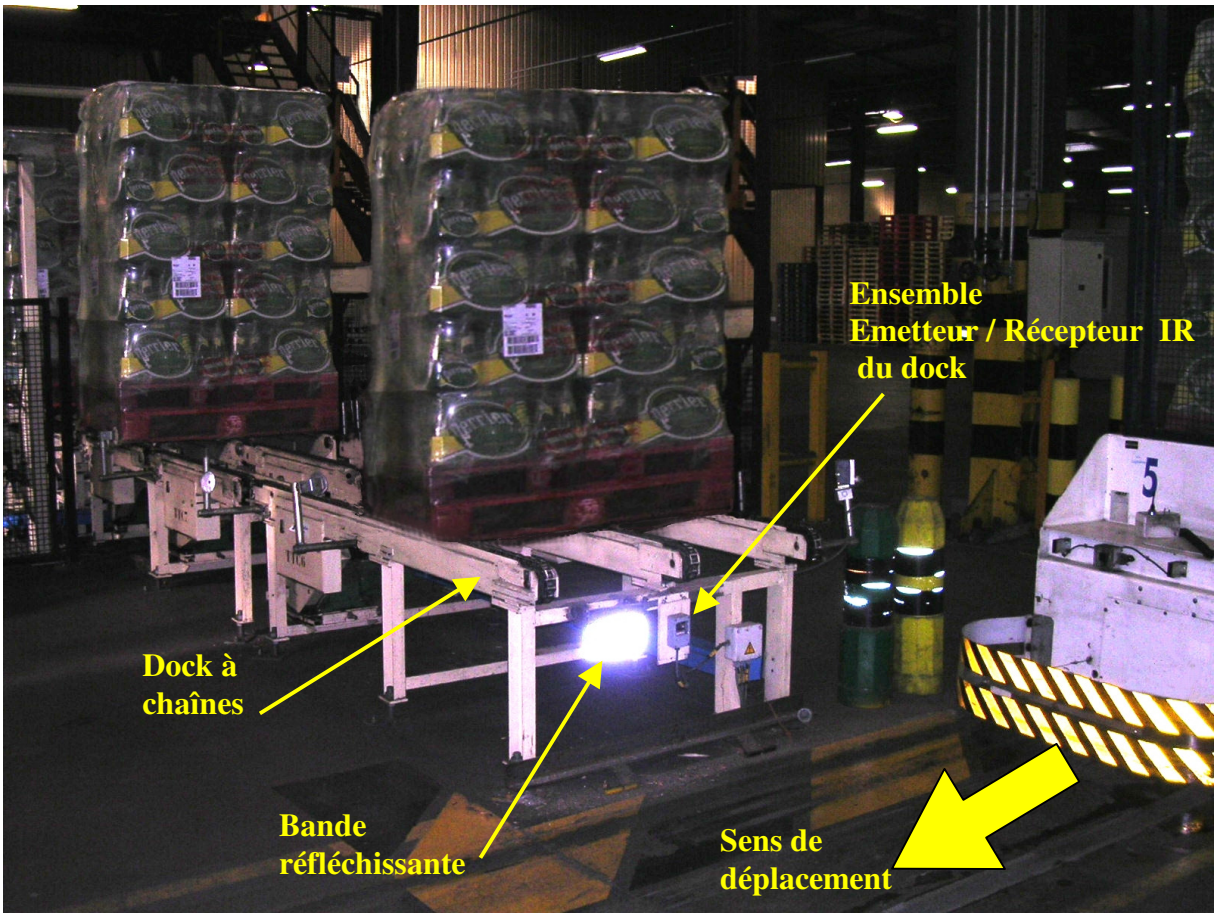
Cas d'un chargement de palette :

Lorsqu'une palette est en attente de chargement, le dock l'indique en allumant son émetteur IR.
A l'approche d'un dock (~3m) le chariot passe au dessus d'une « balise » au sol et la détecte, ce qui le fait passer en vitesse lente.

Lorsque la 1ère cellule IR à réflexion du chariot passe devant la bande réfléchissante du dock, un ordre de ralentissement supplémentaire est donné. Lorsque c'est au tour de la 2ième cellule à réflexion, le chariot s'arrête avec précision.
Les ensembles Emetteur / récepteur du dock et du chariot se situent alors en face l'un de l'autre et la communication peut commencer.
Le chariot indique au dock grâce à son émetteur IR qu'il est prêt à réceptionner la palette.
Les rouleaux ou les chaînes du dock et du chariot se mettent en marche pour transférer la palette.
Quand le superviseur est informé du bon déroulement du chargement de la palette, il éteint l'émetteur IR du dock et communique un nouveau scénario au chariot (transporter la palette vers un autre dock), celui-ci redémarre.

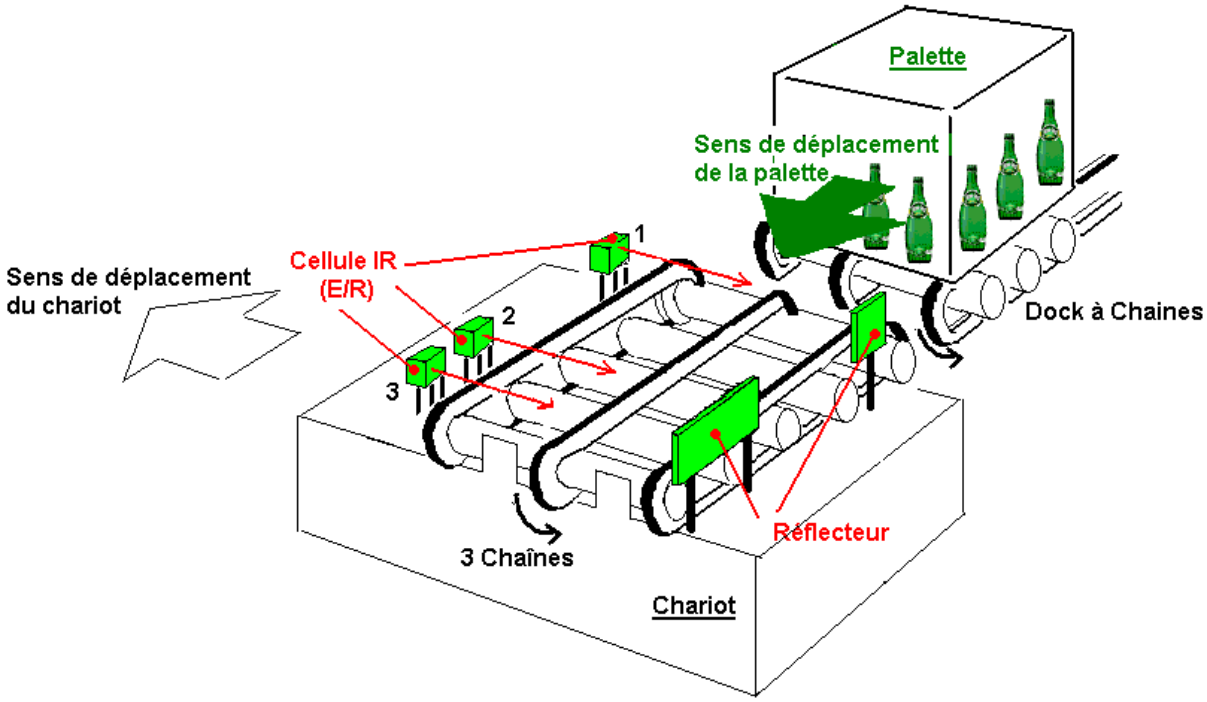
Chargement d'une palette sur le chariot :

Initialement la palette est positionnée sur les rouleaux ou les chaînes du dock, en attente d'un chariot.



Quand un chariot est stoppé devant le dock, un ordre de chargement met en rotation les rouleaux ou les chaînes du dock et du chariot. Sur le chariot c'est un moteur à courant continu qui entraîne les rouleaux ou les chaînes La palette est alors transférée du dock vers le chariot.

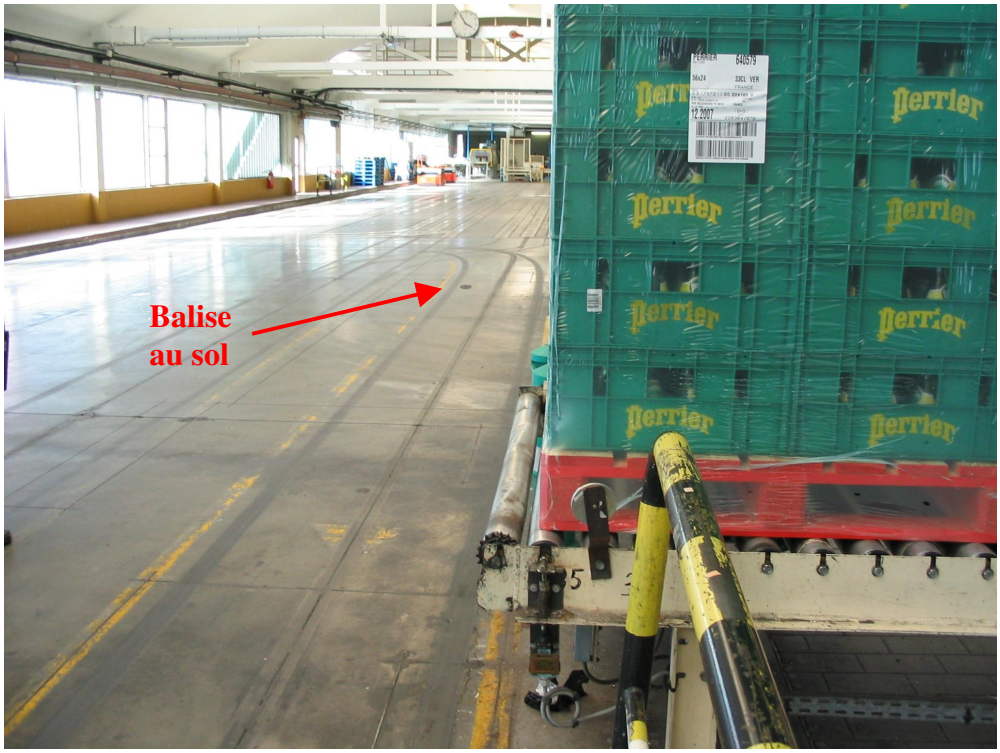
Détail sur la phase de transfert



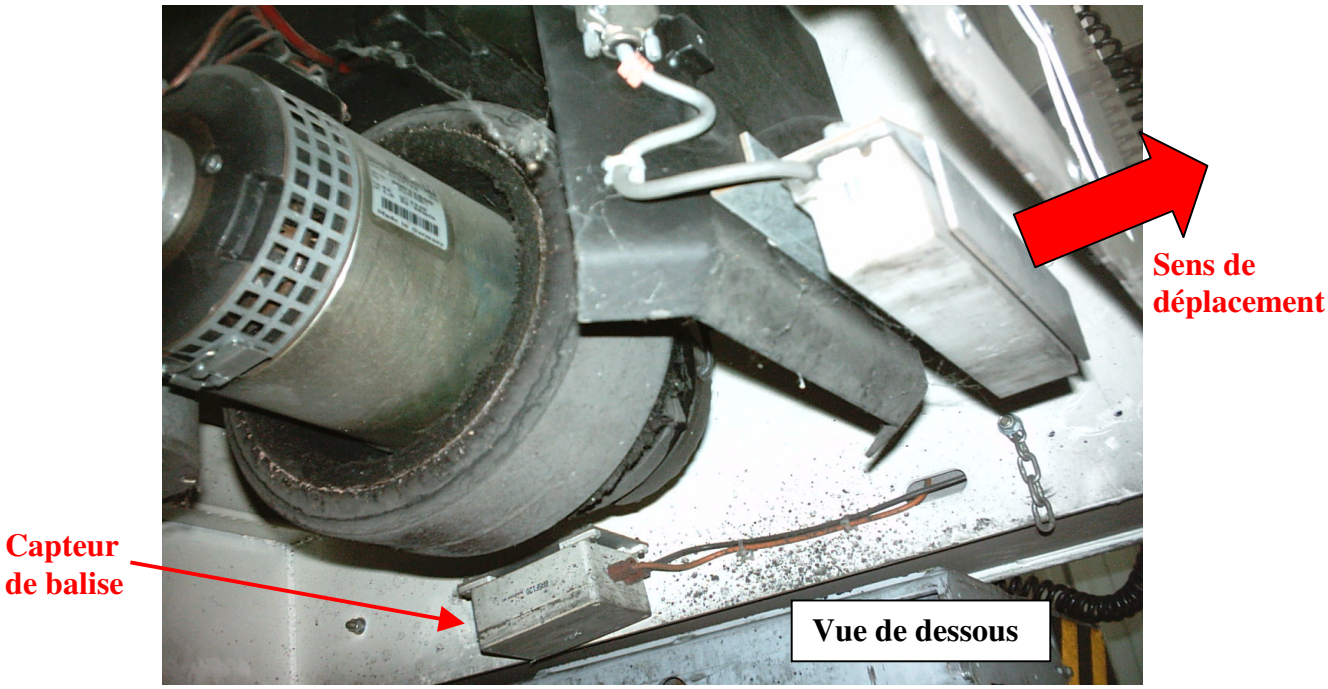
Le chariot dispose sur un coté de 3 cellules Infra Rouges à rétro réflexion (Emetteur / Récepteur) et sur l'autre côté de 2 réflecteurs. La cellule 2 sert uniquement à donner l'ordre de ralentir la rotation des rouleaux ou des chaînes quand la palette arrive presque en bout de course.

Sécurité : Une palette est considérée comme correctement positionnée au fond du chariot, si la cellule N° 1 est libérée, et si la cellule N° 3 est occultée.

