

ELECMATIC

GESTION DE POSITIONNEMENT D'UNE MACHINE DE PEINTURE - LERO -



Remerciements

Je tiens à remercier Messieurs Sébastien CREHAY et Dominique MASSIN de m'avoir permis de réaliser, dans les meilleures conditions, ce stage passionnant au sein de leur société.

Mille mercis également pour leurs conseils, leur amabilité et leur patience.

Merci tout particulièrement à Sébastien pour son aide et son enseignement.

Merci à Gregory COLOT pour son assistance quasi quotidienne, son soutien et ses nombreux conseils.

Merci à Madame M-S. GHUYSEN mon promoteur de stage en entreprise.

Merci à Monsieur G. GOREUX, coordinateur des stages en entreprise.

Merci à Pascal ETIENNE, Lino, Toni et David pour leurs conseils et leur bonne humeur.

Merci à Monsieur P. UBICO, de la firme PARVEX à Dijon, pour ses explications techniques.

Table des matières

Remerciements	3
1. Présentation de l'entreprise	6
2. La ligne LERO	10
2.1 HISTORIQUE ET COMPOSITION	10
2.2 DESCRIPTION DE L'AUTOMATISATION DE LA LIGNE	12
2.2.1 L'AUTOMATE DE LA PROGRAMMATION SÉQUENTIELLE	12
2.2.2 L'AUTOMATE DES RÉGULATIONS	12
3. La machine de peinture	13
4. Mon rôle sur la LERO	16
5. Le moteur brushless	17
5.1 RAPPEL SUR LES MOTEURS SANS BALAIS	17
5.1.1 ÉVOLUTIONS PAR RAPPORT À LA MACHINE À COURANT CONTINU	17
5.1.2 UTILISATIONS	18
5.2 SERVOMOTEURS UTILISÉS SUR LA MACHINE DE PEINTURE	19
6. Le moteur pas-à-pas	20
6.1 MOTEURS PAS À PAS À RELUCTANCE VARIABLE:	20
6.2 MOTEURS PAS À PAS À AIMANTS PERMANENTS:	21
6.3 MOTEURS PAS À PAS HYBRIDES:	21
7. Asservissement du servomoteur brushless	22
7.1 INTRODUCTION	22
7.2 LES RÉSOLVEURS, LES PLUS ROBUSTES	23
7.2.1 NUMÉRISATION AVEC UN CONVERTISSEUR RDC	23
7.2.2 NUMÉRISATION AVEC UN PROCESSEUR DSP	24
7.3 LES CODEURS, LES PLUS PRÉCIS	25
7.3.1 LES CODEURS INCRÉMENTAUX ET LES CODEURS SINUSOÏDAUX	25
7.3.2 LES CODEURS ABSOLUS	26
7.3.3 LES CODEURS AVEC SORTIE SIN/COS	26
7.3.4 PHYSIQUEMENT	27
7.4 EN RÉSUMÉ	28
8. Pourquoi un servomoteur plutôt qu'un moteur pas-à-pas?	29
9. Le variateur	30
9.1 RÉNOVATION DE L'ARMOIRE ÉLECTRIQUE	31
9.2 LE PROGRAMME "PARVEX MOTION EXPLORER" (PME)	34
9.1.1 PRISE EN MAIN	34
9.1.2 MISE EN SERVICE DU VARIATEUR	36
9.1.3 SCHÉMA BLOC DU LOGICIEL DIGIVEX DRIVE:	37
10. Carte de positionnement Siemens FM 453	38
10.1 LES FONCTIONNALITÉS DE LA FM 453	38
10.2 MODES DE FONCTIONNEMENT	38
10.3 PARAMÉTRAGE DE LA CARTE FM 453	40
10.3.1 DÉFINITION DES AXES	40
10.3.2 INTERFACE DE PARAMÉTRAGE DE LA CARTE D'AXES SIEMENS FM 435	40
10.3.3 AUTRES PARAMÈTRES	44
10.3.4 SIGNAUX UTILISÉS	44

11. Programmation	46
11.1 BLOC "MDI" VS. BLOC "AUTOMATIQUE"	46
11.2 LE BLOC MDI	46
11.3 LE BLOC DE RÉGULATION EN EFFORT	47
11.4 LE BLOC MANU (OU NON-RÉGULÉ)	47
11.5 LE BLOC AUTOMATIQUE	47
11.6 DESCRIPTION DES FONCTIONS STEP 7 DANS LESQUELLES INTERVIENNENT LES NOUVEAUX BLOCS DE POSITIONNEMENT.	48
11.7 AUTRES MODIFICATIONS DU PROGRAMME STEP 7 EXISTANT	49
12. La supervision	52
13. Le banc d'essai	56
Conclusion	58
Bibliographie	59
Annexes	60
A1. SCHÉMA DE COMMANDE ET DE PUISSANCE DU VARIATEUR PARVEX DIGIVEX	60
A2. CONNEXIONS	61
A3. L'ARMOIRE DES AUTOMATES	63
A4. SCHEMA DE RACCORDEMENT DU MATERIEL	64
A5. BLOC-FONCTIONS DE DEPLACEMENT	65
LE BLOC MDI	65
LE BLOC REGULATION D'EFFORT	66
LE BLOC MANUEL	67

1. Présentation de l'entreprise

ELECMATIC



Gradué en Automation à Saint Laurent en 1999, M. Sébastien CREHAY a travaillé un an à la FN à Herstal puis trois ans chez Fabricom GTI à Ans.

Il a participé à de nombreux projets en sidérurgie tels que des lignes de peinture, des lignes de galvanisation et des ponts roulants.

En 2003 M. CREHAY crée sa propre société : ELECMATIC.

Située à Spa, ELECMATIC est une petite société spécialisée dans la sous-traitance de travaux d'automatisation principalement pour l'industrie métallurgique mais propose également des services en électricité générale, domotique, placement de panneaux solaires et de portails électriques et est agréée pour la pose de systèmes d'alarmes.

En 2008 M. Dominique MASSIN, lui aussi diplômé de Saint Laurent en Automation en 1999, a rejoint M. CREHAY à la direction de la société.
Ils emploient actuellement trois personnes (2009).



La société ELECMATIC à Spa

Arcelor Mittal



Bref historique:

Au Moyen-âge déjà, la région liégeoise se singularise par son savoir-faire dans la production d'étain et de cuivre, et dans l'orfèvrerie. Mais en réalité, c'est dès le 13ème siècle que la métallurgie liégeoise acquiert vraiment une reconnaissance internationale. Des forges se multiplient aux 14ème et 15ème siècles en bordure des rivières, propices à l'utilisation de la force hydraulique.

Un procédé "wallon" de fabrication du fer est particulièrement réputé.

Les clouteries de la région liégeoise sont à cette époque les meilleures d'Europe. Métallurgie et armurerie wallonnes sont alors déjà connues et réputées pour leurs qualités technologiques.

De Cockerill à ArcelorMittal:

En 1817, John COCKERILL achète avec son frère Charles James le Château de Seraing, après s'être vu chargé du développement de la sidérurgie dans les environs de Liège par le Prince Guillaume Premier des Pays-Bas.

En 1823 John Cockerill commence par développer à proximité de Seraing un haut-fourneau à coke.

En 1850, l'usine de Seraing est déjà la plus importante du monde, faisant de la Belgique la deuxième puissance économique du monde, derrière le Royaume-Uni.

1955 : fusion avec la société Ougrée-Marihaye, et nouvelle appellation Cockerill-Ougrée.

1966 : fusion avec les Forges de la Providence, et nouvelle appellation Cockerill-Ougrée-Providence. Ce regroupement augmente encore la capacité de production et permet d'obtenir une gamme pratiquement complète des qualités et des nuances des produits fabriqués.

1970 : intégration d'Espérance-Longdoz (créateur de Chertal), et nouvelle appellation Cockerill.

1981 : fusion avec les industries de bassin de Charleroi sous l'impulsion d'Albert Frère, et nouvelle appellation Cockerill-Sambre. Achat par l'État belge, puis transmission à la Région wallonne.

1990 : récupération de l'usine d'Eko Stahl situé à Eisenhüttenstadt sur l'Oder, en ex-République Démocratique Allemande.

1998 : intégration au groupe Usinor par échange d'actions.

2002 : intégration au groupe Arcelor. La Région wallonne en reste le premier actionnaire. Le groupe est cependant essentiellement contrôlé par des fonds de pension américains.

2003 : annonce de la fermeture progressive de la phase à chaud à Liège d'ici fin 2009 : 2 700 emplois industriels sont concernés d'ici 2009 (directs et indirects). Pour la direction en place, cette fermeture se justifie par une recentralisation des processus industriels à chaud vers les zones portuaires, au détriment des unités dites « continentales ». Derrière cette logique s'exprime la volonté de faciliter l'approvisionnement en matières premières de ces processus, le minerai de fer n'étant plus fourni en Europe mais par d'autres continents.

2004 : mise en place d'une mission de revitalisation/reconversion de type SODIE.
Sodie Belgique ouvre une antenne liégeoise dotée d'un budget de 20 millions d'euros.

2005 : fermeture du haut-fourneau n°6 de Seraing. La Région wallonne vend une partie de ses actions pour financer son plan de relance économique.

27 janvier 2006 : la société Mittal Steel Company NV lance une OPA hostile contre le groupe sidérurgique Arcelor.

19 janvier 2006 : elle améliore son offre sur Arcelor, la faisant passer à 25,8 milliards d'euros. Aujourd'hui, le groupe Arcelor fait partie d'ArcelorMittal, premier groupe sidérurgique mondial.

27 février 2008 : réouverture du haut-fourneau n°6 de Seraing par le groupe ArcelorMittal, dans un contexte de forte demande d'acier.

Novembre 2008 : arrêt du haut-fourneau n°6 de Seraing sur fond de crise économique mondiale et de baisse de la demande d'acier.

ARCELOR : des surfaces pour l'avenir...

Alors que le secteur de la sidérurgie est en pleine restructuration, le groupe sidérurgique mondial ARCELOR travaille actuellement au projet d'une ligne industrielle de revêtement d'acier par un procédé plasma sous vide. Cette innovation constitue une première mondiale et l'un des développements les plus prometteurs du Groupe. Elle est destinée à renouveler et à élargir son offre de produits en leur conférant de nouvelles fonctionnalités.

Ce procédé écologique offre de larges possibilités parmi lesquelles des surfaces esthétiques, de nouvelles colorations métalliques, des surfaces actives, autonettoyantes ou antibactériennes, des surfaces gérant l'énergie lumineuse ou encore des dépôts offrant des protections spécifiques à l'acier (anticorrosion,...). Liège a été choisie pour la construction de cette première réalisation industrielle.

Au 31 décembre 2008 ArcelorMittal comptait 315.867 employés (équivalent plein temps) répartis dans une soixantaine de pays. Sa capitalisation boursière s'élevait à 124,9 milliards de dollars et sa production totale d'acier à 103,3 millions de tonnes, soit environ 10 % de la production mondiale, en faisant le leader mondial dans le domaine.

ArcelorMittal employait encore il y a peu près de 4500 personnes dans la région de Liège.

C'est sur le site d'Ivoz-Ramet que se trouve la section de recherche et développement de nouveaux revêtements pour l'acier.



Le site d'Ivoz-Ramet

2. La ligne LERO

2.1 Historique et composition

Créée en 1993, la "LERO" - Ligne Expérimentale de Revêtement Organique - est une ligne expérimentale d'Arcelor Mittal située sur le site d'Ivoz-Ramet, près de l'usine Segal, destinée à mettre au point et tester des revêtements ainsi que divers modes d'enduction avant de les utiliser sur les lignes de production.

Cette ligne permet également de développer des produits plus modernes ou plus respectueux de l'environnement comme par exemple des peintures sans solvants, des vernis anti-griffures ou auto-nettoyants.

Elle est capable de reproduire toutes les conditions d'application de peinture rencontrée sur les lignes de laquage, existantes ou à venir, du groupe ArcelorMittal.

NB: Le revêtement utilisé sur la LERO est dit "organique" car il est issu du raffinage du pétrole. L'autre type de peinture est appelé peinture minérale ou inorganique. Ce dernier n'est pas utilisé sur la LERO et est très peu employé en général.

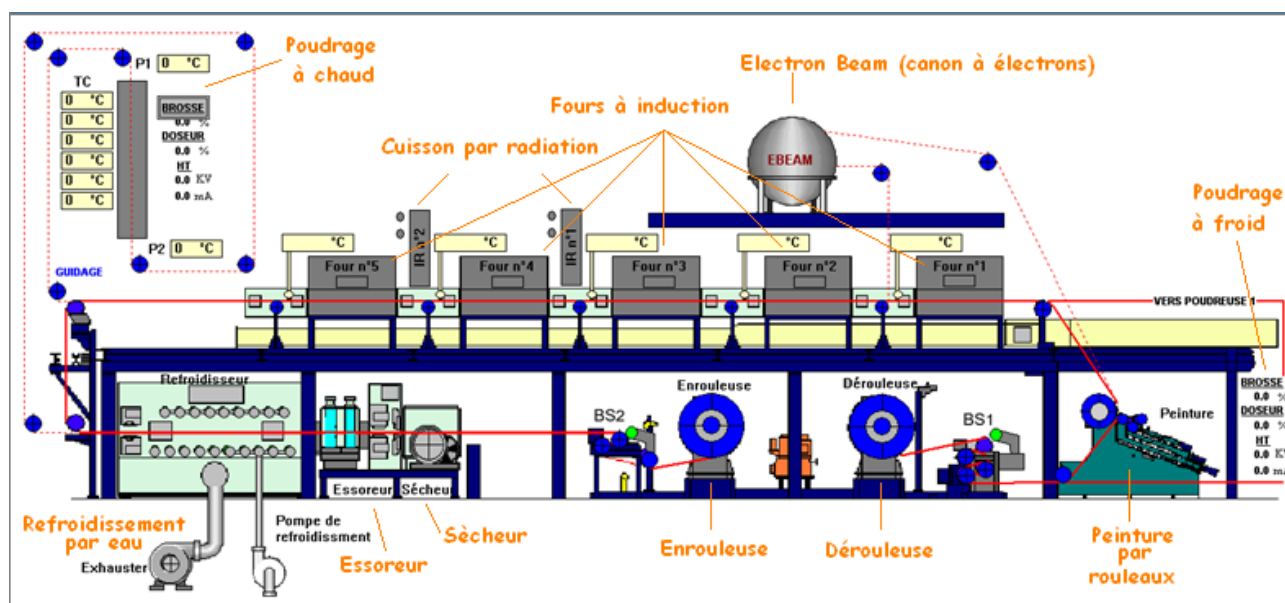


Fig.1: Vue d'ensemble de la LERO

Comme la ligne n'effectue qu'un seul traitement de peinture sur les bandes d'acier et que ces bandes ne défilent pas en continu, la composition de la ligne LERO est assez simple. Elle est agencée dans l'ordre suivant : une dérouleuse, suivie d'un bloc en S (BS1), d'un premier module de peinture soit par enduction par rouleaux, soit par enduction par poudrage. Arrive ensuite le deuxième module: la bande passe optionnellement de l'EBEAM ou dans les cinq fours à induction, puis optionnellement dans un second module de poudrage. Arrive enfin le troisième module, constitué d'une partie refroidissement, d'un essoreur, d'un sécheur, du deuxième bloc en S (BS2) et de l'enrouleuse. Voir Fig.1 ci-dessus.

La dérouleuse et l'enrouleuse ont pour rôle de maintenir la traction dans la bande d'acier, en plus de leur rôle de déroulement ou d'enroulement.

Les deux blocs en S imposent entre eux deux la vitesse et la traction de la bande. Le premier bloc (BS1) est un ensemble de trois rouleaux motorisés qui répartit la traction à imposer à la bande, le deuxième bloc (BS2) est composé seulement de deux rouleaux motorisés: il impose la vitesse de déplacement de la bande.

L'EBEAM utilise une technique novatrice qui permet de mieux fixer les molécules de peintures sur l'acier. Le traitement apporté par l'EBEAM se fait sous vide.

Par contre, la poudreuse est abandonnée. Les essais de cette méthode n'ont jamais été satisfaisants. Cette étape était un second procédé de pose de peinture sur les bandes. On distinguait deux modes de poudrage différents: le poudrage sur bande froide -ou poudrage à froid- et le poudrage sur bande chaude -ou poudrage à chaud-.

Les cinq fours sont des fours à induction, ils ne consomment que de l'énergie électrique et ne chauffent que les pièces métalliques.

Selon le revêtement à obtenir, le type et la texture de la peinture employée, l'épaisseur de peinture à appliquer et la brillance désirée, on utilise différentes combinaisons d'enduction et de séchage.

Des échantillons de tôle ainsi revêtue sont découpés au format A4 et soumis à une batterie de tests pour contrôler les différentes caractéristiques mécaniques du revêtement telles que la résistance à la flexibilité, aux chocs et aux intempéries.

Dans le futur, la tôle ainsi revêtue devrait être principalement destinée à l'industrie de l'électroménager.

2.2 Description de l'automatisation de la ligne

L'automatisation de la ligne est gérée par deux automates. Le premier contrôle la programmation séquentielle, le second prend en charge les régulations. Ces deux CPU Siemens série 400 sont implantées sur le même rack. La programmation séquentielle et la régulation communiquent via le bus de ce rack par l'échange d'un bloc de données.

2.2.1 L'automate de la programmation séquentielle

Cet automate est relié par un bus de terrain (Profibus) à plusieurs ensembles d'entrées/sorties décentralisés, ainsi qu'à deux variateurs. Un deuxième réseau lui permet d'atteindre les entrées/sorties de l'Ebeam. C'est aussi lui qui s'occupe de la communication avec la supervision au moyen d'un bloc de données (DB1000) qu'il échange par Ethernet industriel. Ce bloc contient les informations des deux automates dont la supervision a besoin.

C'est ici que sont gérés tous les déplacements des servomoteurs de la machine de peinture.

2.2.2 L'automate des régulations

Il contrôle la régulation de vitesse de ligne, ainsi que les régulations de couple, de couple additionnel et de vitesse des différents entraînements de la ligne LERO. Pour cela il communique avec les variateurs par un réseau Profibus grâce à des blocs de données standardisés.

3. La machine de peinture

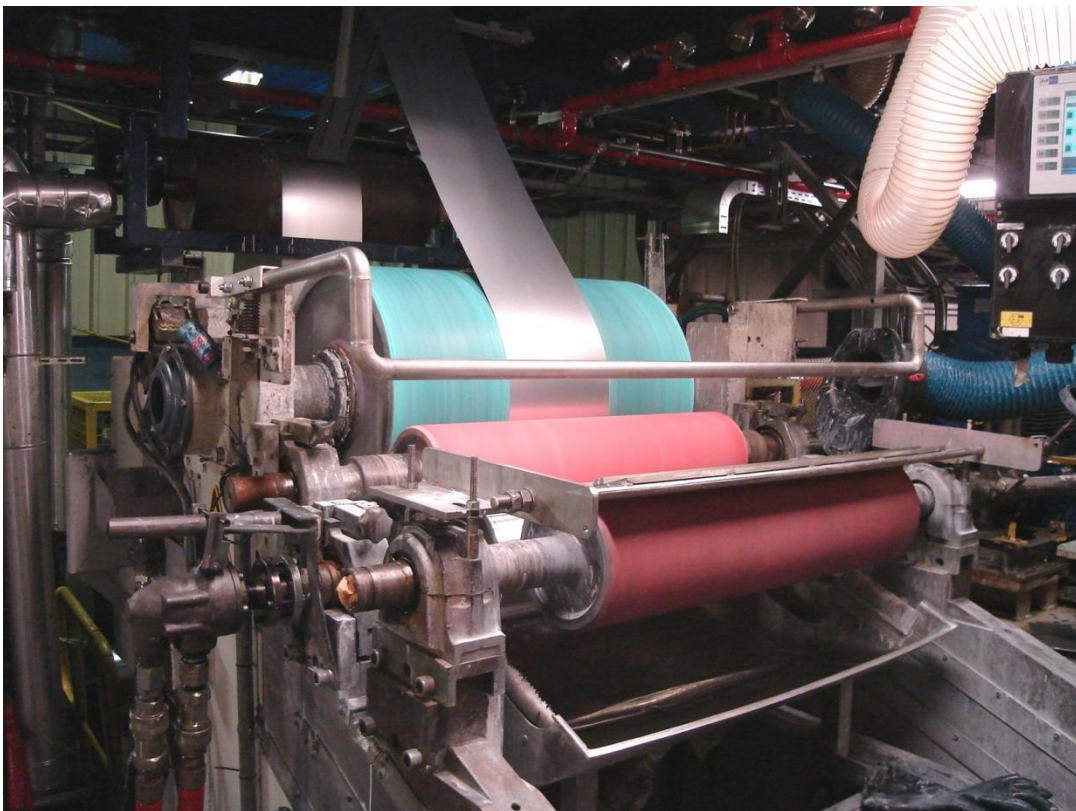
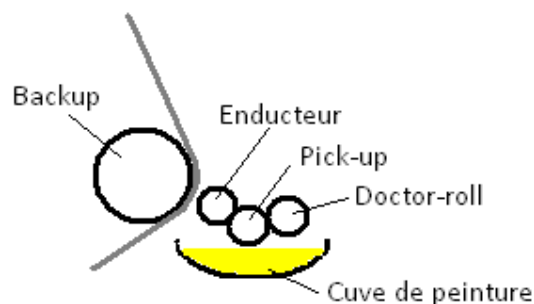


Fig.2: La machine de peinture

Le procédé de peinture est complexe. L'épaisseur de peinture sur la bande est contrôlée avec une grande précision grâce à des servomoteurs.

La machine est composée de quatre rouleaux distincts : le Doctor roll, le Pick-up, l'Enducteur, tous trois translatant sur des rails grâce à des vis sans fin entraînées par les servomoteurs, et le Backup qui lui est fixe.

- Le Doctor-roll : Il vient déposer le plus uniformément possible de la peinture sur le rouleau Pick-up et c'est de ce dosage que dépendra principalement l'épaisseur de la couche sur la bande d'acier;
- Le Pick-up : Selon qu'il tourne dans le même sens ou dans le sens inverse du rouleau Enducteur, il transmettra à celui-ci une quantité de peinture respectivement plus faible ou plus grande;
- L'Enducteur : Il est chargé à son tour d'enduire la bande d'acier le plus uniformément possible;
- Le Backup : c'est sur ce gros rouleau que défile la bande d'acier.



Notons que les rails de support des trois premiers rouleaux sont posés les uns sur les autres dans cet ordre: le Doctor roll sur le Pick-up, lui-même sur l'Enducteur, donc lorsque l'Enducteur se déplace, il entraîne les deux autres rouleaux avec lui. Idem pour le Pick-up qui entraîne le Doctor roll. Voir Fig.3

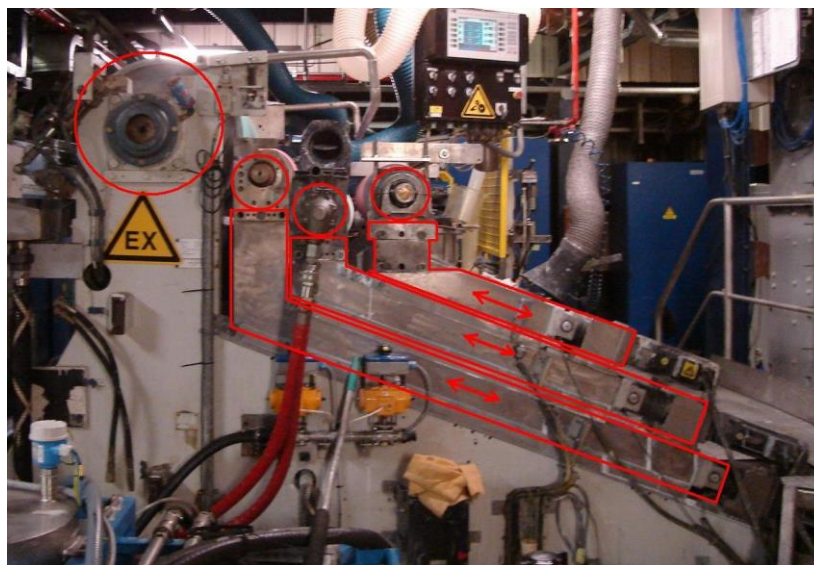


Fig.3: La machine de peinture vue de profil.

Plusieurs configurations sont possibles:

- La configuration à 3 rouleaux ou à 2 rouleaux, pour laquelle on retire le Doctor-roll;
- la configuration en ligne ou en V, où le rouleau Pick-up est respectivement dans l'axe ou sous l'axe formé par les deux autres rouleaux;
- la configuration suivant laquelle le rouleau de surface métallique est le Pick-up ou l'Enducteur.

Deux modes de régulation sont possibles.

- le mode régulation en effort, où les rouleaux font pression les uns sur les autres;
- le mode régulation en écart, où un écart constant est maintenu entre les rouleaux.

Divers modes de positionnement standardisés ont été également programmés

- le mode "zéro tage", où tous les rouleaux reculent jusqu'à leurs butées mécaniques afin de fixer leur zéro absolu, référence de tous les déplacements;
- le mode "calibrage", pour la mesure du diamètre réel des rouleaux;
- le mode "entretien" permettant de positionner les rouleaux pour pouvoir les démonter;
- le mode "nettoyage" où une faible consigne d'écart et de vitesse de rotation sont imposées de manière à faciliter le nettoyage de la machine entre chaque test;
- le mode "parking" ou mode de repos où la consigne de position de chaque rouleau est fixée à 10 cm de ses butées mécaniques respectives.

Ajoutons à cela le mode engagement/dégagement qui permet à l'opérateur d'écarter l'Enducteur du Backup pour arrêter momentanément l'enduction de la bande d'acier, puis de le renvoyer exactement à la même position qu'il avait lors du dégagement.



Etant donné l'atmosphère potentiellement explosive due aux produits chimiques testés (peintures et solvants), tout le matériel composant et jouxtant la machine de peinture est certifié "Ex", c'est-à-dire anti-détonnant.

L'utilisation de servomoteurs « brushless », sans balais et donc sans étincelle, a été privilégiée. Nous en reparlerons plus loin en détails.

4. Mon rôle sur la LERO

En 2008 ArcelorMittal a décidé de rénover sa machine de peinture. Il s'agissait en l'occurrence de remplacer les six anciens servomoteurs de positionnement des rouleaux ainsi que leurs variateurs, de rénover l'armoire électrique et de remplacer l'interface opérateur par un écran tactile déporté.

La carte Siemens FM 453 de positionnement des servomoteurs n'était pas exploitée de manière optimale. Cette carte permet en effet de gérer le positionnement de servomoteurs (ou de moteurs pas-à-pas) en "full automatique" de manière très rapide et très précise (au micron près), grâce à l'appel de blocs-programmes dont la conception est exposée plus loin dans ce TFE.

Toute la programmation de gestion des déplacements, rampes d'accélération, calculs de positionnements, seuils de vitesses etc, avait donc été faite par programmation Step 7 classique. L'inconvénient majeur en était la lenteur des déplacements et des mouvements saccadés. Cette rénovation hardware était l'occasion idéale de remanier en même temps le programme de positionnement.

Il fallait donc adapter tout le programme automate à ces modifications et créer les vues de supervision correspondantes.

Il fallait également confectionner les connecteurs reliant les six drives du variateur aux deux cartes Siemens FM 453.

J'ai eu l'occasion d'élaborer mon programme grâce à un petit banc de test que j'ai réalisé chez Elecmatic.

5. Le moteur brushless



5.1 Rappel sur les moteurs sans balais

Un moteur sans balais, ou moteur "brushless", est un moteur synchrone, dont le rotor est constitué d'un ou de plusieurs aimants permanents et pourvu d'origine d'un capteur de position rotorique (capteur à effet Hall, synchro-résolveur ou codeur incrémental par exemple).

Vu de l'extérieur, il fonctionne en courant continu. Son appellation (de l'anglais Brushless) vient du fait que ce type de moteur ne contient aucun collecteur tournant et donc pas de balais. Par contre un système électronique de commande doit assurer la commutation du courant dans les enroulements statoriques. Ce dispositif peut être, soit intégré au moteur pour les petites puissances, soit extérieur sous la forme d'un convertisseur de puissance (onduleur). Le rôle de l'ensemble capteur plus électronique de commande est d'assurer l'autopilotage du moteur c'est-à-dire l'orthogonalité du flux magnétique rotorique par rapport au flux statorique, rôle autrefois dévolu à l'ensemble balais-collecteur sur une machine à courant continu.

5.1.1 Évolutions par rapport à la machine à courant continu

Ce type de moteur électrique élimine tous les inconvénients du moteur à courant continu classique : problèmes de commutation au niveau du collecteur, défretage, inertie, refroidissement (les pertes Joule étant situées au stator elles sont plus faciles à évacuer), puissance massique nettement plus grande, géométrie, durée de vie ; en particulier l'indice de protection IP peut être augmenté par rapport aux machines à courant continu du fait de l'absence de balais.

À performances égales, son rendement est toujours meilleur, ceci étant dû en partie à l'absence de pertes mécaniques et électriques liées aux balais (surtout pour de faibles charges), mais aussi la plupart du temps à son inertie notablement réduite par rapport à une machine équivalente à courant continu, ce paramètre étant prépondérant dans de nombreuses applications, en particulier dans les phases d'accélération.

Toujours à performances égales, le moteur sans balais est d'un prix de revient moindre que la machine à courant continu du fait du remplacement du collecteur et des balais par un capteur électronique d'un coût très réduit. Pour les petites puissances ce capteur assure les deux fonctions de détection de la position rotorique et de commutation du courant.

Dans ce cas, le fonctionnement est identique, vu de l'extérieur, à une machine à courant continu : il suffit de faire varier la tension d'alimentation pour faire varier la vitesse de rotation et dans de nombreuses utilisations ceci ne nécessite pas le recours à un variateur électronique de vitesse (petits ventilateurs par exemple).

Pour la grande majorité des applications nécessitant une commande et une régulation électronique du couple, de la vitesse et/ou de la position, les avantages du moteur sans balais sont tels qu'il a complètement remplacé la machine à courant continu et, en liaison avec les progrès de l'électronique de puissance (par exemple les IGBT), le prix de revient de ces solutions s'en est trouvé réduit dans le même temps que leurs performances ont été notablement améliorées.

Le rotor étant constitué d'aimants permanents, il ne présente pas de perte Joule dans le rotor donc pas d'échauffement.

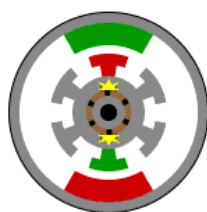


Fig. 4.1



Fig. 4.2

Fig.4: Schémas en coupes transversales opposant un moteur DC (Fig.4.1) et un moteur "brushless" alternatif muni d'une paire de pôles (Fig.4.2).

5.1.2 Utilisations

Les moteurs "brushless" sont largement utilisés dans l'industrie, en particulier dans les servo-mécanismes des machines-outils et en robotique, où ils ont fait disparaître peu à peu les machines à courant continu. On trouve de tels moteurs pour des couples allant de quelques Newton-mètres à plusieurs centaines de Newton-mètres et des puissances de quelques centaines de watts à des centaines de kilowatts.

Ils équipent en particulier les disques durs et les graveurs de DVD. Une forme simplifiée et populaire de ces technologies est utilisée dans les ventilateurs assurant le refroidissement des micro-ordinateurs.

Dans le domaine des transports, les moteurs électriques qui équipent les véhicules hybrides comme la Toyota Prius et la Honda Civic IMA pour assurer, entre autres, le fonctionnement à faible vitesse, sont également des moteurs sans balais.

Ils équipent également les vélos à assistance électrique, vélos que l'on entraîne en pédalant comme sur un vélo classique mais où un moteur vient aider l'effort. Certains scooters présents sur le marché utilisent également ce moteur pour les faibles vitesses ou en remplacement total du moteur thermique.

Ils sont aussi très utilisés en modélisme pour faire se mouvoir des modèles réduits de voitures, d'avions ou d'hélicoptères. Cependant les moteurs sans balais de modèles réduits radiocommandés sont souvent assemblés à la main, contrairement aux moteurs classiques à balais et leur coût est encore supérieur.