Ordre de variation de vitesse



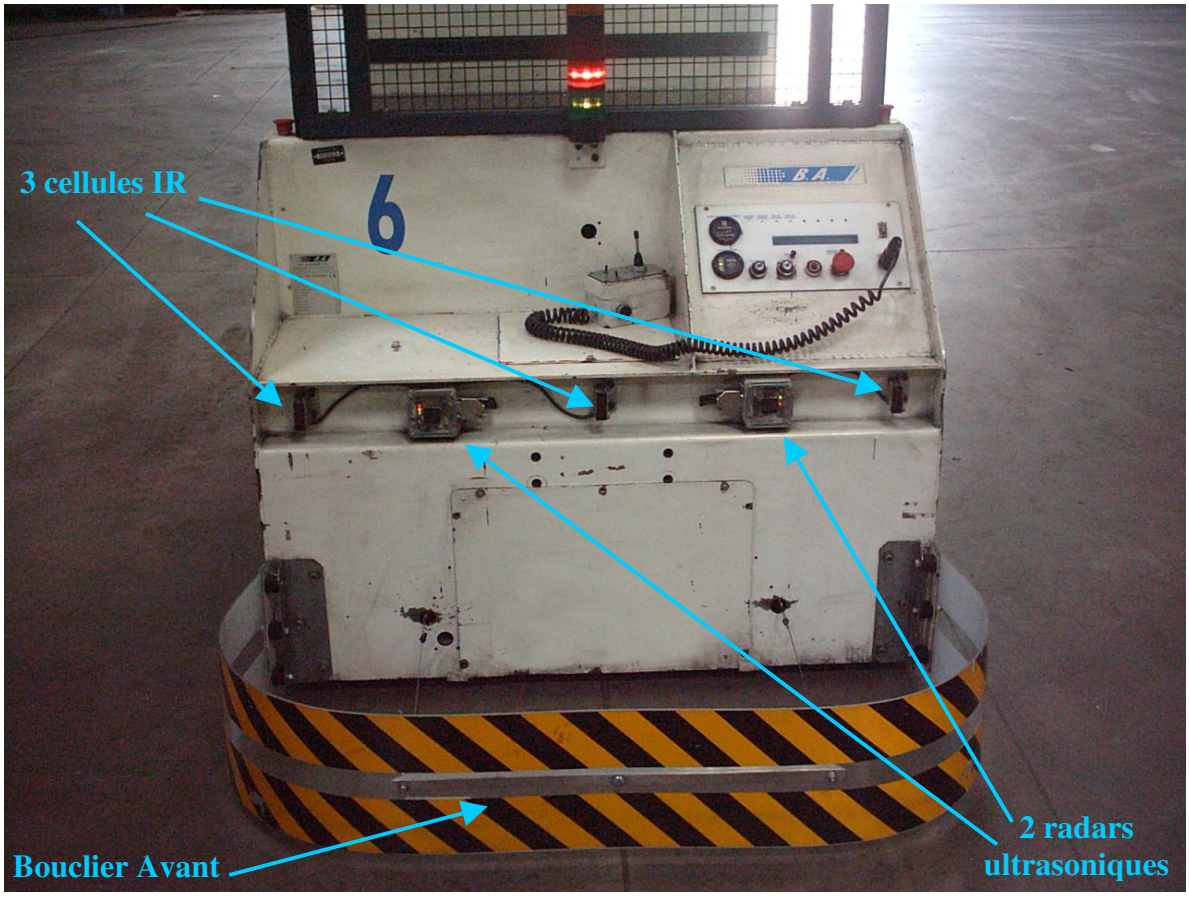
Des petites spires, appelées « balises » (10 cm de diamètre) sont enterrées dans le sol. Un capteur disposé sous le chariot permet de détecter leur présence par mesure de leur impédance.

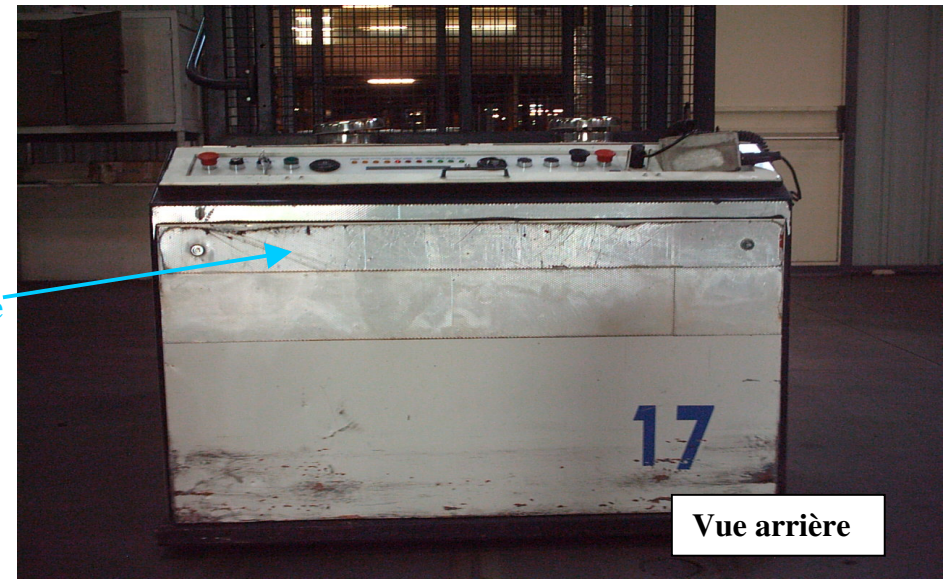


Selon son scénario, le chariot tient compte ou pas des balises détectées sur son parcours. Ces balises peuvent lui indiquer un changement de vitesse mais également un passage en « hors fil ».

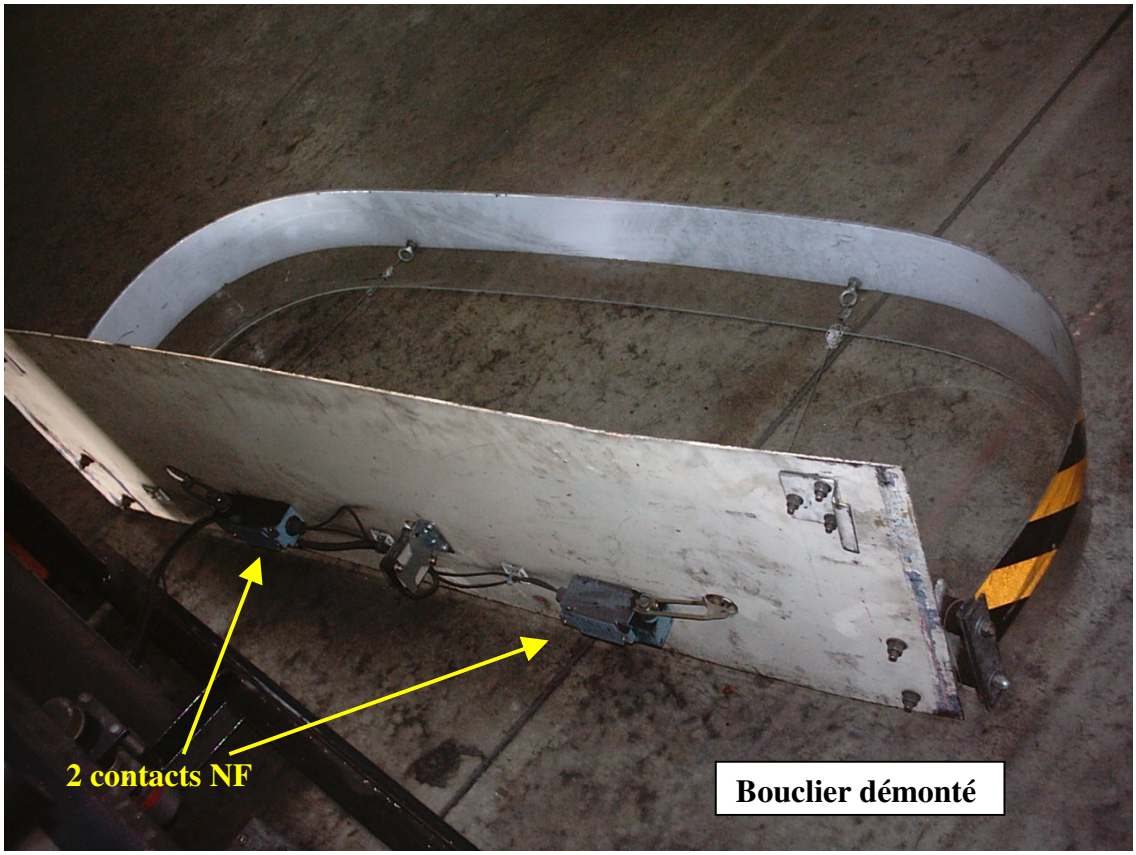
Capteurs de sécurité à l'avant : Le chariot est équipé de :

- 3 Cellules IR détectant la bande blanche réfléchissante située à l'arrière du chariot qui le précède → Ralentissement →→ Si ces 2 types de capteurs sont activés le chariot s'arrête à 1 m du chariot qui le précède.
- 2 Radars ultrasoniques à l'avant (1 à droite et 1 à gauche) →→ → Ralentissement en cas de détection d'obstacle à distance, la vitesse normale étant rétablie 3 s après l'élimination de celui-ci.





- 1 Bouclier à l'avant muni de 2 contacts de type NF (normalement fermé).
  Si le bouclier est touché, il y a arrêt du chariot, puis le chariot redémarre automatiquement au bout d'un délai de 3 s après la disparition de l'obstacle.



Ces 2 contacts sécurité sont câblées en série.

Biper

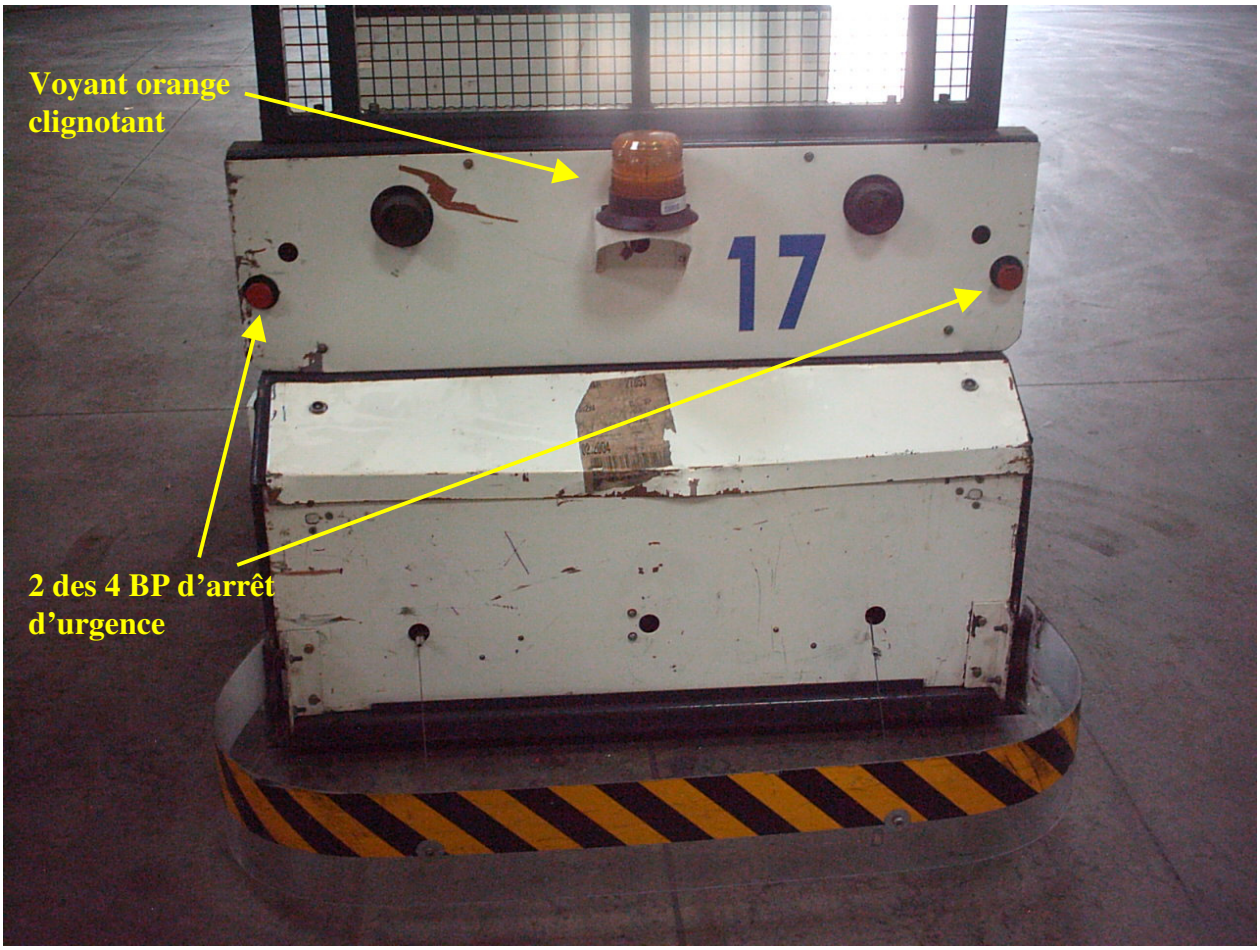
Le biper situé sous le capot arrière du chariot, sonne en cas de recul, de détection d'un défaut, ou de contact sur le bouclier avant.

Voyant

Tous les chariots disposent au moins d'un voyant orange qui clignote en cas de mouvement. Certains chariots possèdent également un voyant rouge pour signaler un défaut et un voyant vert pour indiquer sa mise sous tension.

Arrêt d'urgence

Une action sur l'un des 4 boutons poussoirs situés aux 4 coins du chariot, provoque un arrêt immédiat.

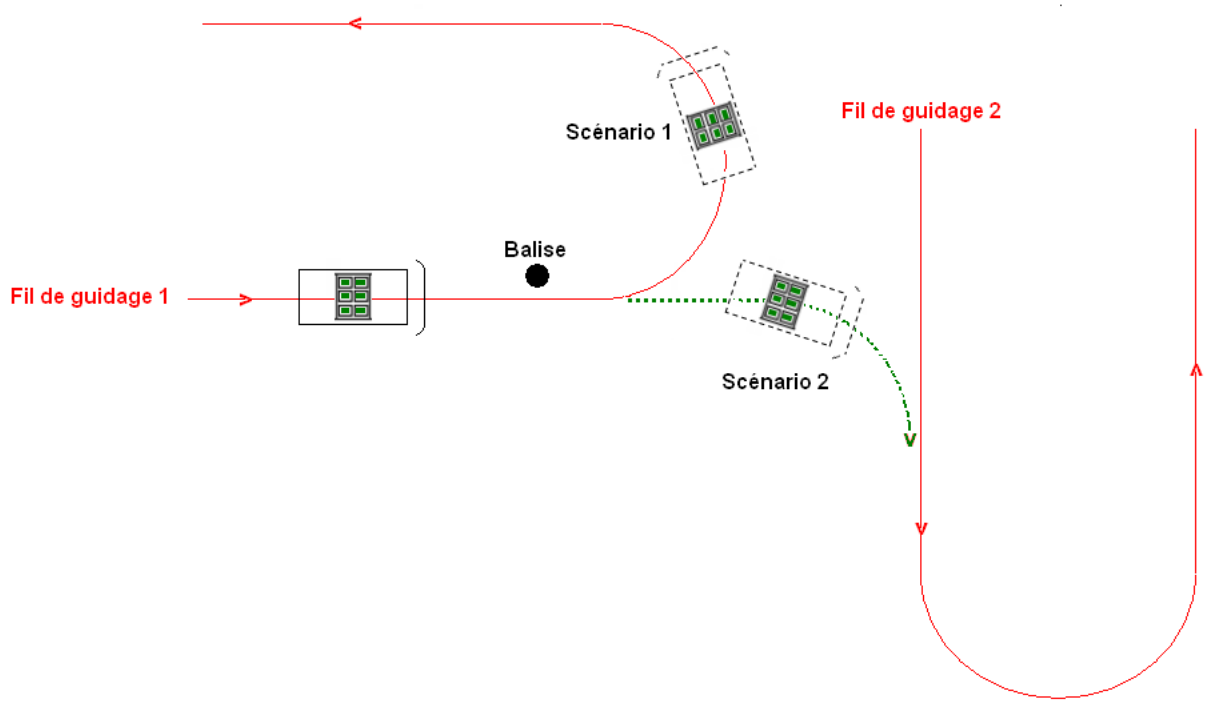


Fonctionnement en "hors fil"

Un chariot fonctionne en « hors fil » quand son parcours devient indépendant du fil de guidage. Cela est nécessaire quand il doit réaliser un virage à 90° et ou passer d'un parcours de fil à un autre.

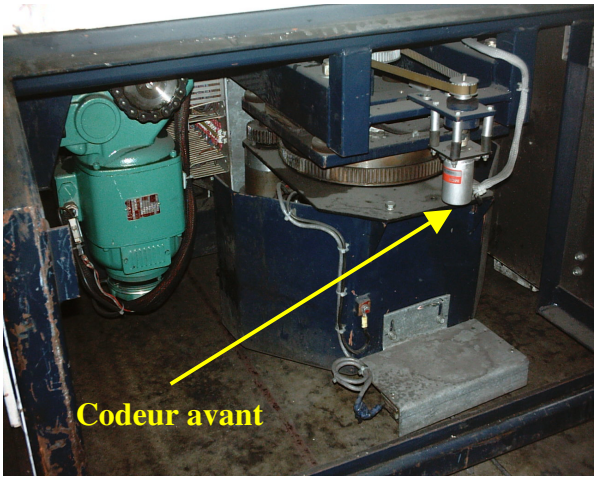
Quand le chariot rencontre une balise sur son parcours, son scénario lui indique s'il doit en tenir compte en effectuant une manœuvre particulière telle que :

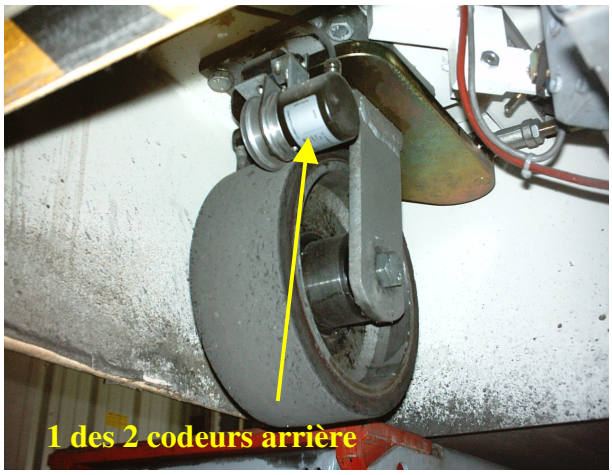
- Scénario 1 : ralentissement dans la courbe.
- Scénario 2 : passage en « hors fil » pour changer de fil de guidage.



Pendant la phase de « hors fil », seuls des capteurs incrémentaux liés aux 3 roues, indiquent au chariot sa position relative :

- Un codeur incrémental à l'avant indique l'angle de rotation effectué par la roue avant.
- Deux codeurs incrémentaux à l'arrière, permettent d'évaluer par moyennage la distance parcourue.





Remarque :

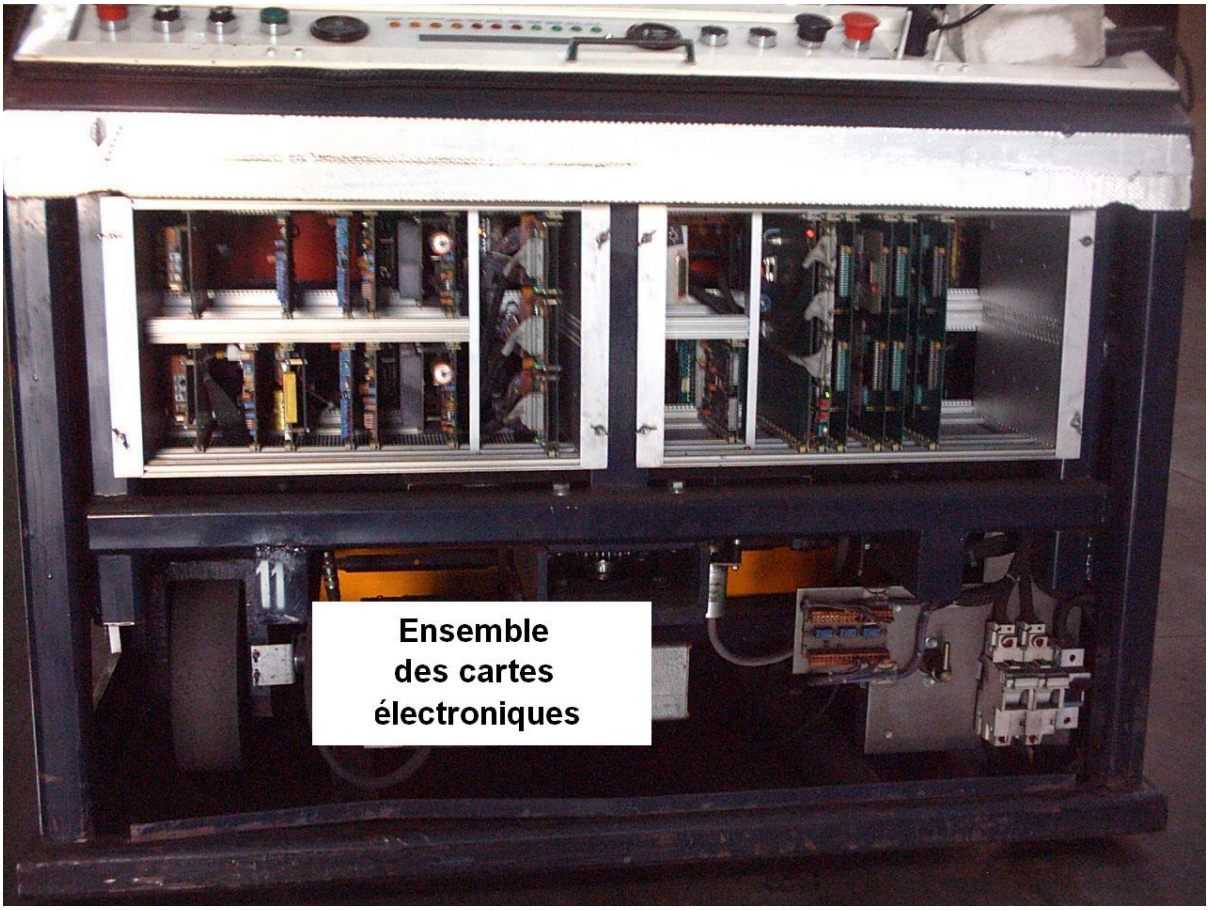
Le « hors fil » ne peut excéder 1,2 m par manque de précision des informations des codeurs.

Lorsque la phase de « hors fil » est terminée, le chariot recherche automatiquement le fil de guidage. Si le fil de guidage n'est pas trouvé, le chariot s'arrête et se met en défaut.

Programme

Les différentes cartes électroniques (capteurs, moteurs…) sont pilotées par un programme inscrit dans une EEPROM associée à un microprocesseur 6809 de MOTOROLA et des ports d'entrées / sorties 6821.

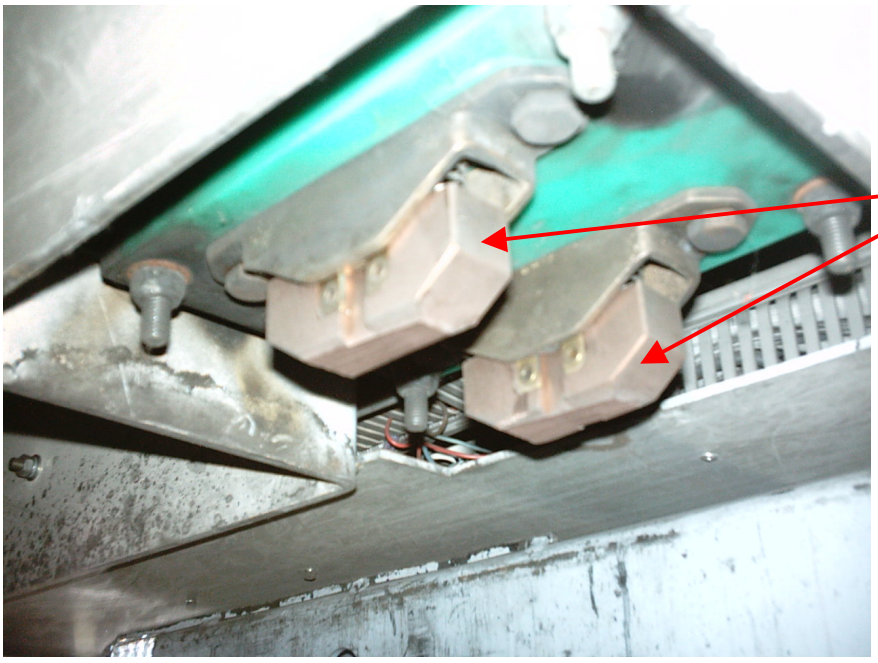
Vue arrière du chariot



Après que le superviseur ait transmis un scénario au chariot, celui-ci fonctionne en autonomie.

Recharge de la batterie

La recharge de la batterie est 100 % autonome (sauf rajout d'eau une fois par semaine). Elle se fait soit en fin de journée, soit quand la signalisation "Batterie Niveau Bas" est activée. L'envoi du chariot au poste de charge est géré par le superviseur. La durée de charge est de 8 h. La recharge est effectuée par des patins (contacts).



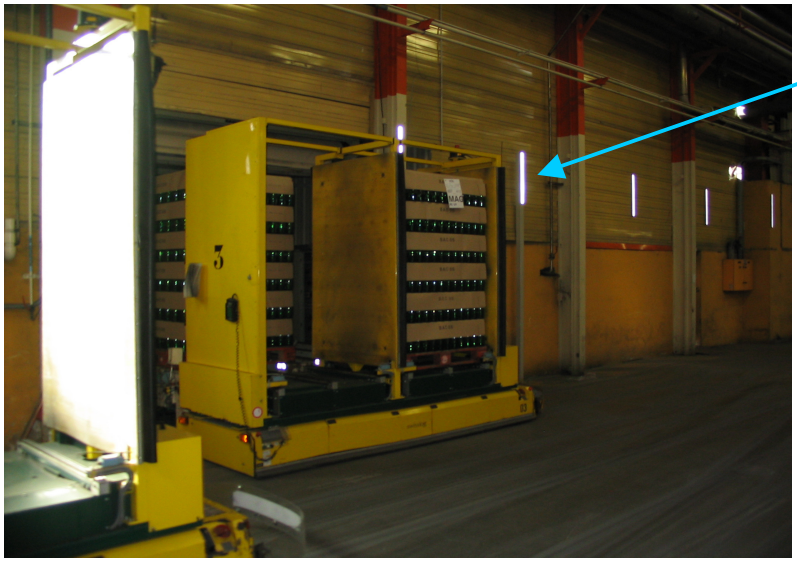
b- EVOLUTION DES CHARIOTS DANS L'USINE PERRIER

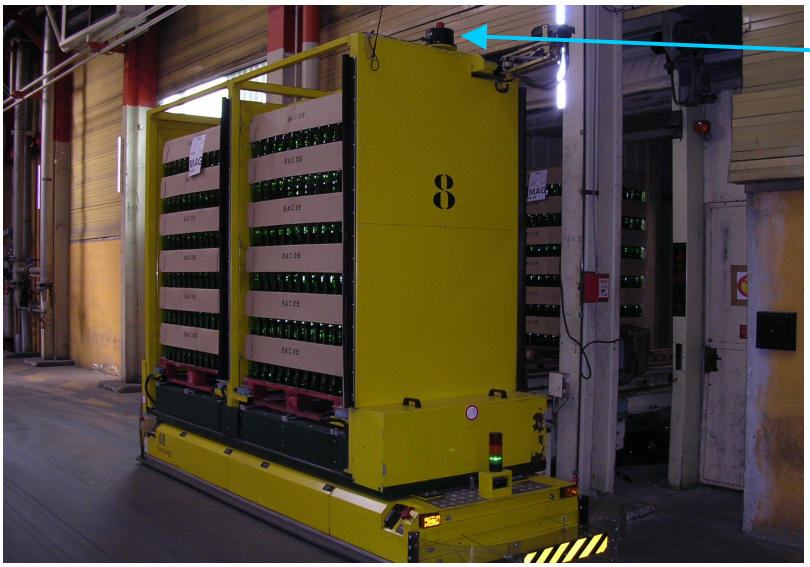
b1- 1ère évolution

Chariot filoguidé avec une roue motrice et directrice à l'avant et deux directrices à l'arrière.
→ Lorsque le chariot fait un virage, il reste tangent au fil.

b2- 2ième évolution: Nouvelle technologie

Le chariot est piloté par un système à guidage laser.
Une série de réflecteurs est posée avec grande précision sur les murs et le chariot dispose sur sa partie haute d'une tête laser tournante. Par triangularisation et grâce à la mémorisation d'une matrice avec un maillage de 5 mm par 5 mm qui représente l'usine virtuellement, le chariot sait se situer en permanence dans l'enceinte de l'usine.