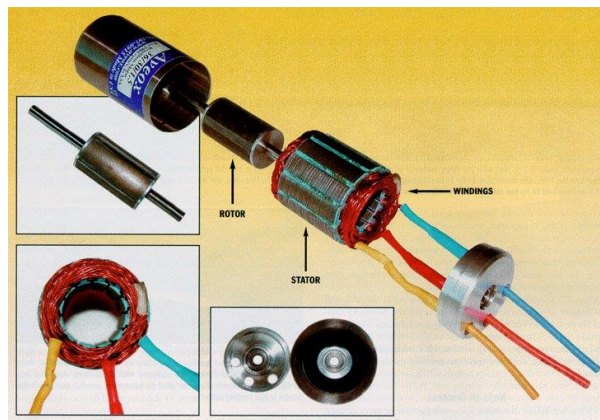


Fig.5: Composition d'un petit moteur brushless Aveox.

5.2 Servomoteurs utilisés sur la machine de peinture

Il s'agit de servomoteurs PARVEX EX EAP 430



Fig.6: L'un des six servomoteurs muni de son renvoi d'angle, de son réducteur de vitesse et de son pignon d'accouplement.



6. Le moteur pas à pas

Le moteur pas à pas fut inventé par Marius LAVET en 1936 pour l'industrie horlogère. Un moteur pas à pas permet de transformer une impulsion électrique en un mouvement angulaire. Ce type de moteur est très courant dans tous les dispositifs où l'on souhaite faire du contrôle de vitesse ou de position en boucle ouverte, typiquement dans les systèmes de positionnement.

On trouve trois types de moteurs pas à pas :

- le moteur à réluctance variable ;
- le moteur à aimants permanents ;
- le moteur hybride, qui est une combinaison des deux technologies précédentes.

6.1 Moteurs pas à pas à réluctance variable:

Les moteurs à réluctance variable doivent leur nom au fait que le circuit magnétique qui les compose s'oppose de façon variable à sa pénétration par un champ magnétique.

Ces moteurs sont composés d'un barreau de fer doux et d'un certain nombre de bobines. Lorsqu'on alimente une bobine, elle devient un électroaimant et le barreau de fer cherche naturellement à s'orienter suivant le champ magnétique. On alimente la phase 1, puis la phase 2, puis la phase 3 ...

Si l'on veut changer le sens du moteur, il suffit de changer l'ordre d'alimentation des bobines.

Dans la pratique, le barreau de ferrite a plusieurs dents (ici 6). Dès qu'on alimente la phase 2, il y a une rotation de 15° (ex: $60^\circ - 45^\circ = 15^\circ$), puis la phase 3, etc. Donc le moteur tourne de 15° dès qu'on alimente une phase. Il faut 24 impulsions pour faire un tour complet.

C'est donc un moteur 24 pas.

Avantages du système :

Peu coûteux et d'une bonne précision.

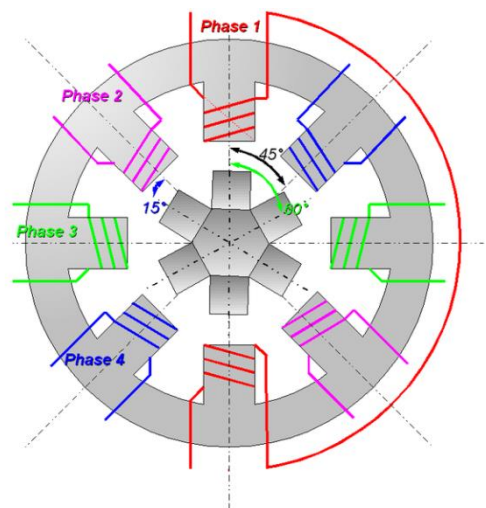


Fig. 7: Schéma d'un moteur pas à pas à réluctance variable

6.2 Moteurs pas à pas à aimants permanents:

Les moteurs à aimants permanents sont semblables aux moteurs à réluctance variable, sauf que le rotor possède des pôles NORD et SUD. À cause des aimants permanents, le rotor reste freiné à sa dernière position lorsque le bloc d'alimentation cesse de fournir des impulsions. Ce couple résiduel s'appelle le couple de détente.

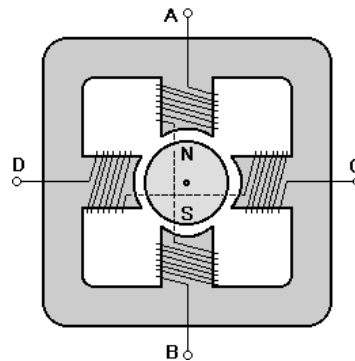


Fig. 8: Schéma d'un moteur pas à pas à aimants permanents.

6.3 Moteurs pas à pas hybrides:

Les moteurs hybrides sont des moteurs à réluctance variable dont le rotor est aimanté. Le couple de ces moteurs comprendra les trois composantes fondamentales : couple hybride (prépondérant), couple réluctant et couple de détente, mais, comme dans les moteurs à aimants, c'est le couple hybride qui est prépondérant.

7. Asservissement du servomoteur brushless

7.1 Introduction

Lorsque l'on veut réaliser un asservissement en position ou en vitesse, le moteur brushless est souvent incontournable, surtout si l'on recherche de la performance.

Mais dans un asservissement en boucle fermée, le moteur n'est pas tout.

L'électronique a bien sûr son importance. Mais le plus important encore, c'est le capteur. Trois types de capteurs s'affrontent : le résolveur, le codeur incrémental et le codeur incrémental avec sorties sinusoïdales.

Robustesse, précision, dynamique, temps de réponse etc. : selon les critères recherchés, l'un ou l'autre sera préféré.

Le développement de l'automatisation dans les processus industriels crée une demande de machines-outils et de robots plus précis et plus rapides. Pour y répondre, les systèmes de contrôle du mouvement font appel à des asservissements utilisant des moteurs brushless AC (alimentés en courant alternatif). Pour que les boucles d'asservissement aient la plus large bande passante possible, pour permettre une rotation sans à-coup à très basse vitesse, les mesures de vitesse et de position du moteur doivent être faites avec le maximum de résolution et de précision.

Toute servocommande avec moteur brushless comporte un capteur de position monté sur l'arbre. Ce capteur de position joue un rôle très important dans la boucle d'asservissement car ses indications sont utilisées pour réaliser la commande de vitesse/position mais aussi pour contrôler le couple. L'asservissement comporte en effet deux boucles : l'une pour la vitesse/position, l'autre pour le couple (voir schéma "Asservissement d'un moteur brushless").

L'amplitude du courant appliqué au moteur permet de commander le couple tandis que la phase du courant est liée à la position du rotor (commutation du courant).

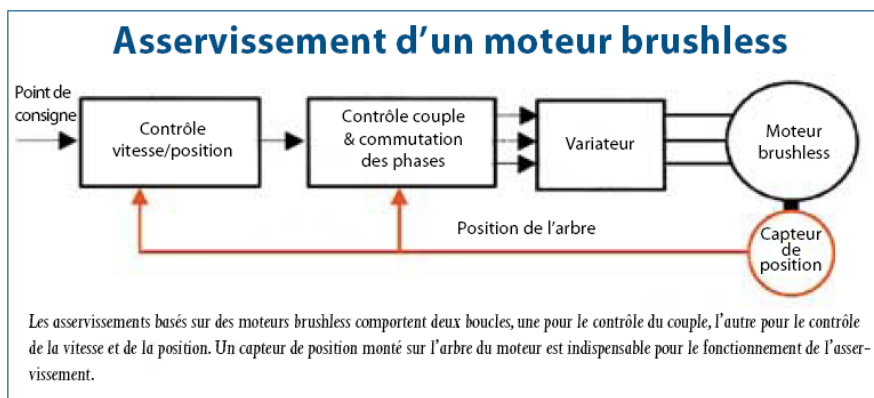
Le choix du capteur dépend des besoins de l'application : les modèles les plus fréquemment rencontrés sont les résolveurs, les codeurs incrémentaux et les codeurs sinusoïdaux. Chacun a trouvé un champ d'application privilégié.

Les **résolveurs** sont surtout utilisés dans les applications de robotique. Ils sont très robustes et fournissent une valeur de la position absolue du moteur. Ces informations sont indispensables pour permettre aux organes de la boucle d'asservissement de couple d'appliquer les courants de commutation du moteur et à la boucle d'asservissement de vitesse/position de contrôler la vitesse et la position du moteur.

Les **codeurs** sont surtout utilisés sur les machines-outils, et plus particulièrement les machines de tournage et d'usinage où une grande précision est requise. Ils sont également utilisés sur les entraînements directs (rotatifs ou linéaires), où la charge est directement montée sur la partie mobile du moteur. Dans ces cas-là, comme il n'y a pas de réducteur, il faut un grand nombre d'impulsions par tour pour obtenir la mesure de la position avec la précision nécessaire.

Il faut noter que si les codeurs sont de type incrémental, il faut disposer de signaux supplémentaires (afin de pouvoir assurer la commutation du courant du moteur brushless), qui peuvent être fournis par exemple par un détecteur de la position des aimants du moteur à la mise sous tension (rappelons que le moteur brushless est un moteur synchrone à aimant permanent).

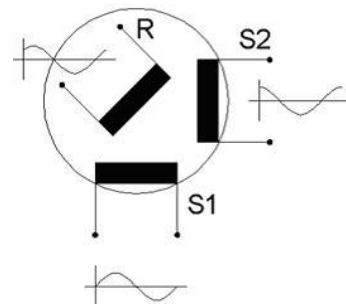
Pour évaluer l'aptitude de ces capteurs à remplir les exigences d'une application, il faut examiner un à un les besoins de l'application en termes de résolution, précision, linéarité, type de mesure de position (absolue ou relative), temps de réponse (retard de la mesure), sensibilité au bruit électrique, gamme de température, sensibilité aux chocs mécaniques et aux vibrations, ainsi que le nombre de connexions nécessaires.



7.2 Les résolveurs, les plus robustes

Le résolveur est un capteur de position couramment utilisé avec les servomoteurs brushless. Les résolveurs sont, pour simplifier, des transformateurs tournants constitués d'une bobine rotor et de deux bobines stator.

L'excitation primaire (une tension sinusoïdale comprise entre 4 et 8 kHz) fournie à l'enroulement du rotor constitue le signal de référence. Les tensions induites dans les deux enroulements orthogonaux du stator ont une forme sinusoïdale (elles sont décalées de 90°, d'où le nom de sinus et cosinus) qui restitue la position angulaire de l'arbre quand le rotor tourne.



Le résolveur est donc un composant électromécanique, capable de fonctionner dans une large plage de températures. C'est aussi un capteur de position fiable et robuste pour les environnements difficiles. De plus, il donne une information de position absolue, condition indispensable pour la commutation d'un servomoteur brushless.

Pour obtenir la valeur numérique de la position angulaire, il existe deux approches possibles (voir schémas "Numérisation du signal de sortie d'un résolveur"). La première consiste à utiliser un convertisseur RDC (Résolveur to Digital Conversion) monolithique.

7.2.1 Numérisation avec un convertisseur RDC.

Les tensions sinus et cosinus des enroulements du stator, modulées par la position angulaire de l'arbre, sont appliquées au RDC monolithique. Dans ce cas, le RDC monolithique fonctionne en

mode “poursuite”. Cette technique de conversion fournit une sortie numérique avec une bonne immunité au bruit. Cependant, il faut tenir compte du retard introduit par le filtre présent à l'intérieur du convertisseur RDC.

7.2.2 Numérisation avec un processeur DSP.

La conversion de la position peut aussi être obtenue en utilisant une approche logicielle basée sur un processeur DSP (Digital Signal Processor).

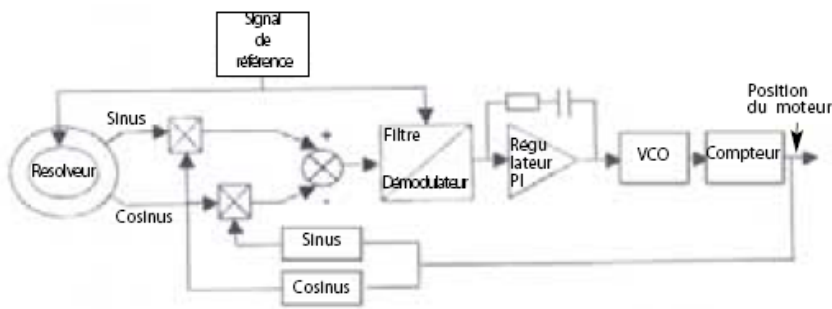
Dans ce cas, les tensions en sinus et cosinus des enroulements secondaires du résolveur sont appliquées à deux convertisseurs analogique/numérique. Pour être sûr de ne pas perdre d'information, ces signaux sont échantillonnés au double de la fréquence du signal d'excitation (théorème de Shannon). Quant aux instants d'échantillonnage, ils doivent être synchronisés avec les pics positifs et négatifs de l'onde sinusoïdale d'excitation, de façon à pouvoir réaliser la démodulation (élimination de la porteuse). A partir de là, le DSP applique la fonction “inverse d'arc tangente” sur les échantillons de sinus et cosinus du résolveur et en déduit la position de l'arbre du moteur.

La résolution obtenue sur la position numérique dépend de la résolution des convertisseurs analogique/numérique (12 ou 16 bits). La valeur de la vitesse est dérivée de la valeur de la position.

Du coup, une erreur de quantification sur le calcul de la position entraîne un bruit sur le calcul de la vitesse. Dans ce cas, compte tenu du gain élevé de la boucle de régulation “vitesse”, le bruit qui affecte la mesure de la vitesse est transféré au courant moteur.

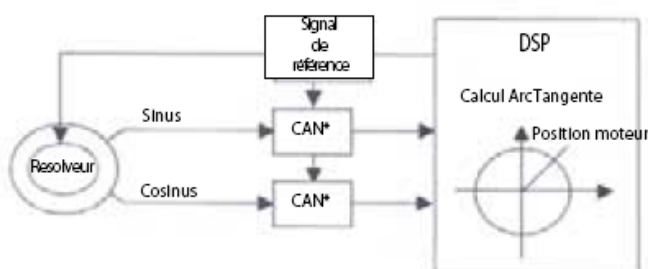
Numérisation du signal de sortie d'un résolveur

Numérisation avec un convertisseur monolithique (présenté en circuit intégré)



Le signal de référence est en fait la tension sinusoïdale appliquée au rotor du résolveur. Grâce aux deux fonctions intégrées du VCO (Voltage Controller Oscillator, oscillateur commandé en tension) et du régulateur PI (actions proportionnelle et intégrale), la boucle de numérisation a un gain unitaire et ne présente pas d'erreur de poursuite quand le résolveur fonctionne à vitesse constante. La sortie numérique donne en permanence la position de l'arbre, et ce avec une bonne insensibilité au bruit grâce à l'effet de filtre de la fonction de transfert du deuxième ordre. Cependant, il faut tenir compte du retard introduit par le filtre. Une démodulation sensible à la phase est alors utilisée pour éliminer la fréquence de la porteuse.

Numérisation réalisée avec un processeur DSP (par logiciel)



*Convertisseur Analogique/Numérique

Un filtre numérique de poursuite du second ordre peut améliorer la résolution de la position numérique obtenue par le calcul de l'arc tangente, mais le retard introduit par le filtre limite la bande passante de la boucle d'asservissement vitesse/position et donc la plage de vitesses qui pourra être contrôlée (il devient difficile de faire des asservissements pour des vitesses élevées).

La précision de la mesure de la position dépend principalement de la précision de montage lors de la fabrication du résolveur (assemblage de l'enroulement de la bobine et excentrement lors du montage du rotor et du stator), mais aussi de l'erreur de conversion RDC. Pour les résolveurs standards, l'erreur “électrique” due au manque de

précision de la fabrication du résolveur est d'environ ± 8 minutes d'arc.

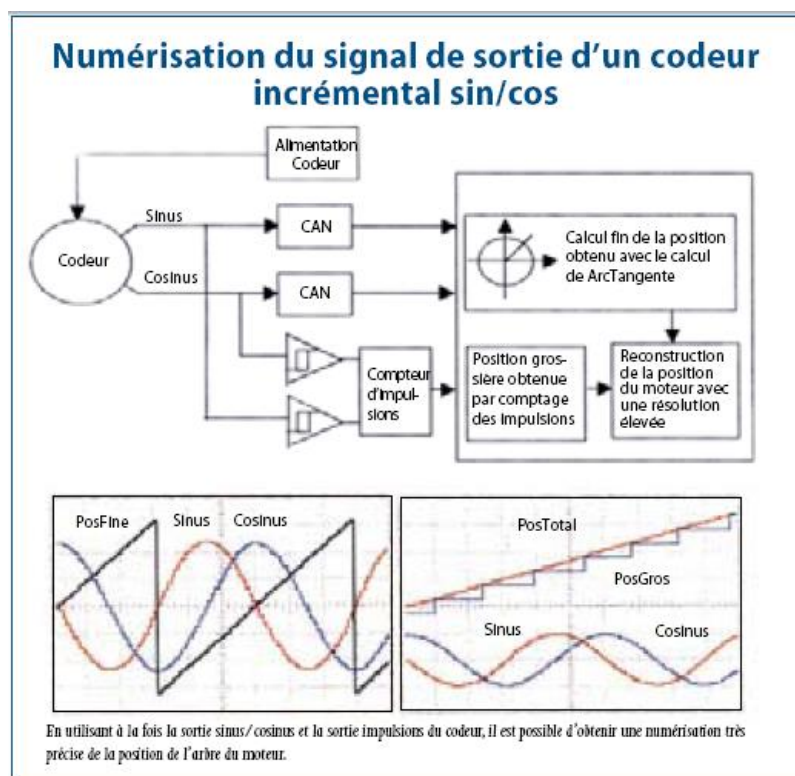
L'erreur de conversion RDC est due aux erreurs de zéro des convertisseurs analogique/numérique et aux différences de gain entre les canaux sinus et cosinus. L'erreur globale dans la valeur de la mesure de position pour un asservissement basé sur un résolveur est généralement de ± 15 minutes d'arc. L'erreur sur la valeur de la position se traduit par une erreur sur la valeur de la vitesse : et plus la vitesse est élevée, plus l'erreur est importante.

7.3 Les codeurs, les plus précis

7.3.1 Les codeurs incrémentaux et les codeurs sinusoïdaux

Les codeurs incrémentaux et les codeurs sinusoïdaux utilisent tous deux des techniques similaires de balayage optique. La lumière émise par une LED (diode électroluminescente) passe à travers un disque en rotation (solidaire de l'axe du moteur) comportant des marques fixes transparentes et opaques, et arrive sur un réseau de photodiodes. Quand l'axe du codeur tourne, les différentes marques passent devant les photodiodes et le signal délivré se présente sous la forme d'une succession d'impulsions (en fait, un signal carré) dont la période est représentative de la vitesse (la période correspond à deux zones successives transparentes et opaques).

Le nombre de paires de marques opaques et transparentes régulièrement espacées sur la circonférence du disque correspond à la résolution du codeur. La précision de la mesure de la



position dépend essentiellement de la précision de l'assemblage mécanique du codeur (notamment de l'excentrement du montage du disque ou de l'optique).

Cette valeur est en général inférieure à un pas du disque tournant, de sorte que la précision du codeur dépend de sa résolution (soit un quart de la période du signal). Par conséquent, pour un codeur incrémental avec une résolution de 2048 pas (nombre de périodes du signal de sortie sur un tour), l'erreur de la mesure de position est d'environ 3 minutes d'arc : elle est donc nettement plus faible que celle d'un système d'asservissement basé sur un résolveur. Mais les codeurs incrémentaux ont un inconvénient : comme la mesure est obtenue en

comptant le nombre de périodes du signal de sortie à partir du moment où le capteur est mis sous tension, ils fournissent une mesure relative (si on ne connaît pas la position du moteur au démarrage, il est donc impossible de connaître la position de l'arbre). Pour les utiliser dans une application d'asservissement, il est nécessaire de prévoir un dispositif d'alignement magnétique (des aimants du moteur) lors de chaque mise sous tension.

Si les exigences spécifiques à l'application (par exemple lorsque le moteur est équipé d'un frein ou est en prise avec une charge) empêchent l'utilisation d'un tel dispositif d'alignement, il faut utiliser des moteurs brushless équipés de capteurs à effet Hall montés dans le boîtier du moteur. Ces capteurs sont utilisés à la mise sous tension de façon à démarrer le moteur en commutation de type "120 degrés". Le système d'asservissement de couple bascule ensuite dans le mode de commutation sinusoïdale.

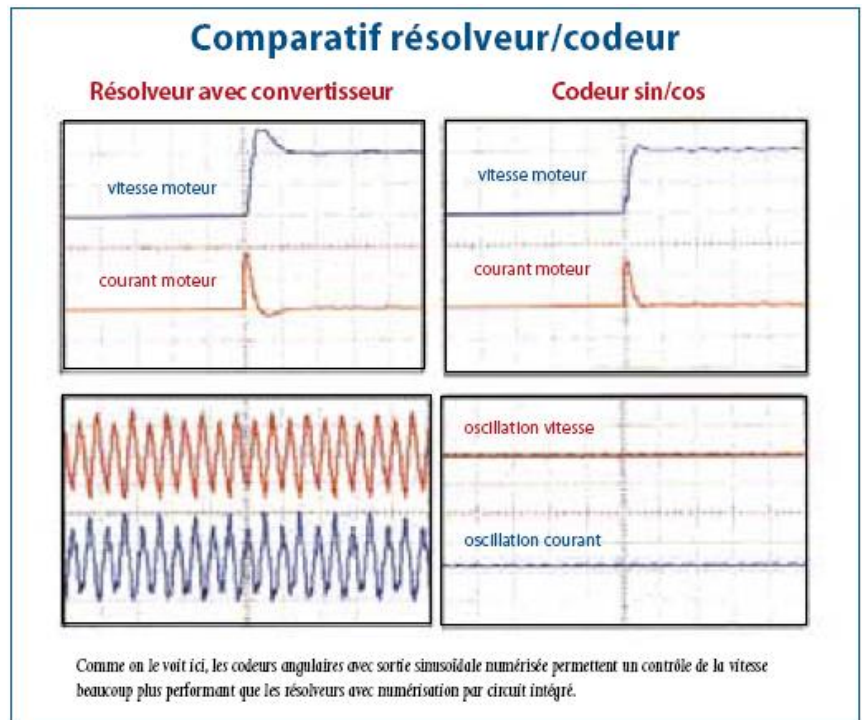
7.3.2 Les codeurs absolus

Les codeurs absolus, comme leur nom l'indique, mesurent la position absolue de l'arbre du moteur et ils sont donc bien adaptés aux asservissements avec servomoteurs brushless. Mais ces solutions sont plus onéreuses que les codeurs incrémentaux et le nombre de signaux à connecter est également plus important (risque de défaillance plus élevé).

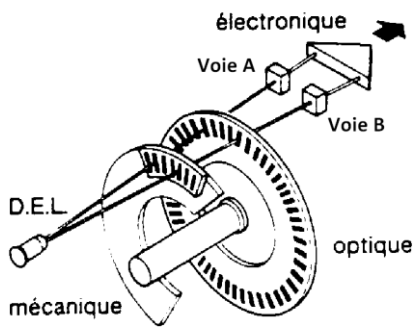
7.3.3 Les codeurs avec sortie sin/cos.

Pour parvenir à de meilleures résolutions avec un codeur incrémental, il est nécessaire d'augmenter le nombre de points par tour. Mais, aux vitesses de rotation élevées, la fréquence (nombre de périodes par seconde) du signal de sortie du codeur devient très élevée et l'électronique du système d'asservissement "n'arrive pas à suivre". C'est la raison pour laquelle les codeurs incrémentaux avec sorties sinus/cosinus sont souvent préférés aux codeurs incrémentaux classiques; dans ce cas, l'information de la position est tout le temps disponible et l'électronique de l'asservissement peut calculer la valeur de la position à l'intérieur d'une période de la résolution de base. Cette caractéristique permet d'obtenir une mesure de position avec une résolution très élevée (supérieure à 1 million d'incréments par tour) avec un plus petit nombre de périodes par tour. La valeur de la position est obtenue par le calcul de l'arc tangente, après conversion des signaux sinus/cosinus avec des convertisseurs analogique/numérique (comme pour la numérisation des signaux sin/cos des résolveurs). Cette information est alors combinée avec l'indication délivrée sur la sortie "impulsions" du codeur de façon à obtenir une information plus précise sur la position. Cette technique est également appelée interpolation fine de la position.

Les essais montrent sans ambiguïté que les codeurs incrémentaux avec sorties sin/cos permettent de réaliser des asservissements beaucoup plus performants que les asservissements réalisés avec des résolveurs ou avec des codeurs à sortie impulsionnelle. La précision, le temps de réponse, la bande passante et la robustesse sont nettement améliorés.

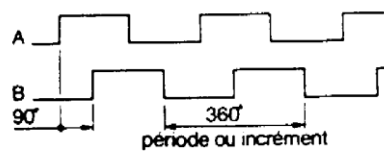


7.3.4 Physiquement

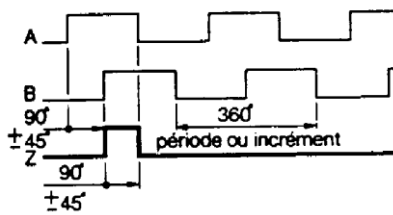


- 1) Le codeur rotatif **incrémental**, qui ajoute ou soustrait (selon le sens de rotation) une unité à un compteur à chaque rotation supérieure à la résolution du capteur. Le compteur est généralement remis à zéro lorsque l'appareil est allumé. C'est le cas de la souris d'ordinateur à boule.

Les codeurs incrémentaux sont destinés à des applications de positionnement et de contrôle de déplacement d'un mobile par comptage et décomptage des impulsions qu'ils délivrent. Le disque d'un codeur incrémental comporte deux types de pistes :



- la piste extérieure est divisée en ' n ' intervalles d'angles alternativement opaques et transparents, ' n ' s'appelant la résolution ou nombre de points. Pour un tour complet de l'axe du codeur le faisceau lumineux est interrompu ' n ' fois et délivre ' n ' signaux consécutifs. Derrière la piste extérieure sont installées 2 diodes photosensibles décalées délivrant des signaux carrés A et B. Le déphasage entre ces deux signaux permet de déterminer le sens de rotation du système.

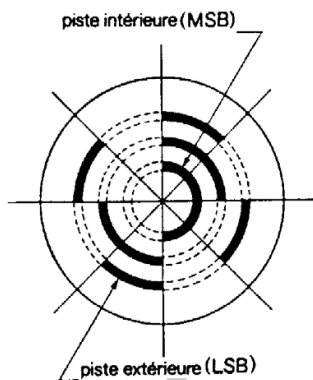


- La piste intérieure comporte une seule fenêtre transparente et délivre un seul signal appelé ' Top zéro ' par tour. Ce signal (Z) détermine une position de référence et permet la réinitialisation à chaque tour.

Les deux pistes décalées permettent le comptage et la détection du

sens de rotation.

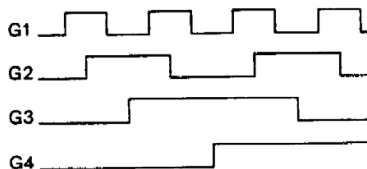
L'inconvénient est qu'il faut un circuit électronique qui compte le nombre de passages.



- 2) Le codeur rotatif **absolu**, qui intègre son propre compteur. Ce genre de capteur est généralement calibré et initialisé une seule fois, et il conserve normalement sa valeur lors de l'arrêt de l'appareil. C'est le cas des compteurs kilométriques de voitures.

Le disque comporte "n" nombre de pistes (ou nombre de bits) et chaque piste a son propre système de lecture (diode émettrice et diode réceptrice). Pour chaque position angulaire de l'axe, le disque fournit un code binaire. Il existe 2 gammes de codeurs absolus :

- le codeur absolu simple tour qui donne une position absolue dans chaque tour.



- Le codeur absolu multi-tours, qui, comme le précédent, donne une position absolue dans chaque tour et permet grâce à un système supplémentaire d'axes secondaires d'indiquer le nombre

de tours.

7.4 En résumé

Les codeurs sont les plus précis et les résolveurs sont les plus robustes. Dans le cas des servomoteurs PARVEX installés sur la machine de peinture, dont la température interne peut atteindre 150°C, c'est un résolveur qui mesure physiquement la position de l'axe grâce à un processeur DSP (voir 7.2.2 ci-dessus), mais le programme PARVEX MOTION EXPLORER propose un "équivalent codeur" virtuel permettant de choisir un nombre de traits par tour codeur (fixé par défaut à 1024 traits).

8. Pourquoi un servomoteur plutôt qu'un moteur pas-à-pas?

On peut parfois utiliser l'un pour l'autre mais leurs bobinages ne sont pas constitués de la même manière:

Un **moteur pas à pas**, comme vu plus haut, saute d'un bobinage à l'autre lorsqu'on lui envoie une impulsion électrique. Ceci fonctionne dans l'un ou l'autre sens en fonction du signe de l'impulsion de tension. Un tel moteur peut nécessiter entre 2 et 50 impulsions pour faire un tour complet mais on peut lui coupler un réducteur mécanique.

Un **servomoteur** est un moteur qui fonctionne en courant continu ou alternatif d'intensité réglable par une électronique. Pour le contrôler, on l'équipe d'un capteur de vitesse et de position (codeur par exemple), qui renseigne en permanence un asservissement, généralement un PID (proportionnel, intégrateur, dérivateur) sur la position réelle de l'axe, position réelle qui sera comparée à la consigne afin de corriger la position du moteur.

Il est plus précis qu'un moteur pas à pas. Sa résolution n'est limitée que par celle du codeur et par les frottements.

Un **moteur pas à pas** peut fonctionner en boucle ouverte, puisque c'est un moteur-position, c'est-à-dire que la position du rotor est commandée par les valeurs des courants dans les enroulements. Ce qui ne veut pas dire qu'on ne peut pas l'utiliser en boucle fermée, ou "servomoteur", mais on le fait peu car cela fait perdre l'avantage de simplicité inhérent à ce type de moteur étant donné qu'il faudra alors lui coupler un capteur de position.

Un **servomoteur** peut être de différents types, le plus souvent à courant continu avec collecteur et balais, ou à courant continu sans balais, parfois asynchrone à onduleur à fréquence variable, etc. ; mais ce qui en fait un servomoteur c'est qu'un moyen de mesure de la position (le plus souvent un codeur angulaire) est couplé à l'arbre, et que le moteur fonctionne en boucle fermée.

Illustrons cette différence par un exemple:

Un moteur est en position et ne bouge pas, il doit maintenir la position et nous appuyons sur son axe linéaire suffisamment fort pour le déplacer.

Avec un moteur pas à pas, si l'axe s'est déplacé, la position sera perdue.

Avec un servomoteur, plus nous appuierons sur l'axe, plus le moteur réagira pour maintenir sa position et même si nous arrivons à lui faire perdre sa position, lorsque nous lâcherons l'axe, la boucle d'asservissement forcera le moteur à revenir à la bonne position.

Conclusion:

Dans la présente application, les opérations de positionnement devant s'effectuer en zone potentiellement explosive, ayant besoin d'une grande précision, d'une grande vitesse et potentiellement d'un grand couple, le choix du moteur s'est naturellement tourné vers le servomoteur brushless, propre, précis et robuste.

De plus, le moteur brushless est parfaitement prévu pour fonctionner à de très faibles vitesses sans échauffement excessif.

9. Le variateur

Les anciens variateurs étaient des PARVEX ABS nécessitant une résistance de précharge externe volumineuse, une source de puissance par couple de drives -ce qui impliquait l'utilisation d'un gros transformateur- et des contacteurs et tempos pour les freins.

ArcelorMittal a opté pour un nouveau variateur PARVEX DIGIVEX 12kW, regroupant six drives enchâssés dans le même rack et tous alimentés par la même source de puissance.

L'encombrement de l'armoire électrique a donc été réduit de manière impressionnante. Notons que l'énergie de freinage des servomoteurs est dissipée par une résistance placée dans le fond du rack.

Seul bémol: le déblocage du frein s'applique uniformément aux six axes. Impossible donc de bloquer le couple d'un servomoteur en particulier.

Mais heureusement cela ne pose aucun problème pour la présente application.

Le schéma de commande et de puissance de variateur se trouve dans l'annexe.