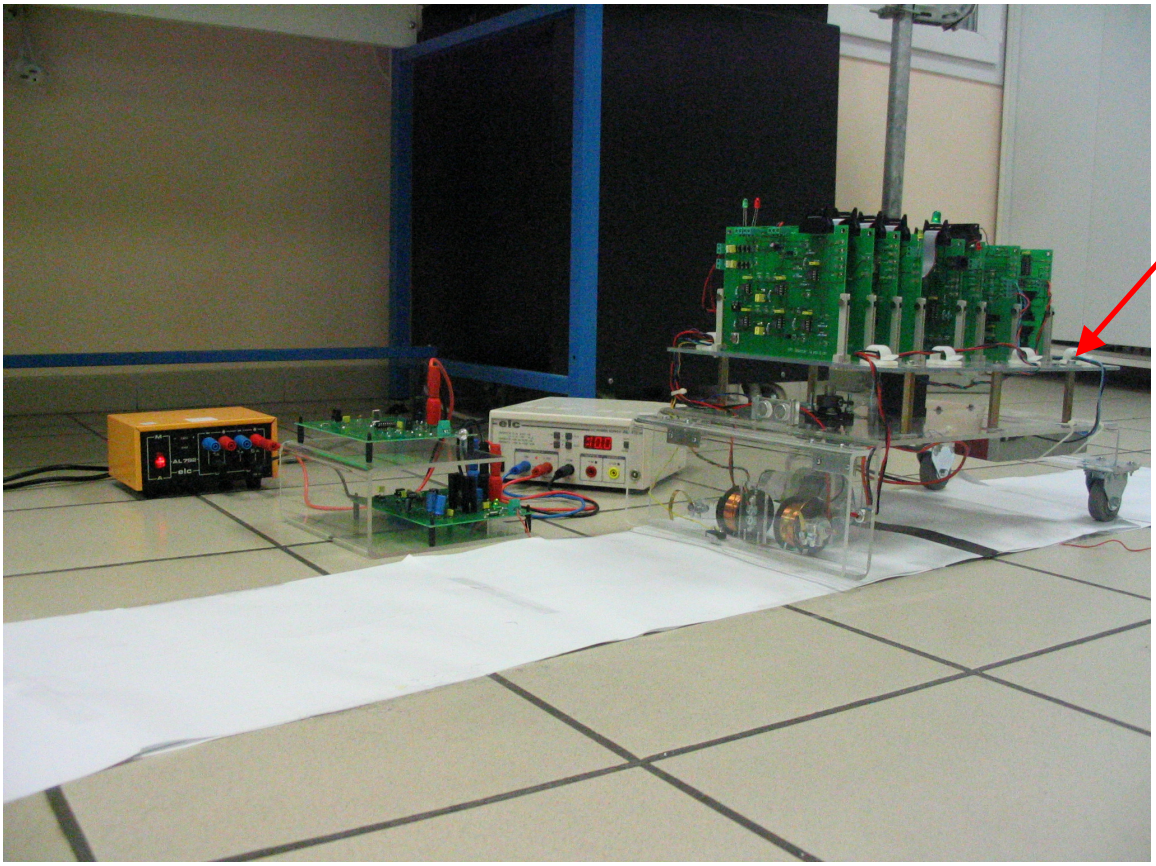


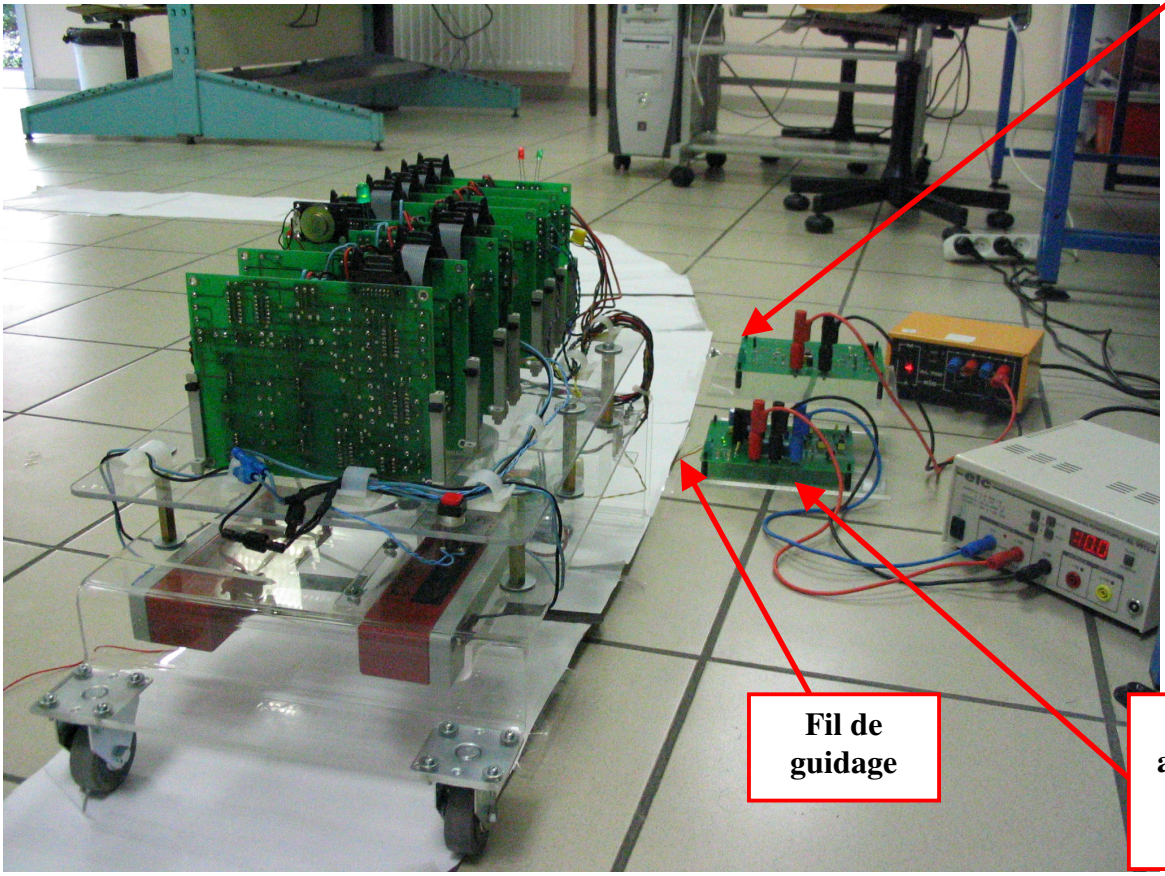


Avantages de cette solution

- Economie de la pose du fil de guidage à enterrer dans le sol.
- Modification aisée du parcours du chariot.

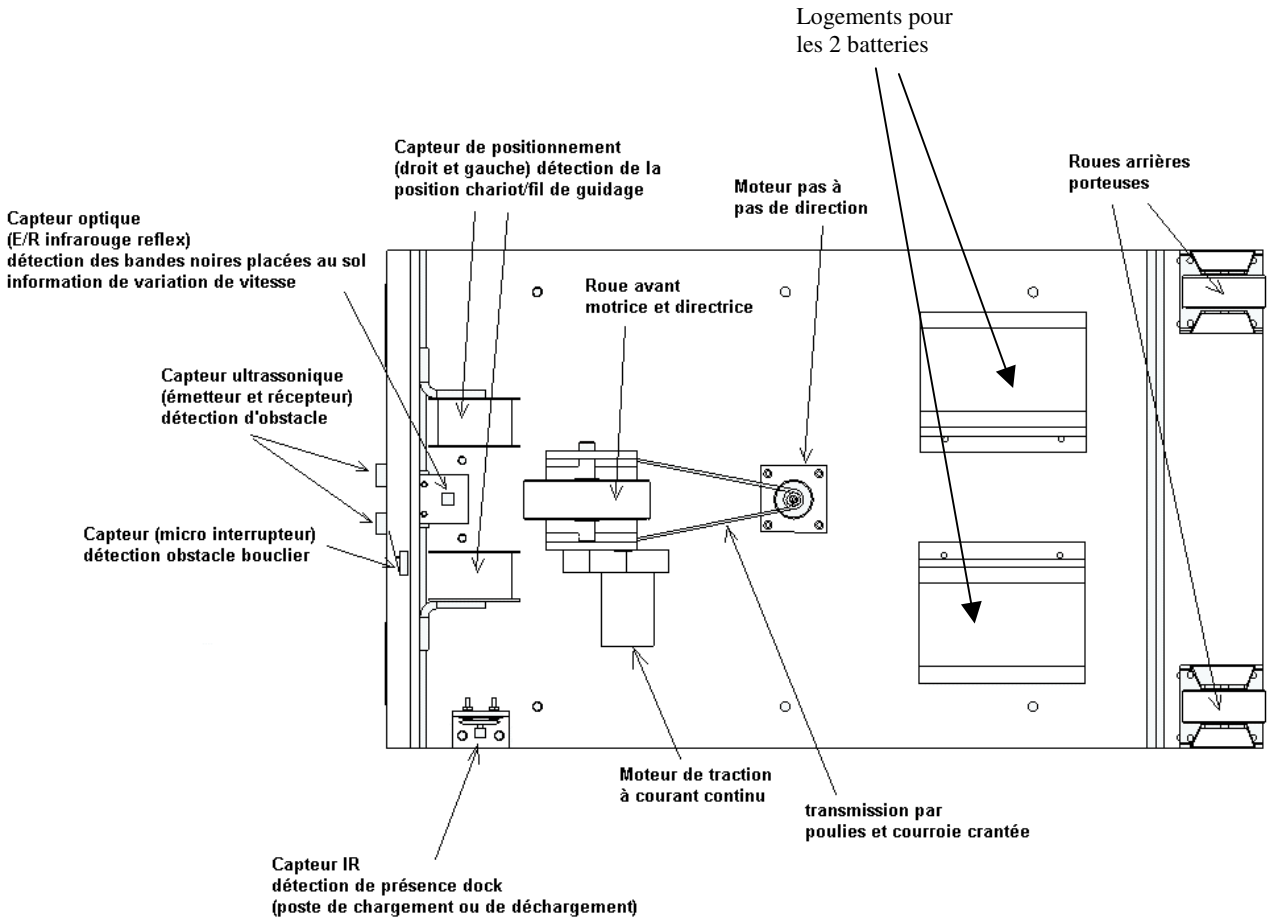
c- CHARIOT FILOGUIDE MAQUETISE



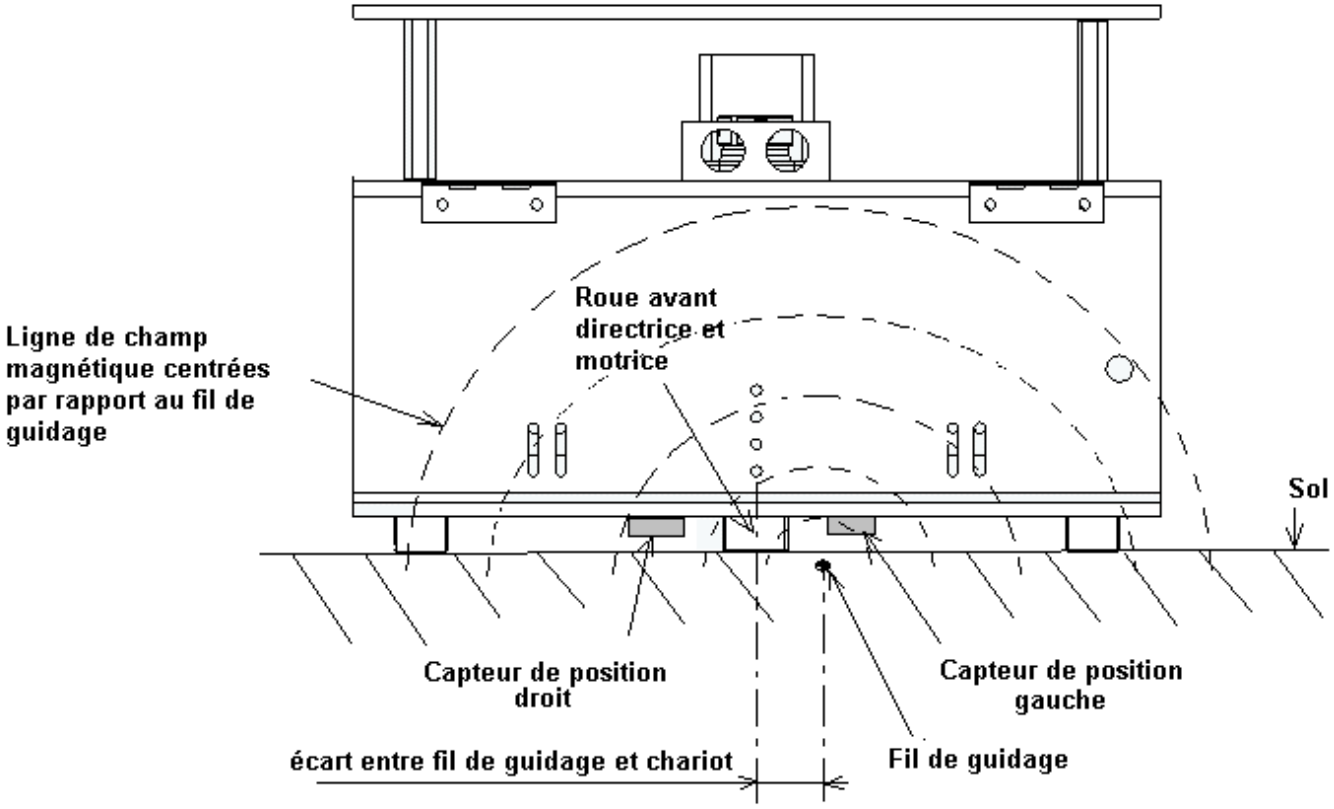


DESCRIPTIF DU MATERIEL MECANIQUE ET ELECTRONIQUE

c1- Vue de dessous



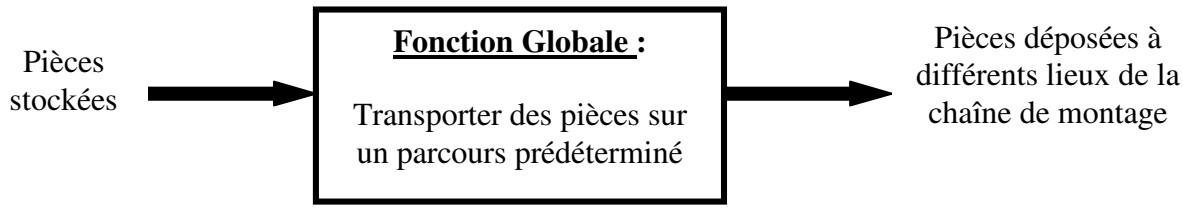
c2- Vue de face



II/ ANALYSE FONCTIONNELLE DE L'OBJET TECHNIQUE: CHARIOT MAQUETISE

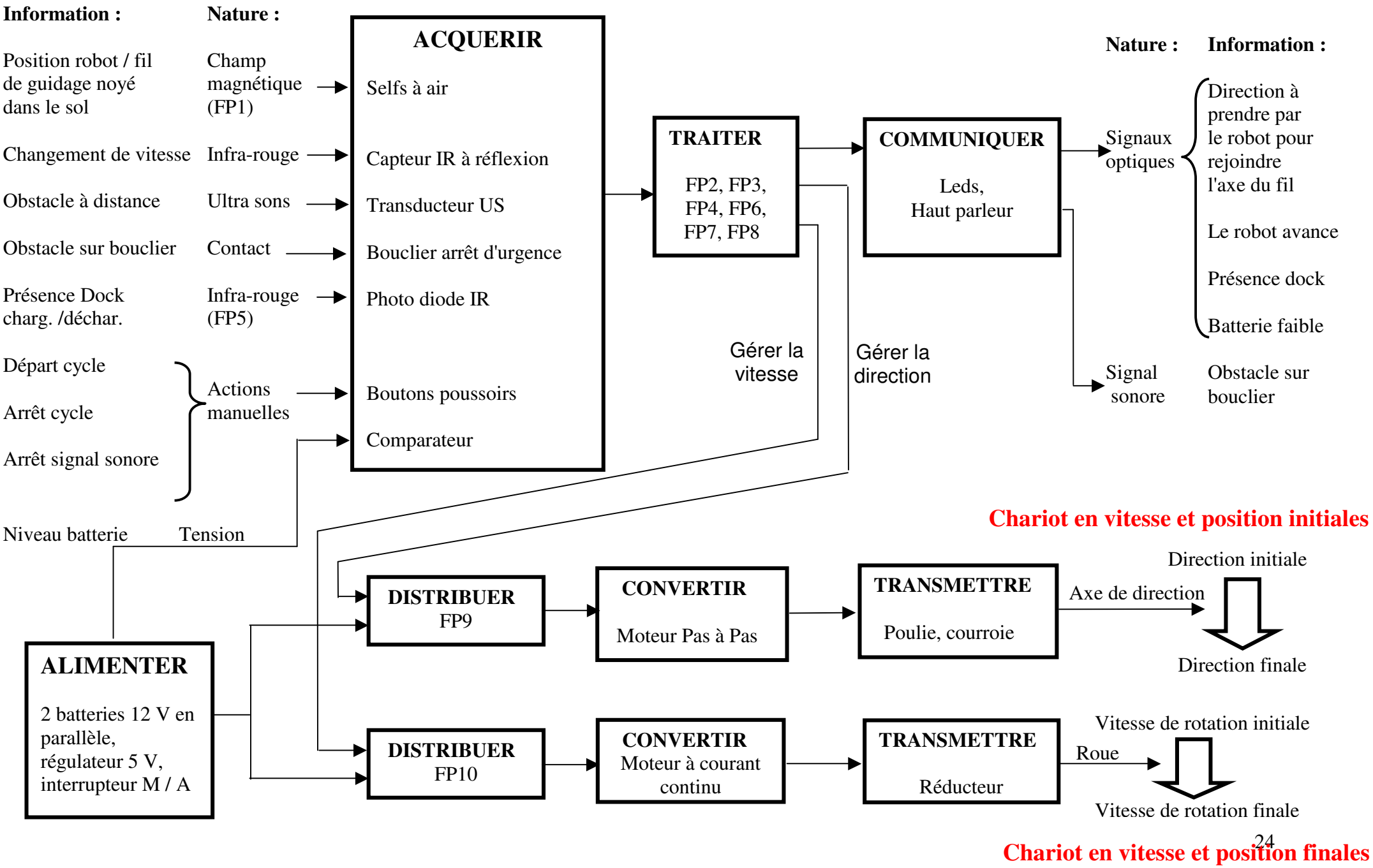
II-1/ SCHEMA FONCTIONNEL DE NIVEAU 1 DE L'O.T.