Logique de commande d'un servomoteur brushless:

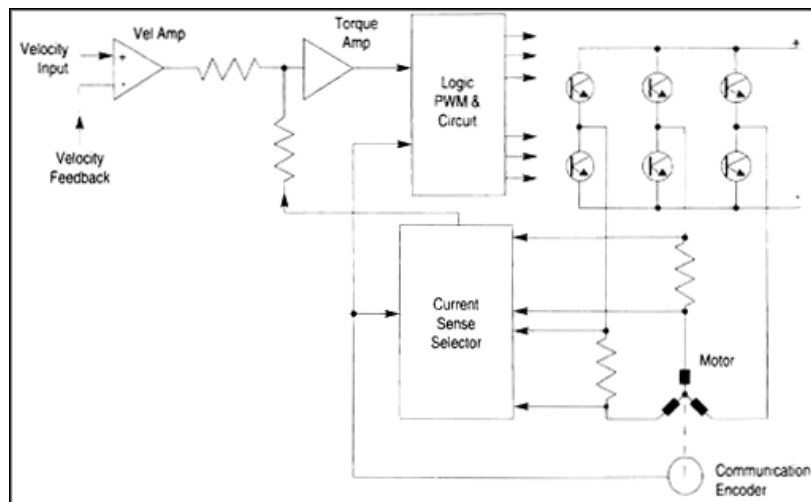


Fig. 9: Logique de commande d'un servomoteur brushless

9.1 Rénovation de l'armoire électrique



Fig. 10 : Les six anciens drives PARVEX ABS

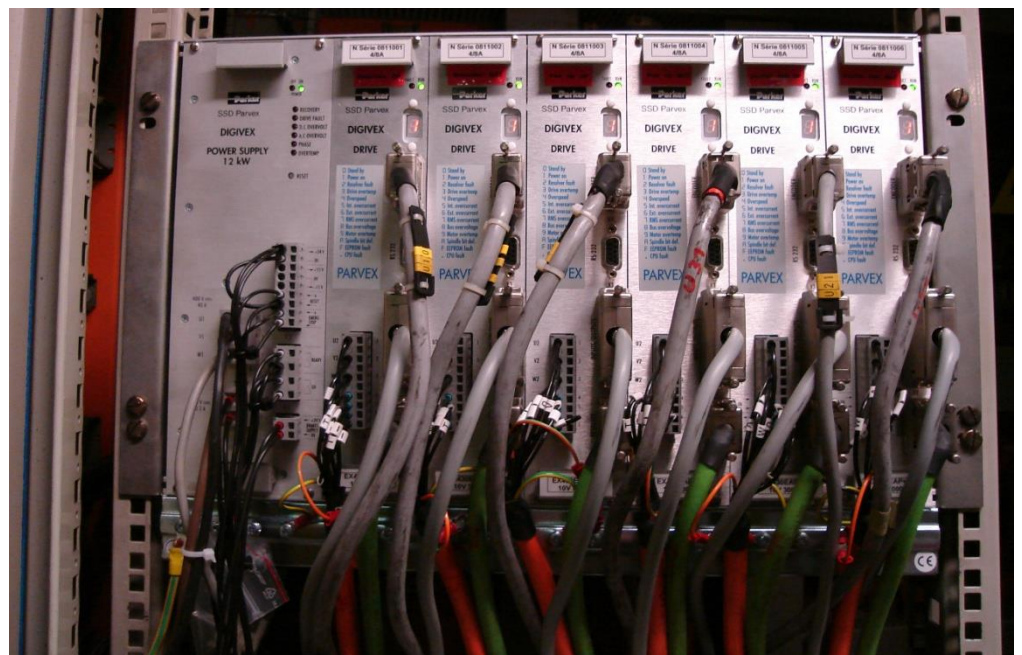
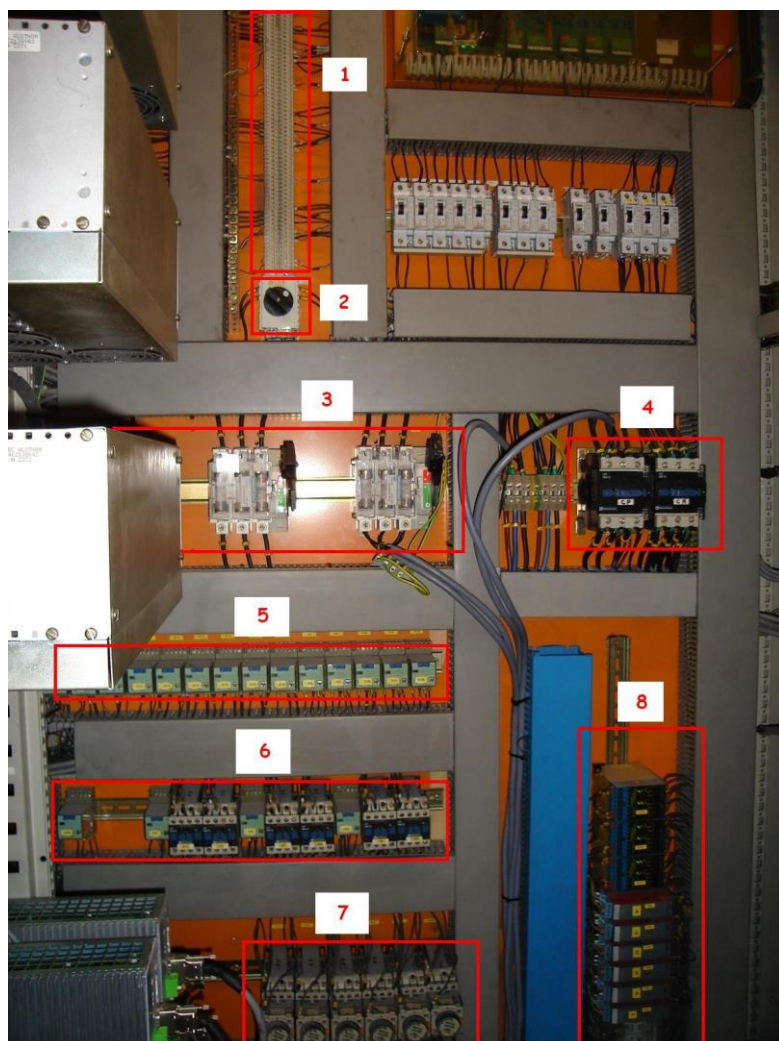


Fig.11: Le nouveau variateur PARVEX Digivex muni de ses six drives.

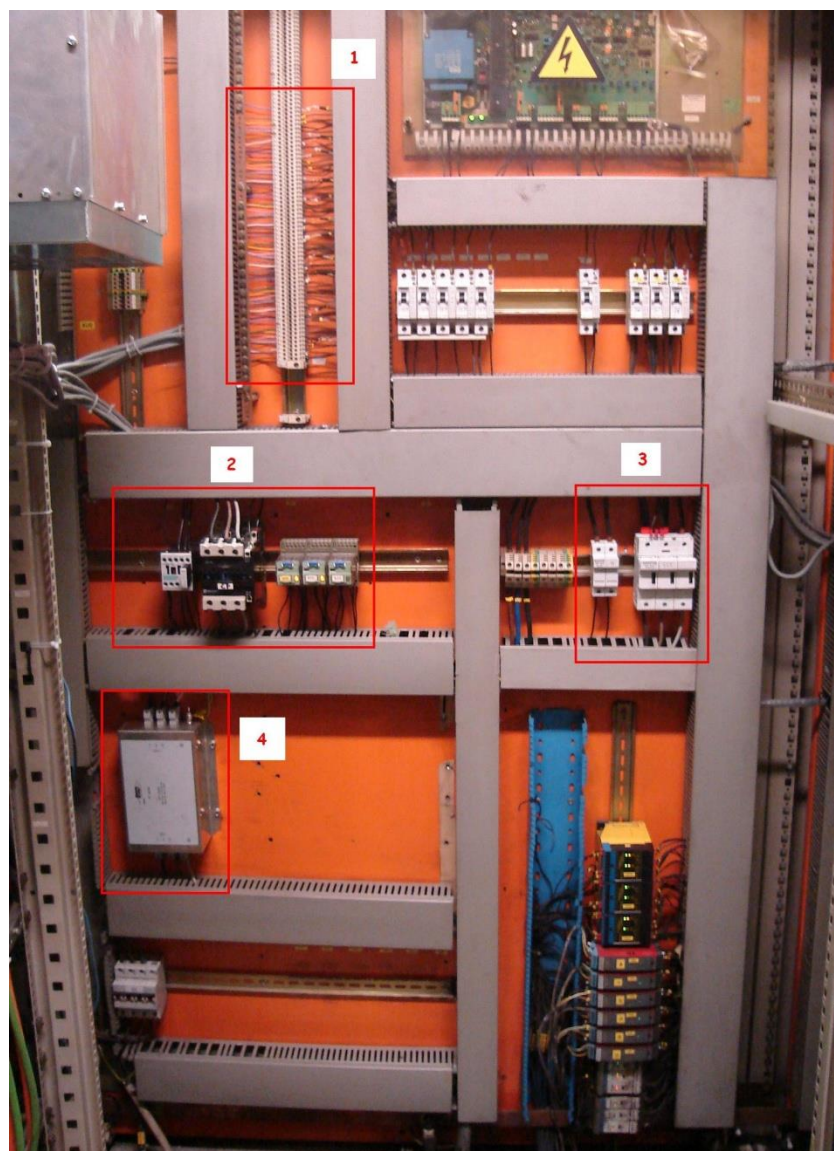
Ancienne disposition de l'armoire des variateurs



1. Bornier reliant les entrées/sorties digitales et analogiques du variateur à la carte FM et aux cartes d'entrées/sorties de l'automate.
2. Sectionneur 110V.
3. 3 boîtiers de fusibles de puissance 400V avec sectionneur.
4. 2 contacts de puissance dont 1 dédoublé.
- 5+6. De gauche à droite: 3 contacteurs de puissance pour l'Enducteur, le Pick-up et le Doctor Roll; 2 contacteurs pour le frein de l'Enducteur, idem pour Pick-up et Doctor Roll; 1 contacteur pour le "Speed Enable" et 1 pour le "Torque Enable" de l'Enducteur, idem pour Pick-up et Doctor Roll; 1 contacteur "Enducteur variateur OK", idem pour Pick-up et Doctor; 1 relai "Speed Enable" et 1 pour le "Torque Enable" de l'Enducteur, idem pour Pick-up et Doctor Roll.
7. Tempos réglables pour retarder le freinage de chaque servo, le temps que la commande soit prise en compte.
8. Convertisseurs de courant et ponts de Wheatstone pour les jauges d'effort de chaque servo.

On aperçoit sur le gauche l'arrière des 3 racks ABS, et les 2 drives PARVEX autonomes placés là en dépannage du rack ABS du Doctor Roll.

Nouvelle disposition de l'armoire des variateurs



1. Bornier reliant les entrées/sorties digitales et analogiques du variateur à la carte FM et aux cartes d'entrées/sorties de l'automate.
2. De gauche à droite: contacteur de précharge; contacteur de puissance (piloté en 110V AC); pré-contacteur de puissance (piloté en 24V DC); contacteur de l'arrêt d'urgence; contacteur du Reset.
3. Fusibles de précharge et fusibles général de puissance avec détection de coupure.
4. Filtre antiparasites.

NB: le fusible avec détection de coupure fonctionne de la manière suivante:

Si le fusible de l'une des phases est hors service, le circuit de détection est ouvert, ce qui ouvre le circuit de commande du variateur. Le circuit de puissance est alors ouvert à son tour de manière à éviter que les servomoteurs ne tournent que sur deux phases.

9.2 Le programme "Parvex Motion Explorer" (PME)

Parvex propose une interface conviviale permettant d'effectuer tout le paramétrage du variateur et de visualiser sa réaction en temps réel sur un oscillo virtuel grâce à une connexion série RS232.

Avant la mise en service j'ai beaucoup joué avec tous les paramètres pour finalement privilégier les paramètres P, I et la valeur du filtre du 2nd ordre permettant d'atténuer les oscillations.

Les valeurs par défaut dans le programme sont réglées pour un moteur à vide.
Les rouleaux de peinture translatant sur des rails inclinés de 15° par rapport à l'horizontale, la force à appliquer pour les faire avancer vaut seulement:

[Poids du (des) rouleau(x)] * $\sin 15^\circ$.

Nous avons finalement estimé que les valeurs par défaut, calculées pour un moteur à vide, pouvaient être conservées. Seul le gain de la boucle a été légèrement diminué.

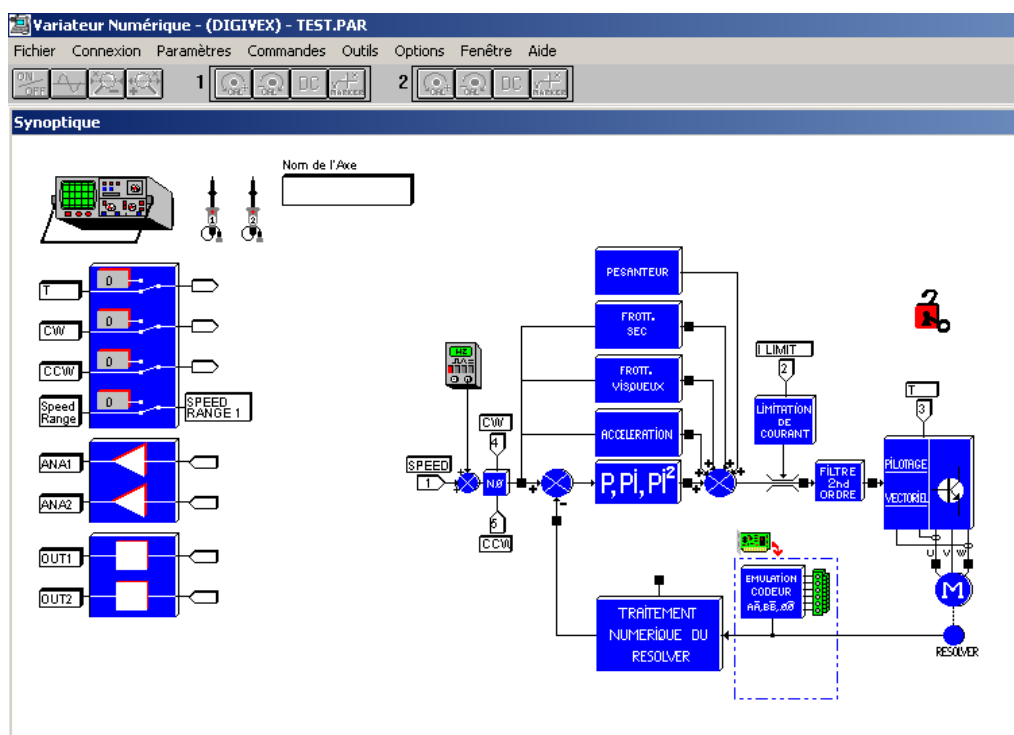
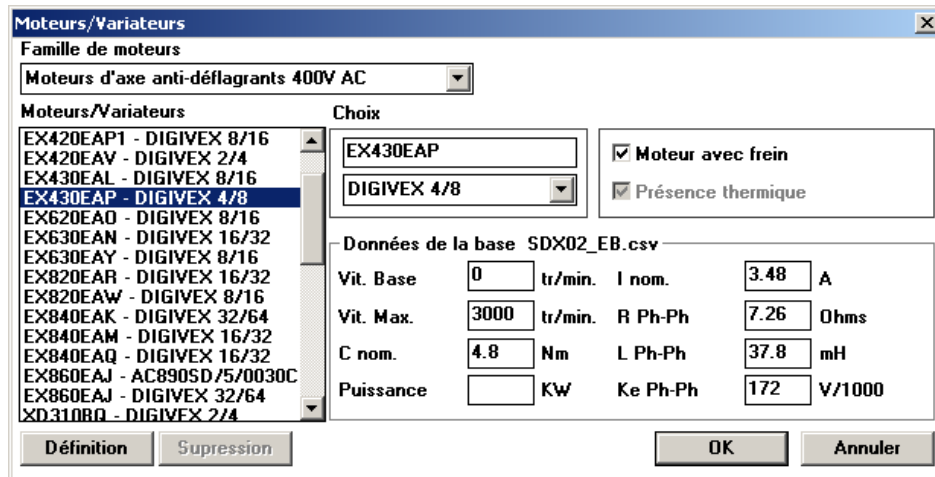


Fig. 12: Synoptique du programme PME

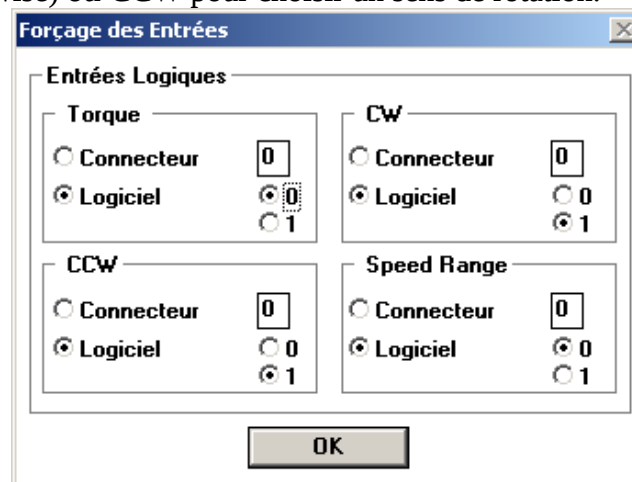
9.1.1 Prise en main :

- 1) Relier le PC au variateur par connecteur série RS232.
- 2) Cliquer sur l'onglet Connexion afin d'établir la connexion logicielle entre le PC et le variateur.
- 3) Cliquer sur le symbole "Moteur" dans le synoptique et choisir la bonne association moteur/variateur (ici moteur EX430EAP et variateur de calibre 4/8).

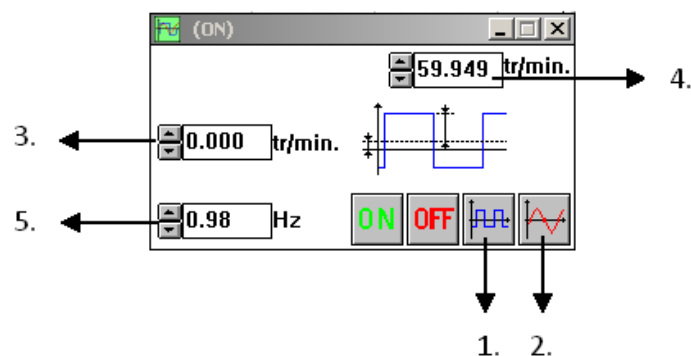


NB: 4/8 représente respectivement le courant permanent et le courant impulsional.

- 4) Le forçage logiciel du couple à 1 permet de débloquent le rotor.
Forcer CW (clockwise) **ou** CCW pour choisir un sens de rotation.



- 5) Le manuel propose une aide pour le réglage des paramètres via l'onglet → Options → Procédure de réglage.
- 6) En connexion logicielle, la commande du moteur est obtenue depuis cette fenêtre (cliquer sur le variateur dans le synoptique):



1. Choix du signal "carré" pour une analyse indicielle (à un échelon);
2. Choix du signal "sinus" pour une analyse harmonique (fonction de transfert, courbe de Bode);
3. Choix de la valeur moyenne en tr/min;
4. Choix de l'amplitude crête - valeur moyenne (et non pas crête à crête) en tr/min;
5. Choix de la fréquence en Hz.

ON: envoie les valeurs choisies avec le stimulus sélectionné;

OFF: désactive le stimulus.

9.1.2 Mise en service du variateur

Lors de la mise en service, nous nous sommes aperçu que les axes des servomoteurs tournaient lentement alors que nous leur imposons l'arrêt total par software. Il s'agissait d'une dérive de leur axe due vraisemblablement au parasitage du câble résolveur. Une fois le variateur pris en charge par la carte FM453, cette dérive disparaissait. Par mesure de sécurité nous avons contré cette dérive grâce au réglage de l'offset disponible sur le programme PME.

Les six servomoteurs sont pilotés via une consigne externe 0-10 Volts. Leur vitesse maximale vaut 3000 tr/min. Ces moteurs étant équipés d'un réducteur de vitesse mécanique par dix, la vitesse pour 1 Volt correspond donc 300 tr/min.

Le courant est limite de manière externe par la carte FM 453.

Il est conseillé de choisir une correction PI car l'effet proportionnel seul ne peut suffire à maintenir l'axe immobile si une force le contre. Plus on ajoute d'effet intégrale, plus l'axe devient rigide.

Toutefois, trop d'intégrale rendrait l'axe instable.

The screenshot shows a software window titled "Asservissement Vit/Couple - TEST.PAR". It contains several sections for parameter configuration:

- Main Parameters:**
 - Vitesse Maximale: 3000 tr/min
 - Vitesse pour 1V(Gamme 1): 300 tr/min
 - Vitesse pour 1V(Gamme 2): 300 tr/min
 - Gain: 15.764 mA/tr/min
 - Fréq. d'intégration: 6.667 Hz
 - Filtre du 2ième ordre: 240 Hz
 - Offset: 0 tr/min
 - Limitation de courant: 8 A
- Correcteur:**
 - ☐ P
 - ☒ PI
 - ☐ PI²
 - ☐ Courant
- Protection courant:**
 - ☒ Réduc. courant
 - ☐ Arrêt
- Reduction de courant externe validée:** ☒
- Prédiction:**
 - ☐ Pesanteur: 0 A
 - ☐ Statique: 0 A
 - Seuil: 3.03 tr/min
 - ☐ Dynamique: 0 A/1000tr/min
 - ☐ Accélération: 1.e-002 s

Buttons at the bottom right: OK, Annuler, Fermeture.

Fig. 13: Aperçu des paramètres de réglage.

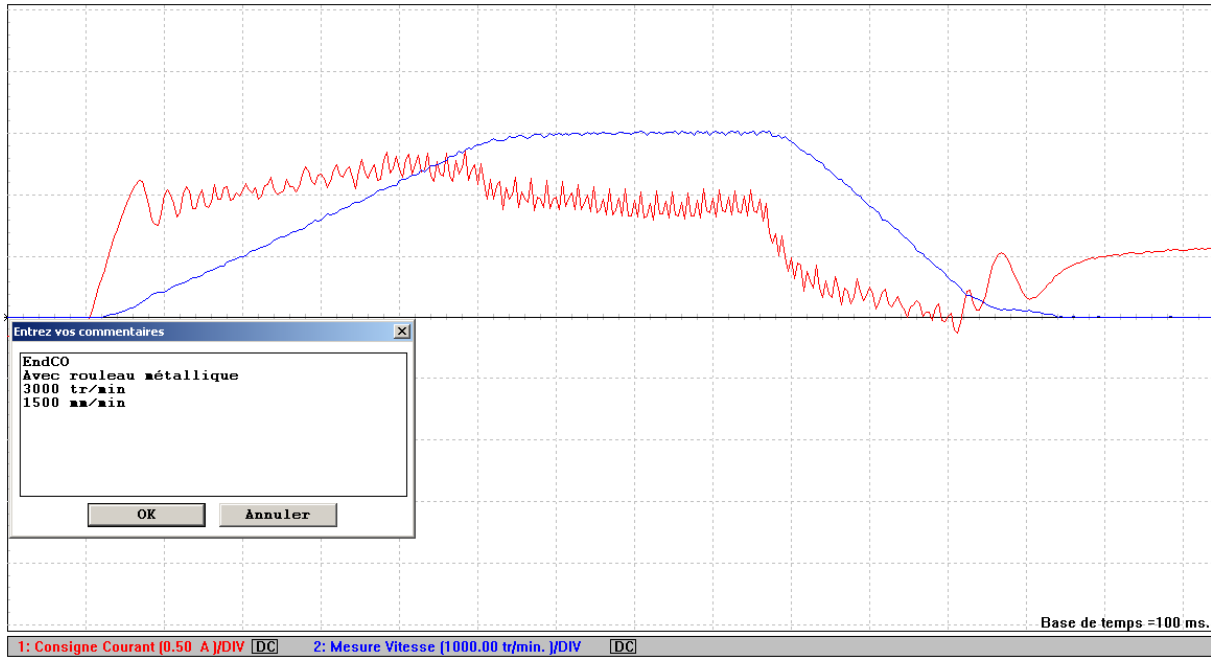


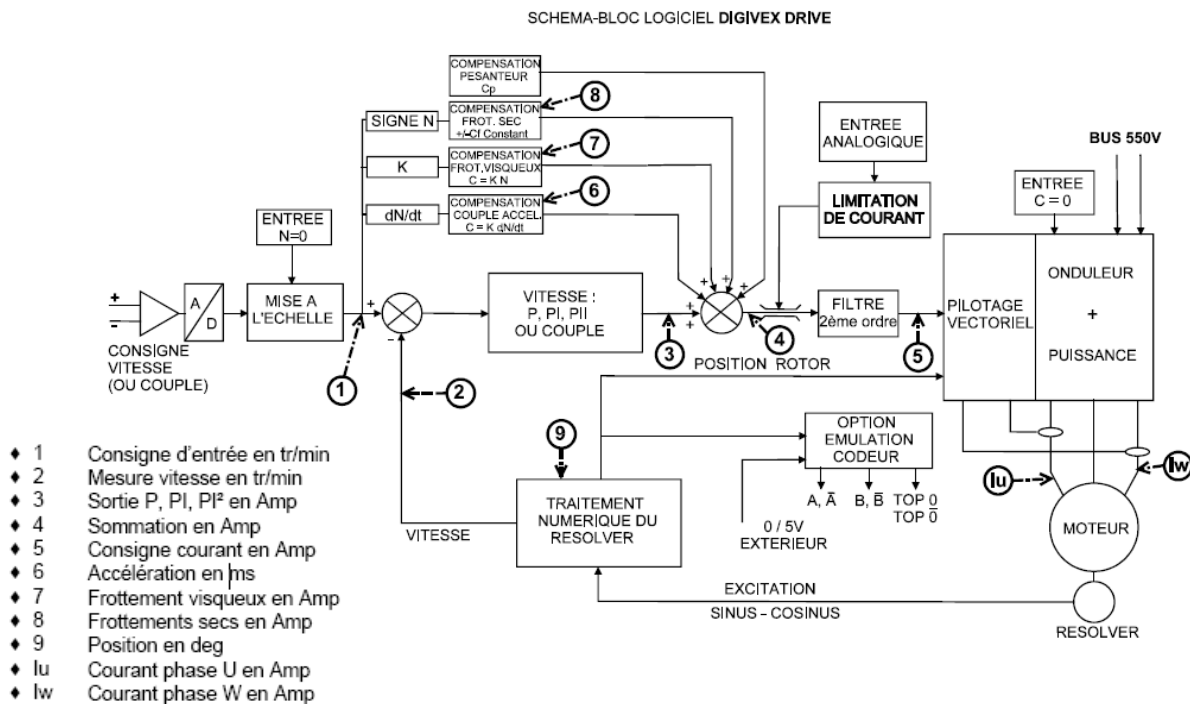
Fig. 14: Visualisation d'un essai à vitesse maximale suivant des rampes d'accélération et décélération respectives de 100 et 50%.

On y voit en rouge le courant de consigne et en bleu la mesure de vitesse.

Les oscillations de courant à régime constant s'expliquent en partie par le fait que les vis sans fin présentent des "points durs" qu'il faut vaincre. En effet à 3000 trs/min le moteur fait bien 5 tours en 100 ms, or on observe justement 5 pics de courant par période de 100 ms.

On remarque également qu'à l'arrêt la consommation du moteur n'est pas nulle: un courant de 0,5A, géré en interne par le variateur, permet de générer un couple suffisant pour maintenir l'axe à sa position de consigne.

9.1.3 Schéma bloc du logiciel Digivex Drive:



10. Carte de positionnement Siemens FM 453

10.1 Les fonctionnalités de la FM 453 :

La FM 453 est un module de positionnement piloté par microprocesseur pour la commande de servomoteurs ou de moteurs pas à pas.

Le module comporte trois canaux (axes) fonctionnant indépendamment l'un de l'autre.

Le mode de commande de chaque canal est fixé par le paramétrage.

La FM 453 est un module performant pour l'asservissement de position et le positionnement avec entraînement pas à pas.

Le module fonctionne de manière autonome ; il est piloté par le biais du programme utilisateur dans le système SIMATIC S7-400.

Ce module permet de commander des axes rotatifs et linéaires avec asservissement de position ou en commande avec poursuite.

La FM 453 est équipé d'une mémoire de données non volatile pour le stockage des données de paramétrage.

Elle ne nécessite aucun entretien (pas de pile).

L'intégration et l'adaptation aux données de l'utilisateur sont possibles par le biais d'un paramétrage conforme au système.

La FM 453 peut s'utiliser aussi bien pour de simples positionnements que pour des profils de déplacement complexes assortis d'exigences très élevées en matière de dynamique, de précision et de rapidité. Il convient également aux applications de positionnement dans des machines fonctionnant à des cadences élevées.

10.2 Modes de fonctionnement

- Mode "Manuel à vue"
- Mode "Commande"
- Mode "Prise de références"
- Mode "Semi-automatique relatif"
- Mode "MDI" (Manual Data Input)
- Mode "MDI on fly"
- Mode "Automatique"
- Mode "Automatique bloc par bloc"

En mode "**Manuel à vue**", les déplacements de l'axe sont définis par les touches de sens (S+ ou S-) et par la vitesse.

En mode "**Commande**", il est possible de spécifier des tensions de différentes valeurs ou des fréquences (pour moteur pas à pas), ce qui permet de réaliser un déplacement en boucle ouverte. Le sens de déplacement est défini par les touches de sens (S+ ou S-). La valeur réelle de l'axe est alignée sur la position réelle (poursuite).

En mode "**Prise de référence**", l'axe déplacé par les touches de sens (S+ ou S-) ou par l'ordre de démarrage (ST) est positionné sur un point défini dans les paramètres machine (coordonnée du point de référence PM16).

Ceci a pour effet de synchroniser l'axe.

La correction pour la vitesse réduite est limitée à 100 %.

Tout décalage d'origine ou forçage de valeur réelle sera annulé.

Le mode "**Semi-automatique relatif**" permet de réaliser des positionnements par déplacement relatif, c'est-à-dire en commandant le déplacement d'une certaine distance (=consigne) par rapport à la position momentanée.

Il faut pour ce faire, remplir une table de consignes de position qui seront exécutées successivement les unes après les autres.

Le "**bloc MDI**" est transmis à la FM 453 par le programme utilisateur et peut ensuite être démarré en vue de son exécution. Il permet de réaliser des positionnements individuels par le biais de blocs de déplacement avec déplacement relatif ou absolu.

L'exécution peut être déclenchée plusieurs fois puisque le bloc est mémorisé dans le module. La vitesse d'avance dépend aussi de la correction.

Le bloc MDI est conservé jusqu'à son écrasement par un nouveau bloc MDI. Un nouveau bloc peut être transmis pendant l'exécution d'un bloc.

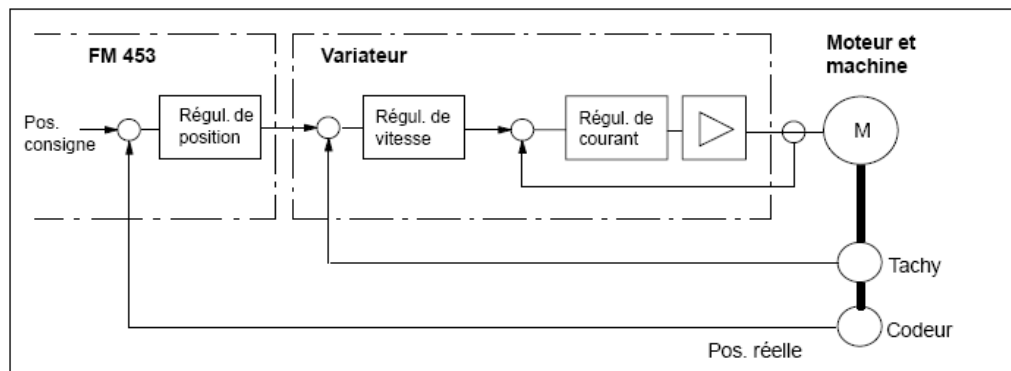
Le "**bloc MDI au vol**" délivré par le programme utilisateur a pour effet d'interrompre le bloc MDI en cours de traitement. Il a la même structure que le bloc MDI. Le "bloc MDI au vol" interrompt le "bloc MDI" actif en cours de traitement et est exécuté immédiatement sans ordre de démarrage.

Le "bloc MDI au vol" **n'est pas** mémorisé par la FM 453.