Matière d'œuvre: Nature matérielle



Quelques objets réalisant la même fonction globale:
Métro – T.G.V. – Téléphérique

II-2/ MODELE FONCTIONNEL DE L'O.T.



ETUDE DU MODELE FONCTIONNEL

Fil de guidage et ses capteurs

Un fil de guidage noyé dans le sol est parcouru par un courant sinusoïdal alternatif de quelques centaines de mA d'amplitude et de 15 kHz de fréquence. Il génère un champ magnétique qui est détecté par 2 ensembles (bobine + condensateur) situés de chaque côté du chariot.
En fonction de la position du chariot, l'intensité du signal mesuré par chacun des capteurs est différente. Un "calcul d'erreur" est alors effectué afin de déterminer avec précision, la position relative du chariot par rapport au fil de guidage.
Ainsi des signaux de "commande de direction" sont transmis au moteur pas à pas, pour que la roue avant directrice amène le chariot à se centrer par rapport au fil de guidage afin de suivre le parcours prédéterminé.

Roues et moteurs

- 1 roue avant centrale avec un système poulie / courroie liant mécaniquement entre eux le moteur de traction (moteur à Courant Continu) et le moteur de direction (moteur Pas à Pas).
- 2 roues libres à l'arrière.

Positionnement devant un dock

Les docks (postes de chargement ou de déchargement des palettes) émettent des signaux Infra Rouges. Quand le chariot muni d'un capteur Infra Rouge détecte la présence de l'un d'eux, un ordre d'arrêt est donné.
Pour simuler que la prise ou la pose de la palette est achevée, un appui sur le bouton poussoir BPfinchag empêchera l'émission du signal Infra Rouge à partir du dock et le chariot redémarrera à petite vitesse.

Ordre de variation de vitesse

En fonction de la géométrie du parcours, des bandes noires sont tracées sur le sol blanc.
Quand le capteur optique Infra Rouge à réflexion situé sous le chariot, détecte une bande noire, soit un ordre d'accélération est donné (ceci peut se produire, par exemple, dans le cas où le chariot peut se déplacer sur une longue ligne droite), soit un ordre de ralentissement est donné (ceci peut se produire, par exemple, à la proximité d'un virage ou d'un dock).
Au démarrage, le chariot démarre avec une petite vitesse (vitesse N° 1). A la détection de la 1ère bande noire, il accélère (vitesse N° 2). A la détection de la 2ième bande noire, il ralentit (vitesse N° 1), et ainsi de suite. Un calcul de la vitesse à transmettre au chariot est alors effectué. Ainsi des signaux de "commande de traction" à rapport cyclique variable sont transmis au moteur à Courant Continu, pour que la roue avant motrice amène le chariot à se déplacer à la vitesse désirée.

Capteurs de sécurité à l'avant

- Un capteur ultrasonique situé à l'avant du chariot permet de détecter un obstacle à distance (personne ou matériel). Dans ce cas un ordre d'arrêt est transmis. Le chariot redémarre uniquement quand 3s se sont écoulées après la disparition de l'obstacle.

- Un bouclier muni d'un contact normalement ouvert est placé à l'avant. Si le bouclier est touché, le chariot reçoit l'ordre de s'arrêter (Arrêt d'urgence), et une signalisation sonore retentit. Le redémarrage sera opérationnel qu'après la suppression de l'obstacle et l'appui sur le bouton poussoir "Départ Cycle".

Biper et voyant

Le chariot émet des informations sonores et lumineuses.

- Une sonnerie retentit s'il y a contact sur le bouclier avant.
- Un voyant rouge s'allume dès que le niveau de charge de la batterie est trop bas, c'est à dire inférieur à 10 V.
- Un voyant vert clignotant indique que le chariot est en mouvement.
- 2 voyants indiquent la position relative du chariot par rapport au fil de guidage (chariot trop à gauche ou trop à droite).
- 1 voyant jaune s'allume quand le chariot détecte la présence du dock.

Interrupteur "Marche / Arrêt"

Il permet l'alimentation en 5V et 12 V des cartes électroniques.

Bouton poussoir "Départ Cycle"

Un bouton poussoir "Départ Cycle" permet de lancer la séquence de fonctionnement du chariot.

Bouton poussoir "Arrêt cycle"

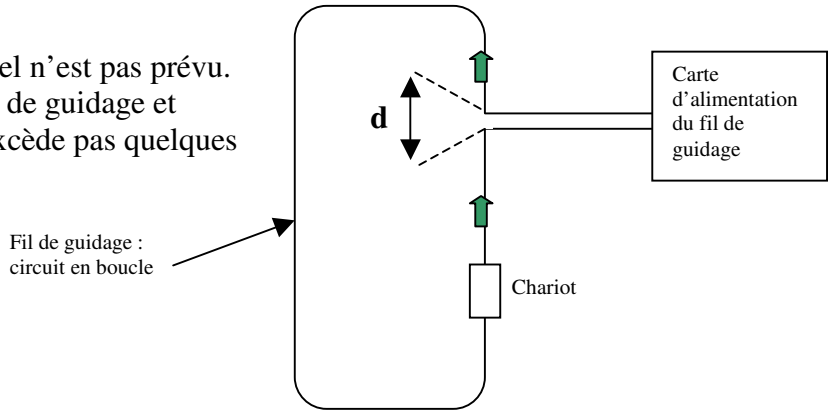
Le bouton poussoir Reset du PIC sert aussi d'arrêt d'urgence. Quand celui-ci est actionné, le programme est re-initialisé et le chariot est stoppé. Seul un appui sur le bouton poussoir "Départ Cycle" permettra de redémarrer le chariot en lançant une nouvelle séquence de fonctionnement.

Bouton poussoir "Arrêt signal sonore"

Ce bouton poussoir permet d'arrêter la sonnerie indiquant un contact sur le bouclier avant.

Fonctionnement en hors fil

Ce type de fonctionnement en tant que tel n'est pas prévu. Mais le chariot peut fonctionner sans fil de guidage et franchir la distance « d », si celle-ci n'excède pas quelques centimètres.



Programme

Les différentes cartes électroniques (capteurs, moteurs …) sont pilotées par un programme inscrit dans un PIC 16F877 de MICROCHIP.

Batterie

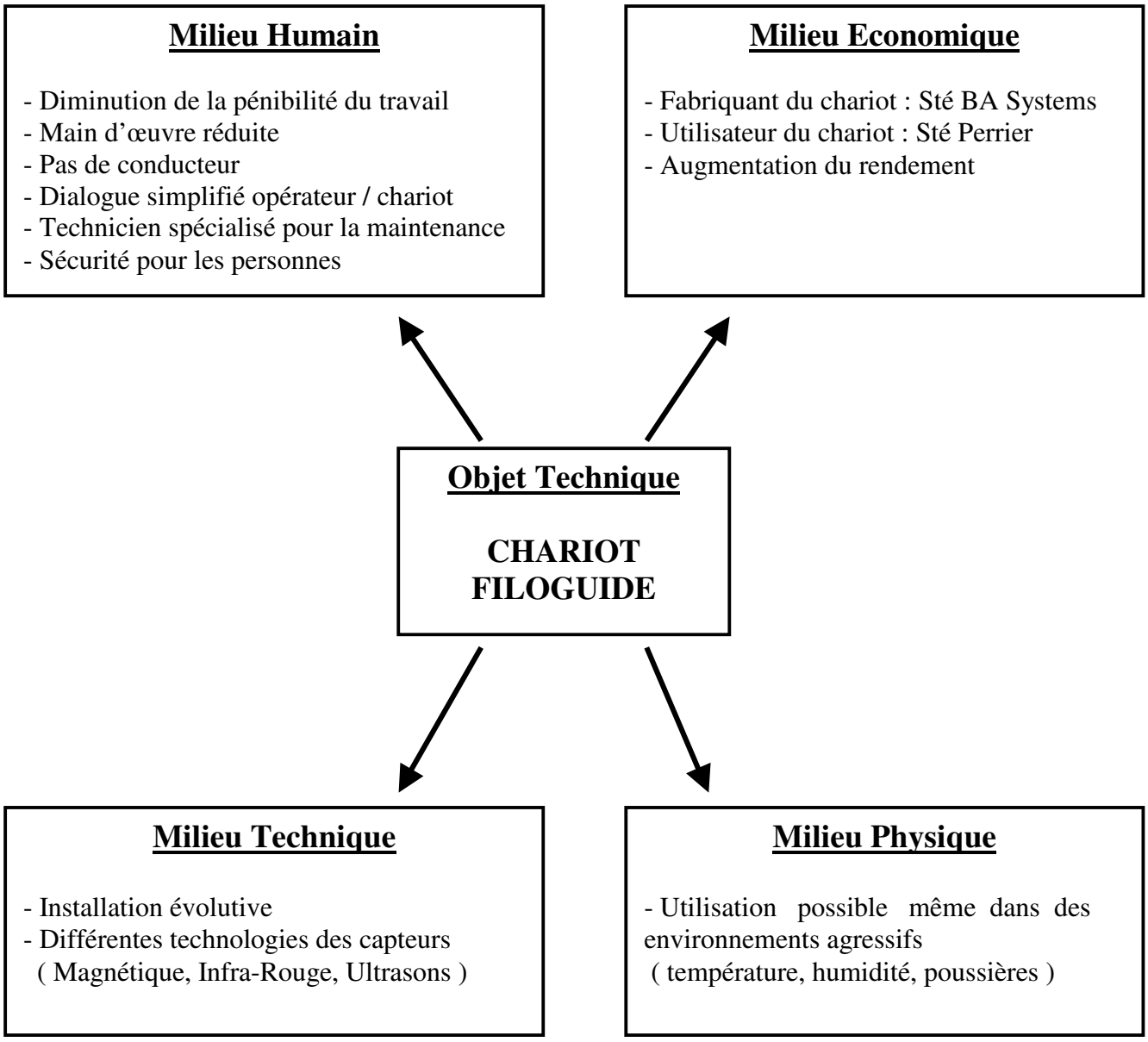
Un ensemble de 2 batteries est embarqué sur le chariot. Il assure l'apport d'énergie électrique au chariot afin qu'il puisse se déplacer de façon autonome.

II-3/ COMPARAISON ENTRE LE CHARIOT DE LA SOCIETE PERRIER ET LE CHARIOT MAQUETISE

Compléter le tableau suivant :

	Sté PERRIER	Chariot didactisé	Remarques éventuelles
Présence d'un superviseur ?			
Roues			
Liaison mécanique entre les 2 moteurs			
Positionnement devant un dock et Redémarrage			
Zone de chargement des palettes sur le chariot et le dock			
Ordre de variation de vitesse			
Nbr de vitesses différentes			
Capteurs de sécurité situés à l'avant			
Voyant			
Biper			
Marche et Arrêt d'urgence			
Fonctionnement en « hors fil »			
Programme			
Recharge de la batterie			

II-4/ RELATIONS ENTRE L'O.T. ET LES MILIEUX ASSOCIES



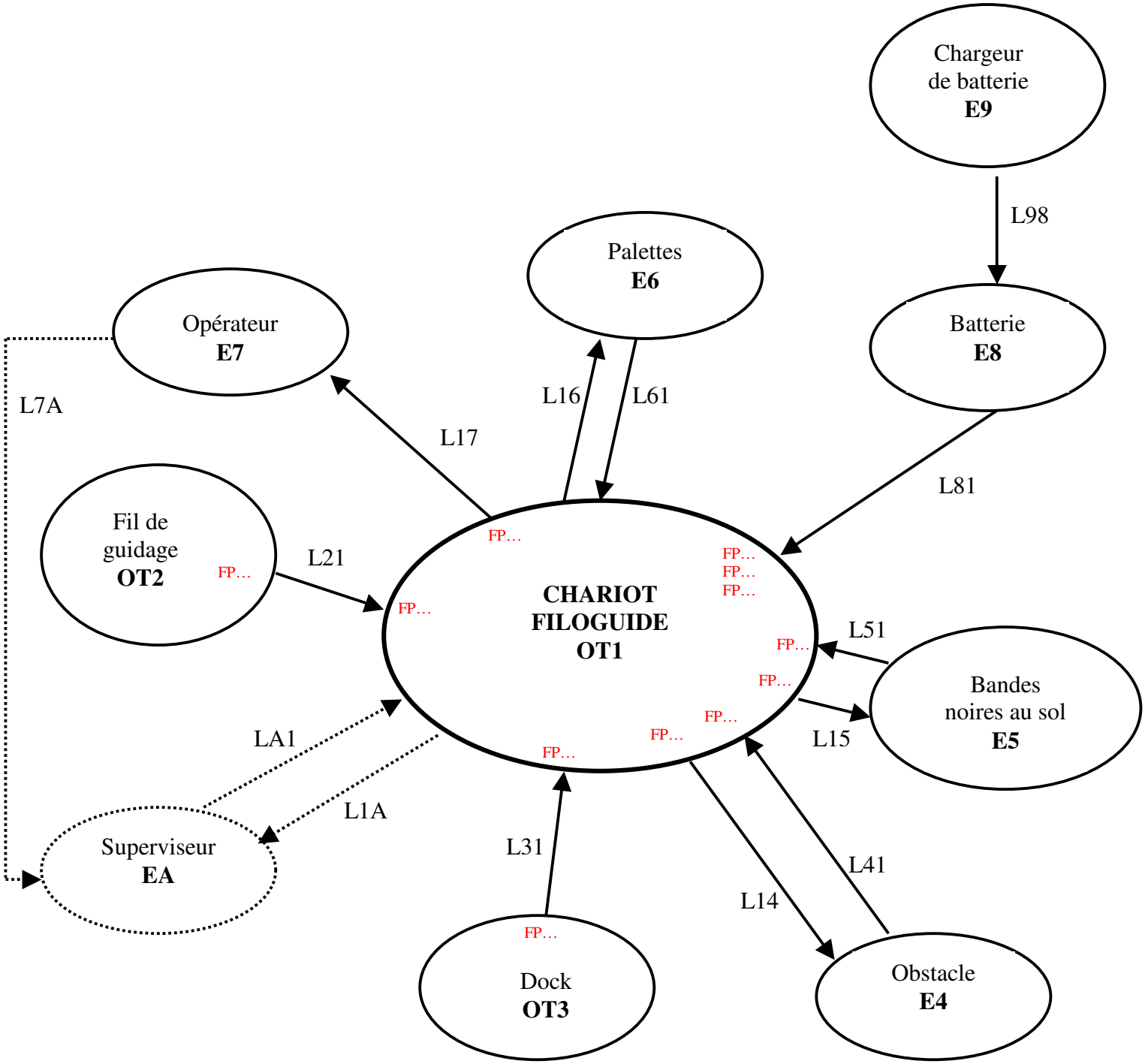
II-5/ RELATIONS ENTRE L'O.T. ET SON ENVIRONNEMENT