En mode "**Automatique**" (séquences de blocs), la FM 453 traite de manière autonome des programmes de déplacement. Ces programmes sont créés avec l'outil "Paramétrage de la FM 453" et stockés sous forme de blocs de données. Les programmes de déplacement renferment des informations de déplacement et de sortie.

Schéma de l'asservissement de position

Par le retour de la mesure de position fournie par le codeur, l'asservissement de position ferme la boucle extérieure d'une régulation en cascade ayant la structure suivante:



10.3 Paramétrage de la carte FM 453

10.3.1 Définition des axes:

Sélectionner la carte FM453 dans la configuration matériel. Cliquer sur 'Paramètres' puis Sélectionner le canal:

Carte FM453 canal 1 : Enducteur côté opérateur (DB 1205)
 canal 2 : Enducteur côté moteur (DB1505)
 canal 3 : Pick-up côté opérateur (DB1805)
 Carte FM453(1) canal 1 : Pick-up côté moteur (DB 1205)
 canal 2 : Dr Roll côté opérateur (DB1505)
 canal 3 : Dr Roll côté moteur (DB1805)

Notons que la carte FM 453 permet de synchroniser deux de ses trois axes, mais les servo réagissant tellement rapidement à leur signal de consigne, on peut dire qu'ils démarrent et s'arrêtent simultanément, nous n'avons pas jugé nécessaire de les coupler. De plus la synchronisation des servo du rouleau Pick-up serait impossible étant donné qu'ils se trouvent tous les deux sur des cartes FM différentes.

10.3.2 Interface de paramétrage de la carte d'axes Siemens FM 435

Siemens propose une interface graphique pour paramétrer la carte FM 453:

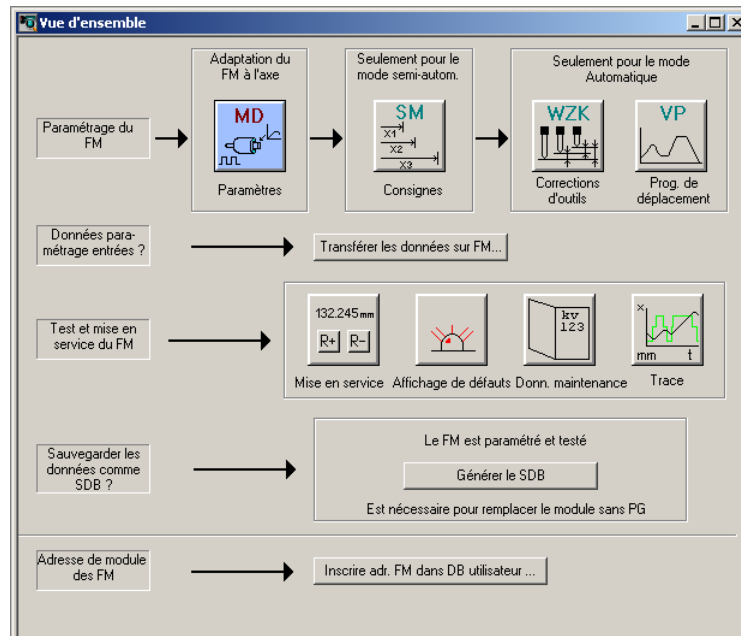
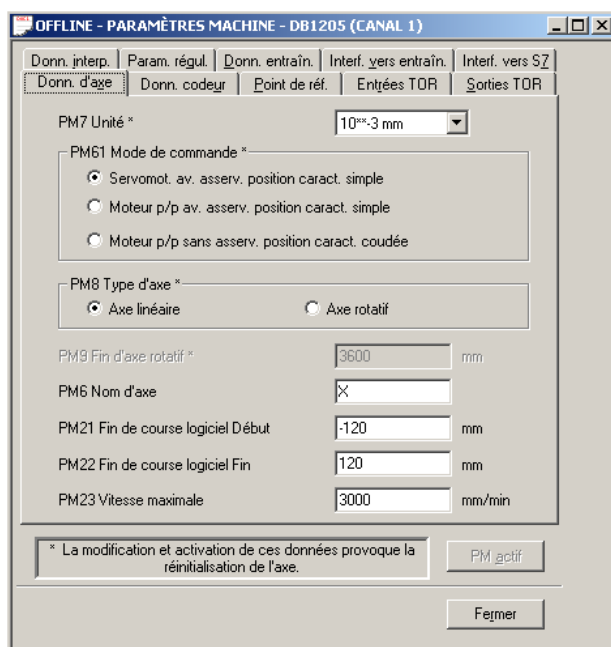


Fig. 15: Vue d'ensemble de l'interface de paramétrage de la carte FM453

Attention: Si l'on est en ligne avec l'automate, la CPU passe en STOP lorsque l'on ouvre l'interface de paramétrage ci-dessus!

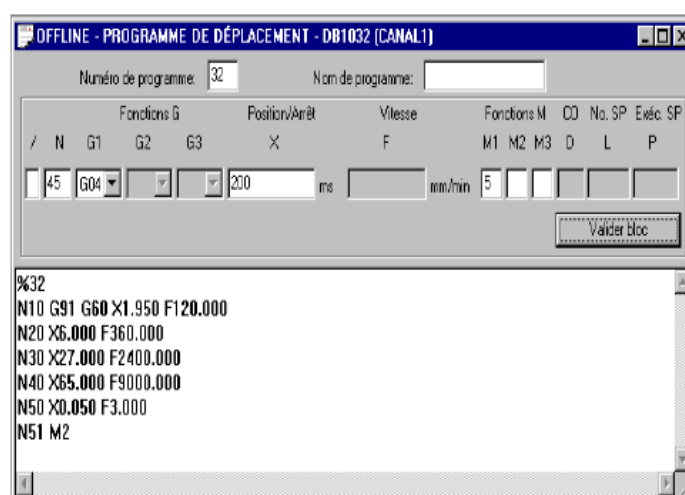
- 
Paramètres machine

Réglage des paramètres "P" tels que fin de course logiciel, vitesse maximale, rampe d'accélération, type de codeur, nombre de traits par tour codeur, définition de point de référence etc.



- 
Programme de déplacement (pour le mode automatique)

Pour l'entrée des programmes de déplacements automatiques, Siemens propose une fenêtre vide dans laquelle l'on peut entrer notre programme de déplacement comme suit :



Fonctions G		Position/Arrêt	Vitesse	Fonctions M		CO	No. SP	Exéc. SP				
/	N	G1	G2	G3	X	F	M1	M2	M3	D	L	P
	45	G04			200	ms						

%32
 N10 G91 G60 X1.950 F120.000
 N20 X6.000 F360.000
 N30 X27.000 F2400.000
 N40 X65.000 F9000.000
 N50 X0.050 F3.000
 N51 M2

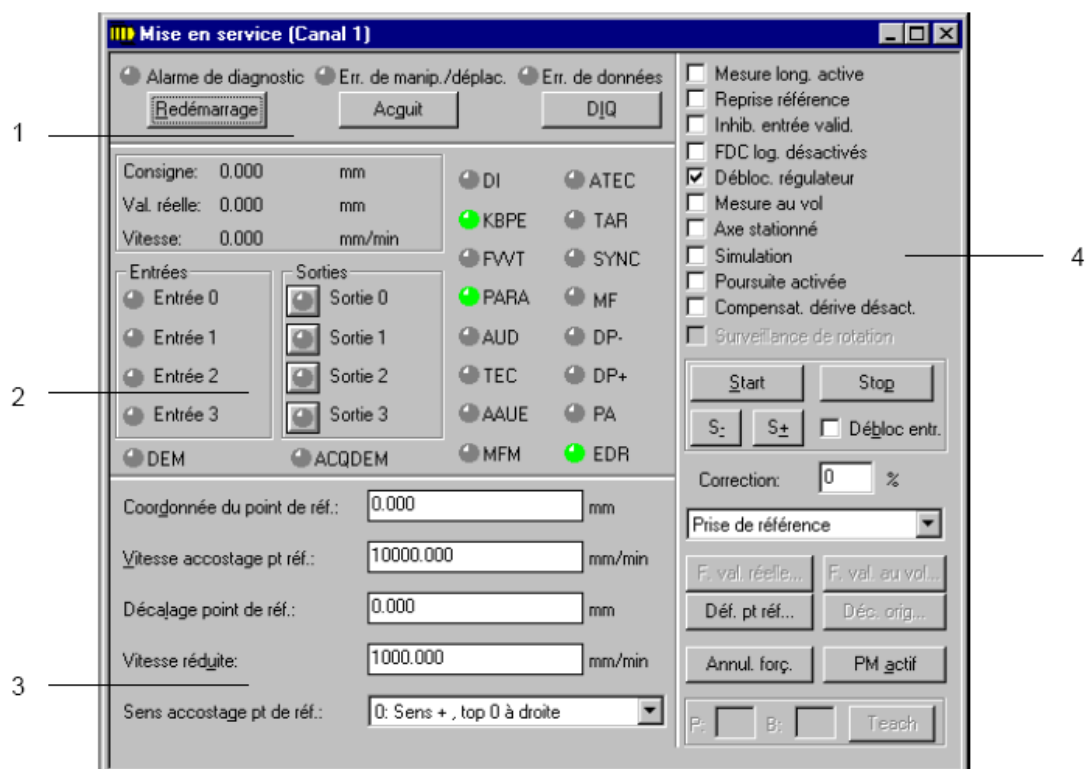
Fig. 16: Exemple de programme de déplacement pour le mode automatique

Chaque ligne correspond à un déplacement spécifique, avec sa vitesse, ses rampes, sa position de consigne etc.

L'utilisateur peut demander l'exécution du programme de haut en bas ou de bas en haut, ou même choisir uniquement certains blocs parmi le programme.

NB: On entend par "Programme" le numéro de programme et par "Bloc" le numéro de ligne dans le programme.

-  Mise en service



- 1 – Zone d'erreurs
- 2 – Zone d'état (p. ex. valeurs réelles, signaux en retour)
- 3 – Zone pour entrées spécifiques aux modes
- 4 – Zone pour entrée de valeurs/réglages/commandes et départ/arrêt du déplacement

Ici nous avons la possibilité de piloter le servomoteur en auto ou en manu, de la même manière que le programme S7 le ferait via la DB utilisateur.

Il faut nécessairement une DB par canal (ou "axe").

Avant toute chose il faut synchroniser l'axe. Cela se fait en cochant la case "prise de référence". Une fois la prise de référence effectuée, le bit SYNC passé à 1, c'est à dire que l'axe a déterminé sa position de référence ou position zéro.

Le bit de synchronisme sera perdu si l'on quitte l'interface de paramétrage ou si l'on a un défaut d'axe.

NB: - La correction de vitesse doit être supérieure à 0% sinon l'axe ne se déplacera pas.
- Il est indispensable de valider "PM actif" pour que le programme prenne les paramètres machine en compte.



- Affichage des défauts

C'est ici qu'arrivent les messages d'erreur. Les principales erreurs rencontrées furent les suivantes:

Erreur 0201: Mode de fonctionnement illicite.

Cause : le mode sélectionné n'est pas bon ou n'est pas pris en compte.

Remède: Sélectionner un mode admis et vérifier qu'il est bien lu par le programme.

Erreur 0205: Autorisation de démarrage manque.

Cause: Un ordre de déplacement (marche, marche externe, DIR_P ou DIR_M) a été transmis alors que l'autorisation de démarrage n'a pas été donnée.

Remède: annuler l'ordre de déplacement et attendre l'autorisation de démarrage.

Cette chronologie est importante.

Erreur 0209: Axe non synchronisé.

Cause: Les modes "semi-automatique relatif", "MDI" et "automatique" exigent que l'axe soit synchronisé.

Remède: Effectuer une prise de référence.

Erreur 020C: Mouvement d'axe impossible.

Cause: Un ordre de déplacement a été donné en situation de défaut non acquitté, d'entraînement non débloquenté ou d'arrêt.

Remède: Annulation de l'ordre de déplacement et acquittement du défaut ou désactivation de l'ordre d'arrêt ou débloquenté de l'entraînement.

Erreur 033D: Débloquenté régulateur manque.

Cause: Ordre de déplacement de l'axe sans débloquenté régulateur OU Suppression du débloquenté régulateur pendant "traitement en cours".

Remède: Débloquenté le régulateur par l'intermédiaire du programme utilisateur.

Erreur 0341: Aucun mouvement d'axe.

Cause: Arrêt de l'axe en présence du signal de commande maximal du variateur OU limitation de courant trop faible.

Remède: Contrôler le signal de débloquenté du régulateur entre le FM 453 et le variateur OU augmenter la limitation de courant.

Erreur 0407: Bloc MDI, syntaxe incorrecte

Cause: Bloc MDI, syntaxe incorrecte

Remède: Entrer un bloc MDI correct. Il est très important de respecter la chronologie de constitution du bloc MDI. Pour ce faire nous avons du passer par des compteurs pour bien séparer chaque étape.

10.3.3 Autres paramètres:

Les fonction "M"

Permettent la gestion des arrêts en fin de bloc, des fins de programmes, des signaux de modification programmable, des sorties TOR.

Les fonction "G"

Permettent la gestion des arrêts temporisés, des déplacements sans fin, de sélectionner la cotation absolue ou relative, les valeurs de rampes d'accélération/décélération, les valeurs de correction d'outils.

Nous avons décidé de travailler en cotation absolue et uniquement avec des valeurs positives, la position zéro de chaque axe étant fixée à la butée mécanique arrières de celui-ci.

10.3.4 Signaux utilisés

- Signaux de commande:

START: Démarrage du déplacement dans le mode "MDI".

STOP: Interruption du déplacement ou de l'exécution du programme.

DIR_M et DIR_P: Spécification du sens de déplacement pour axes rotatifs.

DRV_EN: Déblocage du déplacement.

SERVO_EN: Déblocage du régulateur.

READ_EN: Validation de lecture des paramètres.

MODE_IN: Choix du mode (01 = Mode manuel, 03 = Prise de référence, 06 = mode MDI)

OVERRIDE: Correction de la vitesse.

OT_ERR_A: Acquiescement des erreurs de manipulation ou de déplacement.

MODE_TYPE: Niveau de vitesse (1 ou 2) pour les modes Manuel et Prise de référence.

DELDIST: Effacement de la distance restant à parcourir.

- Signaux de retour:

OT_ERR: Erreur de manipulation ou de déplacement illicite tel que S+ et S- en même temps OU envoi de plusieurs consigne différentes au bloc MDI en cours de déplacement. Cette signalisation d'erreur provoque un abandon du contrat de déplacement.

Remède: OT_ERR_A

DATA_ERR: Erreur de donnée résultant vraisemblablement d'un temps trop court entre les étapes du bloc MDI. Remède: faire un reset des axes (RESET_AX) pour réinitialiser l'axe lors du transfert des données d'initialisation de la carte FM vers le BD utilisateur correspondant (voir OB100).

PARA: Le module est paramétré. Tous les paramètres machine valables pour la conduite d'un axe sont présents sur le module.

ST_ENBLD ou AUD: Autorisation de démarrage. Signalisation par le FM 453 qu'il est prêt pour le positionnement et la sortie de fonctions. Sans autorisation de démarrage, aucune des fonctions susceptibles d'être activées avec "Déplacement sens +", "Déplacement sens -" et "Start" ne sera exécutée.

WORKING: Signalisation qu'une fonction a été démarrée avec "START" ou "Déplacement sens + ou -" et est active.

MODE_OUT: Mode actif. Le mode choisi ne fait l'objet d'une signalisation en retour que lorsqu'il est actif de manière interne. En cas de changement de mode, il faut par exemple arrêter un déplacement avant qu'un autre mode ne puisse être actif.

SYNC: Le module est synchronisé, condition indispensable pour les déplacements en mode MDI. La synchronisation s'effectue lors de l'étape de zéroage et se perd lorsque l'on a un défaut d'axe ou que l'automate passe en stop.

GO_P et GO_M: Retour du sens de déplacement.

POS_RCD: Position atteinte.

RESET AX: redémarrage du module (ex. après une alarme de diagnostic).

X_T_EN: Position OU Arrêt temporisé.

X_T_VAL: Valeur de la position OU de l'arrêt temporisé.

11. Programmation

11.1 Bloc "MDI" vs. Bloc "Automatique"

Le bloc **MDI** n'a besoin que d'une consigne de position pour gérer le déplacement de manière optimale. Pas besoin de faire en permanence des mesures de position et des choix de vitesse. C'est la grande différence avec l'ancien programme.