a- IDENTIFICATION DES ELEMENTS DU SYSTEME

Repère	Nom	Rôle au sein du système
OT1	Chariot filoguidé	Il assure le déplacement de pièces de poste en poste. Il suit un parcours prédéterminé par un fil de guidage noyé dans le sol.
OT2	Fil de guidage	Il est noyé dans le sol, et parcouru par un courant sinusoïdal alternatif → Il génère un champ magnétique de guidage pour le chariot.
OT3	Dock	Poste de chargement ou de déchargement des palettes.
E4	Obstacle	Personne ou matériel se trouvant sur le parcours du chariot.
E5	Bandes noires sur le sol	En fonction de la géométrie du parcours, une signalisation au sol donne l'ordre au chariot d'accélérer (grande ligne droite …), ou de ralentir (virage, approche d'un dock …).
E6	Pièces à transporter	Palettes de bouteilles Perrier.
E7	Opérateur	A programmé le superviseur et vérifie le bon fonctionnement du chariot.
E8	Batterie	Elle assure l'apport d'énergie électrique au chariot pour qu'il se déplace de façon autonome.
E9	Chargeur de batterie	Il recharge la batterie quand celle-ci a un niveau insuffisant.
EA	Centre informatique de gestion, supervision, pilotage	Il est en liaison radio avec les chariots et en liaison Ethernet avec les docks. Il centralise toutes les informations liées au système technique. Il assure, en temps réel, le suivi du déplacement des chariots. Il optimise leur circulation.

b- DIAGRAMME SAGITTAL

Compléter le diagramme sagittal en affectant le N° de la fonction principale correspondant à certaines liaisons.



En pointillés sont représentées les liaisons qui existent sur le système réel, mais qui ne sont pas prises en compte sur le système maquétisé.

c- DESCRIPTION DES LIAISONS

- Compléter la 1ère colonne du tableau en inscrivant le N° de chaque liaison.
- Compléter la 3ième colonne du tableau en inscrivant la nature de chacune des liaisons (énergétique, matérielle, informationnelle, action, grandeur physique)

Repère	Descriptions des liaisons	Nature
	Energie électrique pour recharger la batterie	
	Energie électrique embarquée sur le chariot	
	Emission de signal ultrasonique pour la détection d'obstacles	
	Réflexion du signal ultrasonique par un obstacle	
	Emission de signal Infra-Rouge pour la détection de bandes noires sur le sol	
	Réflexion du signal Infra-Rouge par le sol	
	Signal Infra-Rouge indiquant la présence d'un dock	
	Champ magnétique de guidage	
	Programmation du superviseur	
	Informations visuelles et sonores (détection de problèmes, état de marche…)	
	Transport des palettes	
	Poids des palettes	
	Informations transmises par radio (informations liées à l'état du chariot : position, charges, problèmes éventuels rencontrés…)	
	Informations transmises par radio (transfert d'un scénario : prise de palette à un dock, pose de celle-ci à un autre dock, suivant un parcours défini)	
	Informations transmises par réseau Ethernet (palette correctement chargé sur le dock, dock complètement occupé,…)	
	Informations transmises par réseau Ethernet (éteindre émetteur IR dock quand déchargement fini)	

III/ ANALYSE DU SYSTEME: LES FONCTIONS TECHNIQUES

A- LES ACTIONNEURS

III-1/ MOTEUR PAS A PAS DE DIRECTION

a- COMPOSANT UTILISE

Moteur Pas à Pas bipolaire ITC-CNC-V1

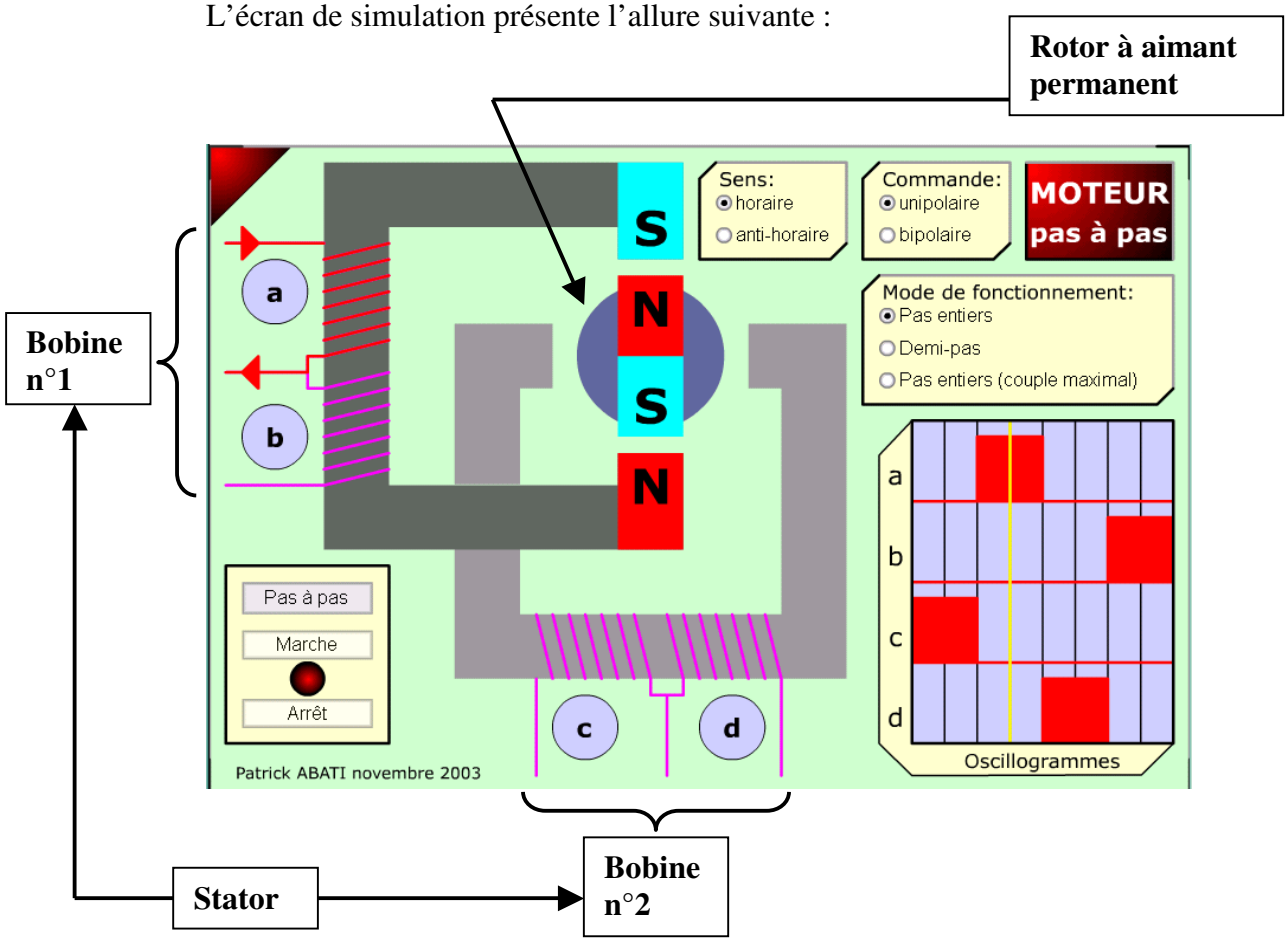
b- PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN MOTEUR PAS A PAS

Le moteur pas à pas est composé d'un rotor (partie mobile constituée d'un groupe d'aimants permanents) et d'un stator (partie fixe constituée de 2 bobinages statoriques : bobines n°1 et n°2).

Le principe de fonctionnement du moteur Pas à Pas bipolaire est disponible sous forme d'animation sur Internet sur le site suivant :
http://stielec.ac-aix-marseille.fr/cours/abati/flash/pas.swf

On modélise le rotor par un aimant permanent unique (**un** pôle Nord et **un** pôle Sud).

L'écran de simulation présente l'allure suivante :



Lois de l'électromagnétisme :

- deux pôles magnétiques de même nom se repoussent
- deux pôles magnétiques de noms contraires s'attirent
- une bobine alimentée en courant continu crée un champ magnétique qui dépend du sens du courant qui le traverse : elle crée un pôle Nord et un pôle Sud suivant le sens de sa tension d'alimentation.

Intérêt d'un moteur pas à pas :

Son intérêt réside dans le fait qu'il ne nécessite pas d'asservissement de vitesse ou de position (pas de chaîne de retour), contrairement au moteur à courant continu. Une logique programmable envoie uniquement les ordres de commande au moteur (vitesse et sens de rotation) et ne vérifie pas si la position ou la vitesse souhaitées sont corrects.

III-2/ MOTEUR A COURANT CONTINU DE TRACTION

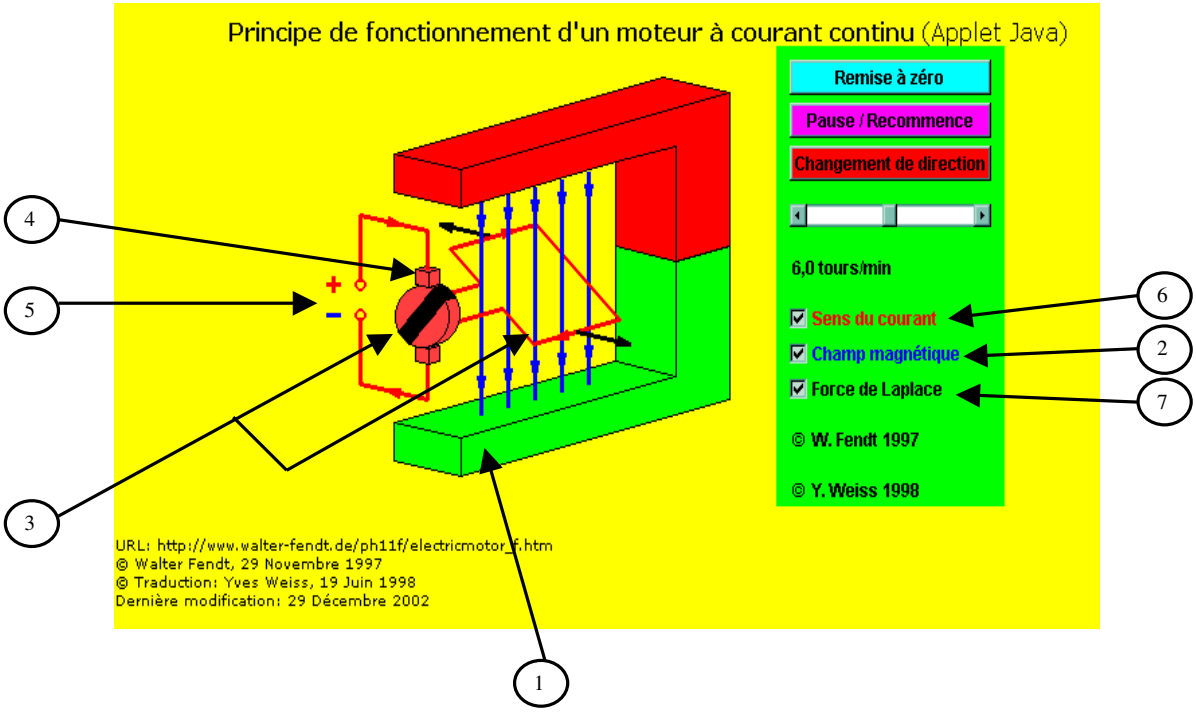
a- COMPOSANT UTILISE

Moto réducteur à Courant Continu CROUZET 82861011

b- PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN MOTEUR A C.C.

Le principe de fonctionnement du moteur à courant continu est disponible sous forme d'animation sur Internet sur le site suivant :
http://stielec.ac-aix-marseille.fr/applets_walter_fendt/electricmotor_f/electricmotor_f.htm

L'écran de simulation présente l'allure suivante :



1 Stator immobile se comportant comme un aimant permanent.
2 Champ magnétique créé par le stator.
3 Collecteur et une des spires constituant le rotor.
4 Balais.
5 Tension d'alimentation du rotor.
6 Courant circulant dans la spire dont le sens dépend du signe de la tension d'alimentation
7 Forces de Laplace auxquelles sont soumises les spires. La force de Laplace est perpendiculaire au plan formé par le champ magnétique et le courant circulant dans la spire. Cette force permet de faire tourner la spire.

Relations élémentaires :

On considère que le modèle électrique du moteur est régit par les données suivantes :

Pour inverser le sens de rotation du moteur, il suffit d'inverser le signe de la tension d'alimentation.
La vitesse est proportionnelle à la tension.
Le couple électromécanique est proportionnel au courant.

B- LES CAPTEURS

III-3/ GENERALITES SUR LES DIFFERENTES ONDES

a- IDENTIFICATION D'UNE ONDE

a1-Perturbation

Définition : une perturbation est une modification locale et temporaire des propriétés d'un milieu.

Exemple : la modification de l'altitude d'un point de la surface libre d'un liquide est une perturbation mécanique qui affecte, par exemple, le flotteur d'un bouchon de pêche (noté A, B, C, D E ou F sur la figure du §b4) où l'axe des distances indique le niveau de l'eau au repos).

a2-Onde

Définition : une onde résulte de la propagation d'une perturbation (périodique ou non) dans un milieu (sans transport de matière, mais avec transfert d'énergie).

Exemple : les rides provoquées par la chute d'un caillou dans l'eau d'un étang constituent une onde mécanique.

a3-Onde progressive

Définition : une onde progressive est une perturbation qui se propage dans un seul sens (sans retour par réflexion pour éviter les ondes stationnaires).

Exemple : l'onde mécanique précédente est progressive.

a4-Onde progressive périodique

Définition : une onde progressive est périodique si elle se reproduit identiquement à elle-même à intervalles de temps égaux.

Exemples : La chute régulière de cailloux dans l'eau d'un étang crée une onde mécanique progressive périodique (de type sinusoïdal).

Le son pur émis par un diapason (tel le la3 des musiciens permettant l'accord de leurs instruments) est une onde sonore progressive périodique (de type sinusoïdal en étant entretenu), constituée d'une succession de compressions et de dilatations locales depuis la source diapason jusqu'à l'oreille qui joue le rôle de récepteur acoustique.

b- CARACTERISTIQUES DES ONDES PERIODIQUES

b1-Grandeurs fondamentales

Une onde progressive périodique est caractérisable par :
La période T ou la fréquence f (N ou ν selon la partie de la physique) et la longueur d'onde λ ou la vitesse de propagation v (ou célérité c).

b2-Période

Définition : la période T est la durée au bout de laquelle l'onde se répète identique à elle-même.

Unité SI : T s'exprime en secondes (s).

Exemple : mouvement du bouchon de pêche affecté par une onde (supposée) sinusoïdale [voir §b4]

b3-Fréquence

Définition : la fréquence f est le nombre de périodes effectuées en une seconde

Unité SI : f utilise le hertz (Hz)

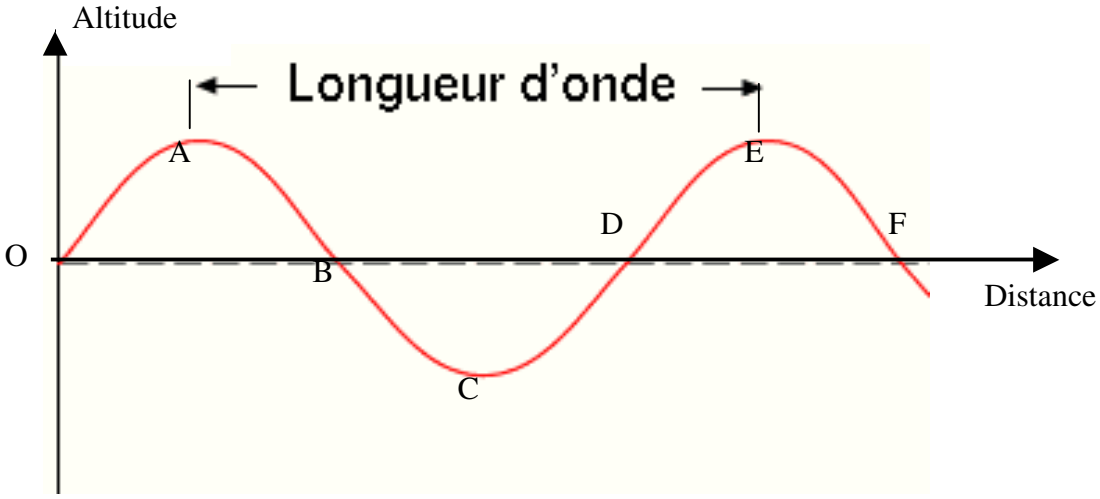
Relation : f et T sont reliés par $f = 1/T$

b4-Longueur d'onde

Définition : la longueur d'onde λ est la distance parcourue par l'onde pendant une période T.

Unité SI : elle est en mètres (m)

Exemples : mouvements de différents bouchons de pêche touchés par l'onde sinusoïdale précédente



Les bouchons A et E ainsi que B et F sont dans le même état en étant distants de λ : ils sont alors en phase.

A et C ainsi que C et E sont dans des états « opposés » en étant séparés de λ/2 : ils sont en opposition de phase.

A et B, comme B et C, C et D, etc. , sont écartés de λ/4 : ils sont en quadrature de phase.

b5-Vitesse de propagation

Définition : cette vitesse de l'onde dans un milieu est la vitesse de transfert de l'énergie émise par la source dans ce milieu.

Unité SI : elle emploie le mètre par seconde (m/s)

Exemples : elle dépend de la nature du milieu de propagation :

- Pour le son dans : l'air (à 20°C) v = 340 m/s
  l'eau (à 20°C) v = 1500 m/s
  l'acier et le verre v = 5000 m/s
- Pour la lumière dans : le vide et pratiquement l'air c ≈ 300 000 km/s
  le verre c ≈ 200 000 km/s
  le diamant c = 125 000 km/s

Relation : λ et v sont régis par $\lambda = v \times T = v/f$ ou $\lambda = c \times T = c/v$

c- CLASSEMENT DES ONDES

Les ondes peuvent être classées selon leur fréquence f ou leur longueur d'onde λ

c1-Cas des ondes mécaniques

Ces ondes qui ont besoin d'un milieu matériel pour se propager comprennent notamment les ondes acoustiques subdivisées en :

Infrasons pour $f < 20$ Hz
Sons audibles ou ondes sonores avec $20 \text{ Hz} < f < 20\,000$ Hz
Ultrasons (ou US) si $f \geq 20\,000$ Hz

c2-Cas des ondes électromagnétiques

Ces ondes se propagent dans le vide et certains milieux matériels tels que l'air, l'eau,…
Elles sont par contre arrêtées par d'autres milieux comme les métaux

Elles comprennent entre autres :

Les ultraviolets lorsque $\lambda < 400$ nm (avec 1nm=10-9m)
La lumière visible pour $400 \text{ nm} < \lambda < 800$ nm
Les infrarouges (ou IR) quand $800 \text{ nm} < \lambda < 1$ mm
Les ondes hertziennes (exemples : radio, télé,…) si $1 \text{ mm} < \lambda < 1$ km

III-4/ CAPTEUR MAGNETIQUE DE POSITION

a- PRINCIPE DU FILOGUIDAGE

Un fil de guidage définissant le trajet à suivre par le chariot, est noyé dans le sol. Il est parcouru par un courant sinusoïdal alternatif de quelques centaines de mA d'amplitude, et de quelques kHz de fréquence. Ce courant génère alors un champ magnétique sinusoïdal.
Le chariot est muni de 2 capteurs de position disposés de chaque côté de la roue directrice. Chacun d'eux est constitué d'une bobine plate identique associée à un condensateur. L'ensemble (bobine + condensateur) doit avoir une fréquence de résonance égale à la fréquence du courant dans le fil de guidage, afin de pouvoir jouer parfaitement son rôle "d'antenne".

Le champ magnétique engendre alors, d'après la loi de LENZ, une force électromotrice aux bornes de chacune des bobines :

- Lorsque le chariot est parfaitement centré sur le fil, la différence entre les deux forces électromotrices est nulle. → La roue directrice ne doit pas pivoter.
- Lorsque le chariot s'écarte du fil, la différence entre les deux forces électromotrices varie en fonction de l'écart entre le chariot et le fil de guidage:
  Par exemple: Quand le chariot est trop à droite du fil, le capteur gauche capte un signal de niveau supérieur à celui du signal détecté par le capteur droit. → La roue directrice doit pivoter à gauche.

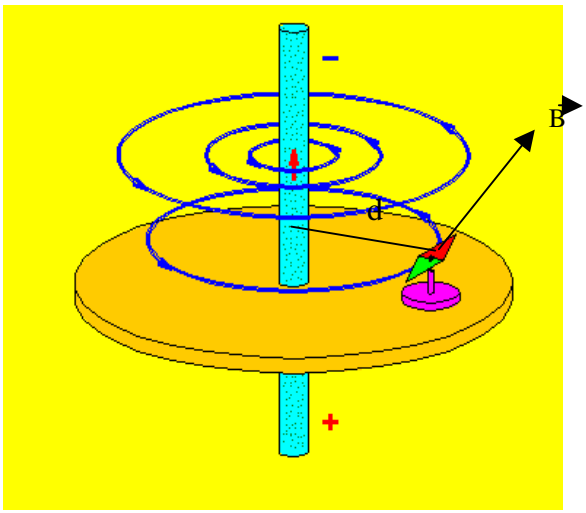
Ce type de fonctionnement engendre ainsi un asservissement de position.

b- PRINCIPE PHYSIQUE

b1-Champ magnétique B créé par un fil rectiligne

Propriété générale : tout conducteur parcouru par un courant crée autour de lui un champ magnétique

Application au fil rectiligne



Ainsi traversé par un courant sinusoïdal de la forme $i = I_{max} \sin\omega t$ [1]
ce fil génère un champ magnétique $\vec{B}$ aussi sinusoïdal :
- en tout point de son voisinage
- de direction perpendiculaire au plan formé par le fil et la distance d
- de sens lié à celui du courant [voir figure]
- et ayant pour expression :

$$B = 2\times10^{-7}\times(i / d) \quad [2]$$
$$= (2\times10^{-7}\times I_{max} / d) \sin\omega t$$
$$= B_{max} \sin\omega t \quad [3]$$

où $B_{max} = 2\times10^{-7}\times I_{max}/d$ [4] apparaît fonction de d à I_{max} constant

b2-Force électromotrice induite (ou f.e.m.) e

Loi de faraday : toute variation de champ magnétique B crée une f.e.m. e aux bornes d'une bobine placée dans ce champ, d'expression :
$e = - S_T\times dB/dt$ [5]
où le coefficient S_T dépend du nombre et des dimensions des spires de la bobine

Expression de la f.e.m.
Grâce à [3] ,l'expression [5] devient : $e = - S_T\times d(B_{max} \sin\omega t)/dt$

$$\text{soit} \quad e = E_{max} \sin(\omega t - \Pi/2) \quad [6]$$
$$\text{avec } E_{max}=S_T B_{max} \omega =2\times10^{-7} I_{max} S_T \omega / d \quad [7]$$

Soumise aux variations de B, la bobine se comporte comme un générateur de tension sinusoïdale de f.e.m. e dont l'amplitude E_{max} est inversement proportionnelle à la distance d qui la sépare du fil

Application au capteur magnétique de position

Ce capteur est composé de bobines plates identiques 1et 2 solidaires de la plate-forme du chariot et disposées de part et d'autre de la roue directrice :

Quand ces 2 bobines sont équidistantes du fil électrique de guidage traversé par le courant i, leurs distances à ce fil sont égales : $d_1=d_2$;
par suite, d'après [7], les amplitudes E_{max1} et E_{max2} de leurs f.e.m. e_1 et e_2 aux bornes de 1 et 2 sont égales :
$E_{max1} = 2\times10^{-7}I_{max}S_T\omega/d_1 = 2\times10^{-7}I_{max}S_T\omega/d_2 = E_{max2}$ [8] ;
la différence de ces amplitudes est alors nulle :
$|\Delta E_{max}| = |E_{max1}-E_{max2}| = 0$ [9]

Par contre, si ces bobines ne sont plus à égale distance du fil ($d_1<d_2$ par exemple), les amplitudes de ces f.e.m. sont alors inégales :
$E_{max1} \neq E_{max2}$ [10] (dans l'exemple $E_{max1} > E_{max2}$)
soit $|\Delta E_{max}| \neq 0$ [11] ;
par suite la roue directrice devra être commandée pour recentrer le chariot sur le fil

b3-<u>Force électromotrice auto induite e'</u>

Etant présente dans un circuit fermé sur une association de condensateurs (en dérivation), chaque bobine provoque le passage d'un courant induit i', conformément à la loi de Lenz

Loi de Lenz : le courant induit i' a un sens tel que la f.e.m. auto induite e' qu'il produit tend à s'opposer à la f.e.m. e qui lui a donné naissance

Loi de Faraday : cette f.e.m. e' a pour expression $e' = - L\, di'/dt$ [12]
où le coefficient L est l'auto inductance ou inductance propre de chaque bobine qui ne dépend que de sa forme et de ses dimensions

Loi d'Ohm appliquée à chaque bobine
Caractérisée par sa résistance r de faible valeur, donc négligeable, et son inductance L, la f.e.m .e existant entre les bornes de chaque bobine s'exprime par :
$e = ri' - e' \approx - e'$ [13]
e étant sinusoïdal d'après [6], e' l'est aussi :
$e' = - e = - E_{max} \sin(\omega t-\Pi/2)$ [14]

b4-<u>Anti-résonance du circuit LC //</u>

Pulsation propre ω_o de ce circuit

En étant soumis à une f.e.m. e sinusoïdale et en supposant que r est toujours négligeable, le circuit LC// est le siége d'oscillations sinusoïdales dont la pulsation propre ω_o a pour expression :

$$\omega_o = 1/(LC)^{1/2} \quad [15]$$

Si $L = L_1 = L_2 = 1\ mH = 10^{-3}\ H$
et $C = C_1 + C_3 = C_2 + C_4 = (1OO + 12)\times10^{-9}\ F$
alors $\omega_o = (1/LC)^{1/2} = 9{,}45\times10^4$ rad/s et $f_o = \omega_o / 2\Pi = 15$ kHz

Condition d'anti-résonance

Quand la pulsation ω du courant sinusoïdal et la pulsation propre ω_o du circuit LC// sont égales, il y a alors accord entre l'émission du champ magnétique et sa « réception » par le circuit qui entre ainsi en (anti-) résonance

III-5/ CAPTEUR ULTRASONIQUE DE DETECTION D'OBSTACLES

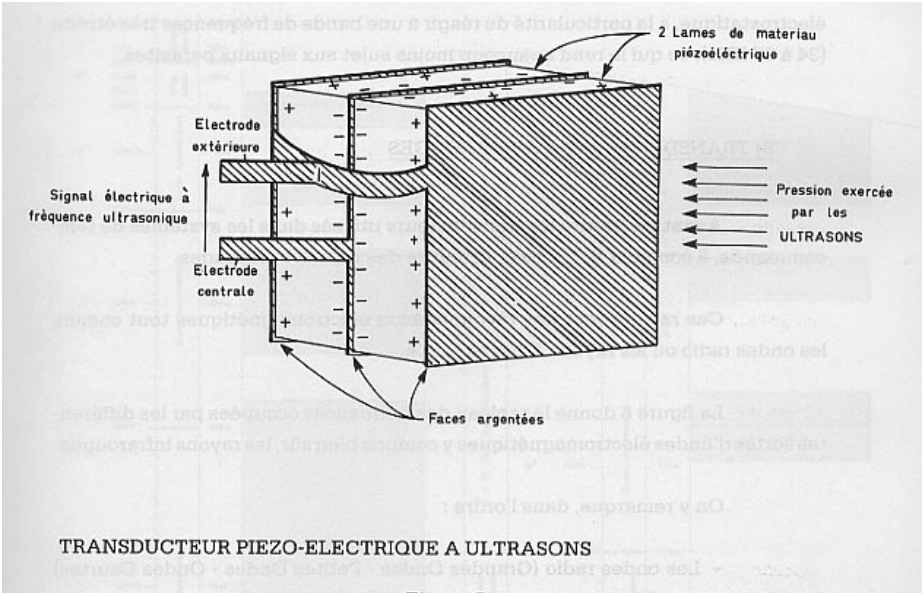
a- PROPAGATION DU SON

Dans un milieu compressible, le son se propage sous forme de variation de pression créée par la source sonore.
La vitesse de propagation du son dépend essentiellement de la nature et de la température du milieu. Les ondes sonores se déplacent à environ 344 m / s dans l'air à 20 °C et à 1482 m / s dans l'eau.
A une fréquence faible correspond un son grave, et à une fréquence élevée un son aigu.
L'oreille humaine peut percevoir des sons dans la plage de fréquences 20 Hz → 20 kHz.
L'intensité sonore s'exprime en décibels (dB). Cette unité, qui utilise le logarithme, correspond assez bien à ce que perçoit l'oreille humaine en terme de niveau sonore.

b- SYSTEME DE DETECTION ULTRASONIQUE

Un transducteur ultrasonique est principalement constitué d'un élément piézo-électrique présentant la propriété d'osciller sur une fréquence ultrasonique qui est généralement du 40kHz (d'où les noms **T40** pour l'émetteur et **R40** pour le récepteur).

La figure suivante représente un transducteur piézo-électrique utilisé comme transducteur à ultrasons.



TRANSDUCTEUR PIEZO-ELECTRIQUE A ULTRASONS

Ce transducteur est formé de deux plaques de matériau piézo-électrique accolées l'une à l'autre. L'avantage de cette association est de rendre l'ensemble moins sensible aux variations de température. Chaque face de ces deux plaquettes est recouverte d'une mince couche d'argent qui recueille les charges. Les électrodes sont également en argent. L'une est reliée aux deux faces externes de l'ensemble, l'autre est l'électrode centrale et recueille les charges présentes sur les deux faces internes.
Pour donner une idée plus précise de la technologie du système, signalons que les deux lames de céramique piézo-électrique ont une surface d'environ 1 cm carré et une épaisseur de 0,7 mm.

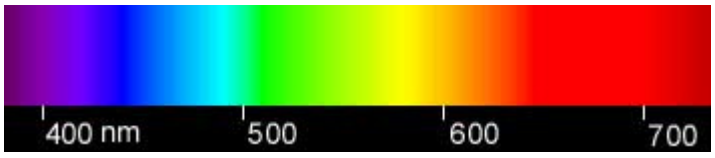
Emetteur
Quand on applique une tension électrique variable à la fréquence ultrasonique aux bornes du transducteur, celui-ci se déforme et entre en vibrations mécaniques transformant ainsi un signal électrique en ultrasons.

Récepteur
Cette propriété est réversible. En soumettant ce même transducteur à la pression engendrée par des ultrasons, celle-ci provoque des vibrations mécaniques du transducteur. Les déformations du matériau piézo-électrique créent aux bornes des 2 électrodes une tension proportionnelle à l'amplitude de la déformation et de même fréquence.

III-6/ LUMIERE VISIBLE ET INFRAROUGE

La longueur d'onde correspond à la distance parcourue par l'onde pendant une période :
$\lambda = c\ T$ où c est la célérité de l'onde, soit 3.10^8 m / s.

Le spectre visible s'étend de 380 nm(violet) à 780 nm (rouge) en ce qui concerne la longueur d'onde (f = 3.8 10^{14} à 7.9 10^{14} Hz).



Avant, pour des longueurs d'ondes plus petites, ou des fréquences plus grandes, viennent les ultraviolets : λ = 40 à 380 nm et f = 7.9 10^{14} à 7.5 10^{15} Hz.

Après, pour des longueurs d'ondes plus grandes, ou des fréquences plus petites, viennent les infrarouges: λ = 780 nm à 1 mm et f = 3 10^{11} à 3.8 10^{14} Hz.
L'infrarouge se divise en 2 catégories : IR réfléchi (λ = 780 nm à 3µm / utilisé en télédétection) et IR thermique (λ = 3 µm à 100 µm / émission sous forme de chaleur).

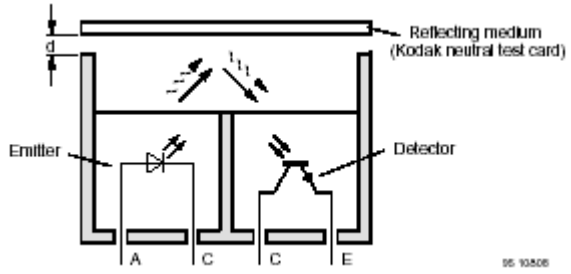
III-7/ CAPTEUR OPTIQUE DE DETECTION DE VARIATION DE VITESSE

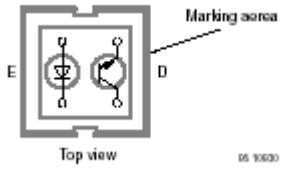
a. COMPOSANT UTILISE

Capteur CNY 70

b. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN CAPTEUR I.R. REFLEX

Ce capteur est un dispositif constitué par la réunion, dans un même boîtier, d'une diode électroluminescente Infra Rouge (émetteur) et d'un phototransistor (récepteur).
Le capteur doit être face à la surface à analyser. La led émet constamment de la lumière IR.
Si la surface est de couleur claire, les infrarouges sont réfléchis et viennent frapper le phototransistor qui devient passant.
Si la surface est de couleur foncée ou mate, les infrarouges sont absorbés et le phototransistor se bloque.





III-8/ CAPTEUR INFRAROUGE DE DETECTION DE PRESENCE D'UN DOCK

a. COMPOSANT UTILISE POUR L'EMETTEUR

Led Infra-Rouge HSDL 4230

b. COMPOSANT UTILISE POUR LE RECEPTEUR

Photodiode BP 104

c. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

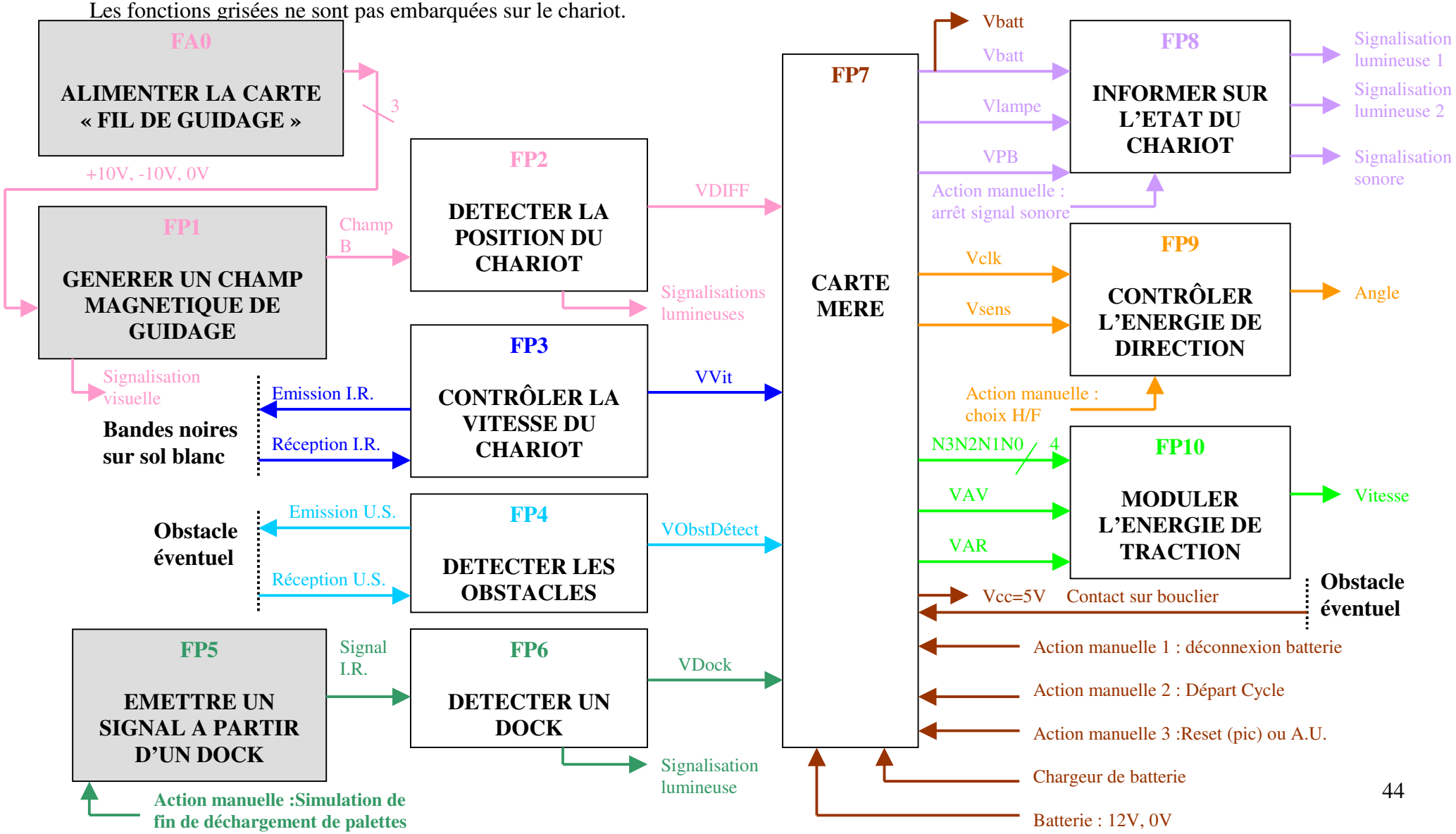
Une photodiode est constituée par une jonction P-N qui peut être éclairée extérieurement. Elle travaille en polarisation inverse, le courant inverse étant fonction de l'éclairement (lorsque l'éclairement augmente, le courant inverse augmente).

Donc, quand le chariot passe devant le dock, la photodiode (du chariot) passe devant la led Infra Rouge émettrice (du dock), et l'éclaire.

IV/ ETUDE FONCTIONNELLE DE PREMIER DEGRE

IV-1/ SCHEMA FONCTIONNEL DE PREMIER DEGRE

Les fonctions grisées ne sont pas embarquées sur le chariot.



IV-2/ DESCRIPTION DES FONCTIONS PRINCIPALES

FA0 : " ALIMENTER LA CARTE DU FIL DE GUIDAGE "

Rôle: Cette fonction permet d'alimenter en +10 V et –10 V, la carte FP1 qui génère un courant dans le fil de guidage.
Cette alimentation n'est pas embarquée sur le chariot.
(Cette fonction ne faisant pas l'objet d'une étude, il est préconisé d'utiliser une alimentation double de laboratoire).

FP1: "GENERER UN CHAMP MAGNETIQUE DE GUIDAGE"

Rôle: Cette fonction génère un courant alternatif de 15 kHz de fréquence et de quelques centaines de mA d'amplitude dans le fil de guidage. Ce courant crée alors un champ magnétique alternatif de même fréquence.
Cette carte n'est pas embarquée sur le chariot.

FP2: "DETECTER LA POSITION DU CHARIOT"

Rôle: Deux capteurs (couple : bobine / condensateur) fixés sur le chariot et situés de part et d'autre du fil de guidage, détectent le champ magnétique émis par celui-ci. Cette fonction permet de déterminer la position relative du chariot par rapport au fil de guidage, en fonction de l'amplitude du signal reçu par chacun des capteurs.
FP2 génère alors une tension VDIFF image de la position du chariot / fil.

FP3: " CONTROLER LA VITESSE DU CHARIOT"

Rôle: Cette fonction utilise un capteur Infra Rouge à réflexion afin de détecter la présence d'une bande noire sur le sol blanc: la lumière se réfléchit sur le sol blanc, mais est absorbée par la bande noire.
En fonction du parcours (ligne droite, virage, proximité d'un dock …), la bande noire donne l'ordre de changer de vitesse:

- Au démarrage le chariot va à vitesse lente (vitesse N° 1).
- Au 1er passage sur une bande noire, le chariot doit accélérer (vitesse N° 2).
- Au 2^{ième} passage sur une bande noire, le chariot doit ralentir (vitesse N° 1).
- Et ainsi de suite…

FP3 génère le signal Vvit image de la présence ou de l'absence de bande noire.

FP4: "DETECTER LES OBSTACLES"

Rôle: Cette fonction permet de détecter un obstacle présent sur le parcours du chariot à moins de 1 m, afin d'éviter toute collision avec celui-ci.
Cette fonction utilise le principe de la réflexion d'une onde ultrasonore en présence d'un obstacle.
FP4 génère le signal VobstDétect image de la présence ou de l'absence d'obstacle.

FP5: "EMETTRE UN SIGNAL A PARTIR D'UN DOCK"

Rôle: Cette fonction émet un signal Infra Rouge qui indique la présence d'un dock.
Un appui sur un bouton poussoir permet d'éteindre la led I.R. afin de simuler la fin d'un chargement ou d'un déchargement de palettes.
Cette fonction n'est pas embarquée sur le chariot.

FP6: "DETECTER UN DOCK"

Rôle: Cette fonction détecte la présence d'un dock.
FP6 génère le signal Vdock image de la présence ou de l'absence d'un dock, ou de la fin du déchargement des palettes.

FP7: "CARTE MERE"

Rôle: Cette carte a 2 fonctions:

- Fonction "Alimentation": Elle génère la tension Vbatt de 12 V à partir de la batterie pour alimenter les 2 moteurs, et la tension Vcc de 5 V pour alimenter l'ensemble des cartes.
- Fonction "Gestion du chariot": Le pic contient le programme de fonctionnement du chariot. En fonction des informations transmises par toutes les "cartes capteurs" (FP2, FP3, FP4, FP6), le pic génère les ordres de pilotage des 2 moteurs (FP9, FP10) et d'informations sur l'état du chariot (FP8).

FP8: "INFORMER SUR L'ETAT DU CHARIOT"

Rôle: Cette fonction permet d'indiquer en permanence l'état du chariot:

- Chariot en mouvement (clignotement de la led verte).
- Niveau de charge de la batterie passée en dessous d'un seuil bas (Allumage de la led rouge).
- Contact sur le bouclier avant (sonnerie par haut-parleur).

FP9: "CONTROLER L'ENERGIE DE DIRECTION"

Rôle: Cette fonction permet de piloter le moteur Pas à Pas de direction. A partir des informations numériques reçues, elle dose l'énergie électrique à appliquer au moteur, afin de faire varier la direction du chariot pour que celui-ci se centre parfaitement sur le fil de guidage.

FP10: "MODULER L'ENERGIE DE TRACTION"

Rôle: Cette fonction permet de piloter le moteur à Courant Continu de traction. A partir des informations numériques reçues, elle dose l'énergie électrique à appliquer au moteur, afin de faire varier la vitesse du chariot.
Cette fonction utilise le principe de la modulation par largeur d'impulsions (P.W.M.).

IV-3/ FLUX D'INFORMATIONS

Compléter le tableau des Entrées / Sorties des différentes Fonctions Principales.

Noms des signaux	Provenance	Destination	Nature	Rôle
+10V, -10V, 0V				
Champ B				
Signalisation visuelle				
VDIFF				
Signalisations lumineuses				
Emission I.R.				
Réception I.R.				
VVit				
Emission U.S.				
Réception U.S.				
VObstDétect				
Action manuelle : simul fin déchargement				
Signal I.R.				
VDock				
Signalisation lumineuse				
Vbatt				
Signalisation lumineuse 1				
Vlampe				
Signalisation lumineuse 2				
VPB				
Signalisation sonore				
Action manuelle : Arrêt signalisation sonore				
Vclk				
Vsens				
Action manuelle : Choix H/F				
Angle				
N3N2N1N0				
VAV				
VAR				
Vitesse				

Batterie 12V, 0V				
Contact sur bouclier				
Action manuelle 1 : Déconnexion batterie				
Action manuelle 2: Départ Cycle				
Action manuelle 3 : Reset (PIC) ou A.U.				
Vbatt				
Vcc = 5V				