On peut incrémenter ou décrémenter la consigne de position à souhait, le bloc MDI effectuera toujours le positionnement de manière optimale.

Le bloc MDI ne permet d'effectuer qu'un seul déplacement à la fois.

Notons qu'il existe aussi un bloc "MDI on fly" permettant de lancer une routine de positionnement à n'importe quel moment mais celui-ci n'a pas retenu notre attention: l'emploi du seul bloc MDI rendant le programme plus simple et plus clair.

Le bloc **automatique** permet quant à lui de gérer une succession de déplacements avec arrêts temporisés ou non. Il exécute les lignes de code que l'on a programmées via l'interface de paramétrage de la carte FM.

Il est possible d'exécuter tout un bloc ou seulement une partie d'un bloc en choisissant le numéro de bloc et le numéro de ligne de commande pour obtenir le déplacement désiré.

Si l'on veut modifier une valeur telle que la position ou la rampe d'accélération/décélération d'un programme, il faudra le faire via l'interface de paramétrage de la carte FM, alors qu'avec le bloc MDI il suffit de changer les valeurs qui attaquent directement le bloc.

Le bloc automatique est idéal pour faire des séquences automatisées comportant toujours les mêmes valeurs et dans lequel l'utilisateur ne vient pas modifier les consignes.

Moins souple que le bloc MDI pour la présente application, nous l'avons écarté.

11.2 Le bloc MDI

(Voir programme en annexe)

Ce bloc est utilisé pour la régulation d'écart et les modes zéroage, parking, entretien et nettoyage. Il s'est avéré indispensable d'utiliser un compteur pour bien respecter la chronologie du déroulement du bloc MDI dans cet ordre:

1. Arrêt du bloc MDI s'il était déjà en cours
2. Attente du retour de l'AUD
3. Validation du bloc MDI
4. Effacement de la distance restante
5. Démarrage du bloc MDI

Il fallait également penser à utiliser un bit de démarrage (#Marche) différent pour chaque rouleau. Pour que le bloc MDI puisse s'exécuter il lui faut le retour des bit PARA (carte paramétrée) et SYNC (axe synchronisé).

Nous avons fait en sorte que le bloc MDI soit appelé à chaque cycle automate mais exécuté uniquement lorsque l'on en a besoin, ce de manière à augmenter la vitesse de réaction du bloc.

Ce bloc a été programmé de manière à être le plus souple possible. Les coefficients de rampes d'accélération/décélération, la vitesse maximale, les conditions de marche et d'arrêt, les autorisations requises pour le déplacement et enfin le coefficient d'atténuation de vitesse attaquent directement le bloc. Il est donc très facile d'adapter tous ces paramètres sans devoir faire de recherches laborieuses à travers tout le programme.

11.3 Le bloc de régulation en effort

(Voir programme en annexe)

Ce bloc, inspiré de l'ancien bloc de régulation de position, gère les seuils de vitesse en fonction de la proximité des limites physiques de déplacement.

Il reçoit l'ordre de marche avant ou arrière selon que la mesure de l'effort est en dessous ou au-dessus de la plage de tolérance.

Ce bloc est également très souple. Nous pouvons ici fixer la plage de tolérances des efforts, résultant d'un compromis entre rapidité et précision du positionnement.

11.4 Le bloc manu (ou non-régulé)

(Voir programme en annexe)

Le bloc manuel a été programmé de manière à ce que l'opérateur puisse choisir la vitesse lente ou rapide, dont il fixe lui-même les pourcentages (override) par rapport à la vitesse maximale.

11.5 Le bloc automatique

(Voir programme en annexe)

Le bloc automatique se résume à la gestion d'appel des programmes paramétrés dans l'interface de la carte FM.

Remarques:

Tous ces blocs sont protégés des erreurs de parallélisme: si un rouleau "part en crabe", le mouvement est immédiatement interrompu pour éviter d'endommager les axes et l'on doit les redresser en mode manuel.

Je n'ai pas jugé nécessaire de joindre en annexe le code source des blocs décrits ci-dessus, dont la conception a été assez laborieuse, mais bien les blocs tels qu'ils sont utilisés par le programme.

11.6 Description des fonctions STEP 7 dans lesquelles interviennent les nouveaux blocs de positionnement.

Le programme de gestion du positionnement des servomoteurs est divisé en plusieurs fonctions.

- La fonction de peinture

C'est ici que sont programmés tous les modes et configurations de la machine de peinture et les conditions d'enclenchement du variateur.

- La fonction "Paramétrage peinture"

Conversion, mesure et limitation de courant et efforts de jauges. Paramétrage des vitesses et données d'application.

- La fonction d'entraînement

Choix du mode de régulation (écart, effort ou non-régulé).

Définition de l'erreur de parallélisme. Si l'on détecte une différence de position de plus de 3mm entre les deux servo d'un rouleau, arrêt de ceux-ci et affichage de l'erreur de parallélisme.

Appel des blocs de zérotagage et "marche ligne" décrits ci-dessous.

Calculs des écarts, efforts et gestion des changements de modes.

- La fonction de zérotagage

Le zérotagage s'effectue en plusieurs étapes:

Appel du bloc Manuel pour reculer les armatures de support du rouleau jusqu'en butée arrière.

Détection d'un effort en butée et arrêt du déplacement.

Forçage du mode 3: "Prise de référence". La carte FM fixe le point zéro de chacun de ses axes.

Paramétrage du bloc Régulation d'effort.

Déplacement des armatures vers l'avant et arrêt du mouvement lorsque le rouleau écrase le rouleau suivant avec une force de 1000 Newton. Enregistrement de la position.

Idem avec une force de 2000 puis 3000 Newton.

Compte tenu de ces positions, calcul théorique de la position à écart nul entre les rouleaux.

Calcul du diamètre des rouleaux.

La machine est maintenant calibrée.

La panne d'une des six jauges d'effort nous a amené à créer un mode "zérotagage manuel" (à vue), certes moins précis mais indispensable pour pouvoir zéroter puis calibrer la machine, conditions sine qua non pour pouvoir utiliser les modes de déplacement automatiques.

- La fonction "Marche ligne"

Définition des limites de courant à imposer lors de l'approche d'un détecteur de proximité (DP).

Appel du bloc "Manuel" pour le mode non-régulé.

Définition des incréments/décréments venant de la supervision pour l'avance et le recul des servo.

Paramétrage du bloc "Régulation d'effort".

Mode engagement/dégagement: si l'on passe en mode dégagement, on sauve la valeur de position des servo de l'inducteur pour revenir à cette position lorsque l'on réengagera de la tête. Ceci permet aux opérateurs d'arrêter momentanément l'induction de la bande d'acier sans perdre pour autant leurs réglages pour l'induction.

Paramétrage du bloc MDI pour la régulation d'écart.

Appel du bloc de régulation d'effort pour la régulation en effort.

Sauvegarde des positions lorsque l'opérateur décide de dégager les têtes de peinture.

Prise en compte des incréments/décréments venant de la supervision qui s'additionneront à la consigne de position.

Paramétrage des modes Parking et Entretien.

Appel du bloc MDI pour les modes Parking, Entretien, Engagement, Dégagement et régulation d'écart.

11.7 Autres modifications du programme step 7 existant

La DB de supervision.

Comme nous l'avons vu plus haut, l'un des changements apportés à la machine de peinture est le remplacement du panneau opérateur EXICOM par un écran déporté PEPPERL-FUCHS que l'on peut considérer comme un relai de la supervision InTouch.

Dans l'ancien programme, la DB 500 servait de DB tampon entre la DB251 (échanges avec l'Exicom) et la DB 1000 (échange avec InTouch). Les données envoyées et reçues par l'EXICOM (DB251) ont donc dû être redirigées vers la DB1000 via la FC 32. Certaines devaient être supprimées, d'autres créées. Un vrai jeu de piste rendu possible grâce à l'outil "Références croisées" du Simatic Manager.

Les blocs MDI, manuel et régulation en effort.

Développés chez Elecmatic et testés sur un banc d'essai, ces blocs fonctionnaient parfaitement pour un seul axe.

Une fois intégrés dans le programme complet, il a fallu faire de nombreuses adaptations de variables et de paramétrage tenant compte du fait qu'il n'y avait plus un mais six servomoteurs à gérer, que les changements de mode sont plus fréquents et tenant compte aussi des nombreuses sécurités à respecter.

Modifications principales:

Nom de l'objet	Nom symbolique	Modifications apportées
FC6	LERO_AO	Adaptation des limitations de courant des servo
FC 21	REGUL EFFORT	Création de la fonction
FC22	MANUEL A VUE	Création de la fonction
FC23	BLOC MDI	Création de la fonction
FC24	PRISE DE REFERENCE	Création de la fonction
FC30	PEINTURE	Adaptation
FC31	PARAMETRAGE PEINTURE	Adaptation des mesures de courant des servo
FC32	PEINTURE INFO SUP	Transferts automate $\leftrightarrow$ supervision
FC33	Interface COM EXICOM	Supprimée
FC 36	ENDUCTEUR ENTRAINEMENT	Adaptation
FC38	PICK-UP ENTRAINEMENT	Adaptation
FC40	DR ROLL ENTRAINEMENT	Adaptation
FC161	ENDUCTEUR ZEROTAGE	Modif du programme de déplacement: introduction des blocs manuels à vue, prise de réf et régulation en effort.
FC162	PICK-UP ZEROTAGE	Idem
FC163	DR ROLL ZEROTAGE	Idem
FC164	MARCHE LIGNE ENDUCTEUR	Modif du programme de déplacement: introduction des blocs manuel à vue et MDI pour les modes régulation écart, engagement, dégagement, parking et entretien.
FC165	MARCHE LIGNE PICK-UP	Idem
FC166	MARCHE LIGNE DR ROLL	Idem
DB2	CONV DONNEES D'AXES	Création. Cette DB sert à stocker les conversions de consignes et mesures de position et de vitesse pour les nouveaux blocs. Elle sert également a stocker certains bits utilisés pour le bloc MDI.
DB251	ECHANGES AVEC EXICOM	Supprimée
DB500	DONNEES PEINTURE	Ce DB servait de tampon entre la DB251 "Echanges avec Exicom" et la DB1000 "DB de supervision". Abondamment utilisée dans le programme nous l'avons conservée bien que son utilité soit maintenant discutable.
DB1000	DB DE SUPERVISION	Adaptation. Création de toutes les variables anciennement échangées via l'Exicom.

Nouvelle affectation des entrées/sorties:

E18.0	Retour puissance variateur
E18.1	Retour précharge variateur
E18.2	Retour fusible
E18.3	Retour disjoncteur 110V
E18.4	Retour variateur READY
E18.5	Retour variateur OK
A9.3	Contact puissance variateur
A9.4	Contact précharge variateur
A9.5	A.U. variateur
A9.6	Reset variateur
PEW 144	Mesure courant Enducteur côté op
PEW 146	Mesure courant Enducteur côté moteur
PEW 148	Mesure courant Pick-up côté op
PEW 150	Mesure courant Pick-up côté moteur
PEW 152	Mesure courant Dr roll côté op
PEW 154	Mesure courant Dr roll côté moteur
PAW 208	Limitation de courant Enducteur côté op
PAW 210	Limitation de courant Enducteur côté moteur
PAW 212	Limitation de courant Pick-up côté op
PAW 214	Limitation de courant Pick-up côté moteur
PAW 216	Limitation de courant Dr roll côté op
PAW 218	Limitation de courant Dr roll côté moteur

12. La supervision

L'écran opérateur de marque EXICOM, obsolète, s'est vu remplacé par un écran déporté tactile PEPPERL-FUCHS VisuNet, relai du pupitre de supervision général placé le long de la ligne LERO, en zone saine.

Les écrans déportés VisuNet RM permettent la visualisation de processus sur une base de la technologie PC en utilisant le bien connu et largement utilisé réseau Ethernet, combiné au protocole TCP / IP. Cette combinaison est très employée pour Internet et pour les réseaux internes des sociétés (Intranet) et offre des possibilités nouvelles et flexibles pour la connexion d'écrans situés en zone "Ex" à un PC situé en zone saine.

La transmission des données actuelles (contenus d'écrans, saisies des données, ...) du PC vers le VisuNet RM est effectuée au moyen de paquets de données TCP / IP par le biais du réseau.

Le fonctionnement lui-même est assuré par le RDP (« Remote Desktop Protocole ») qui est intégré au système d'exploitation.

Nous utilisons le logiciel InTouch de Wonderware pour la supervision.



Fig. 17: L'ancien écran de supervision EXICOM.



Fig. 18: Le nouvel écran de supervision PEPPERL & FUCHS.

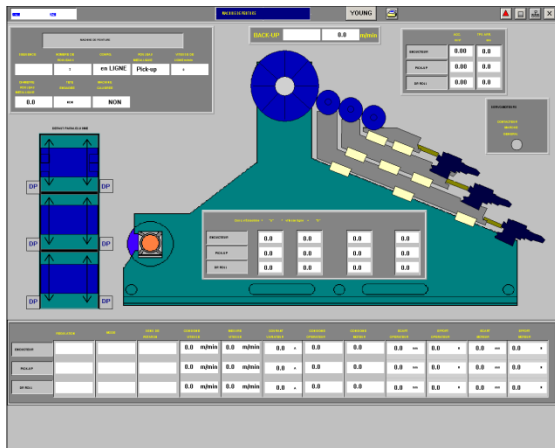


Fig. 19: L'ancienne vue principale de supervision de la machine de peinture

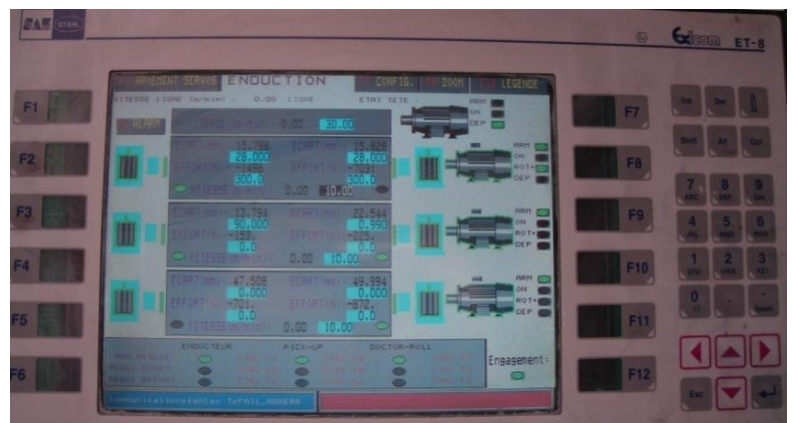


Fig. 20: L'ancienne vue principale de l'écran Exicom

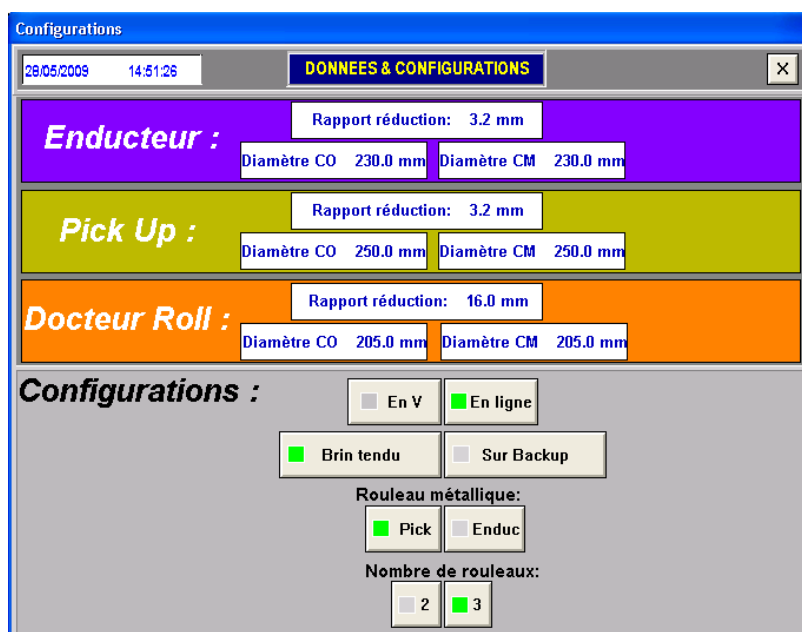


Fig. 21: Nouvelle vue "Données & configurations"

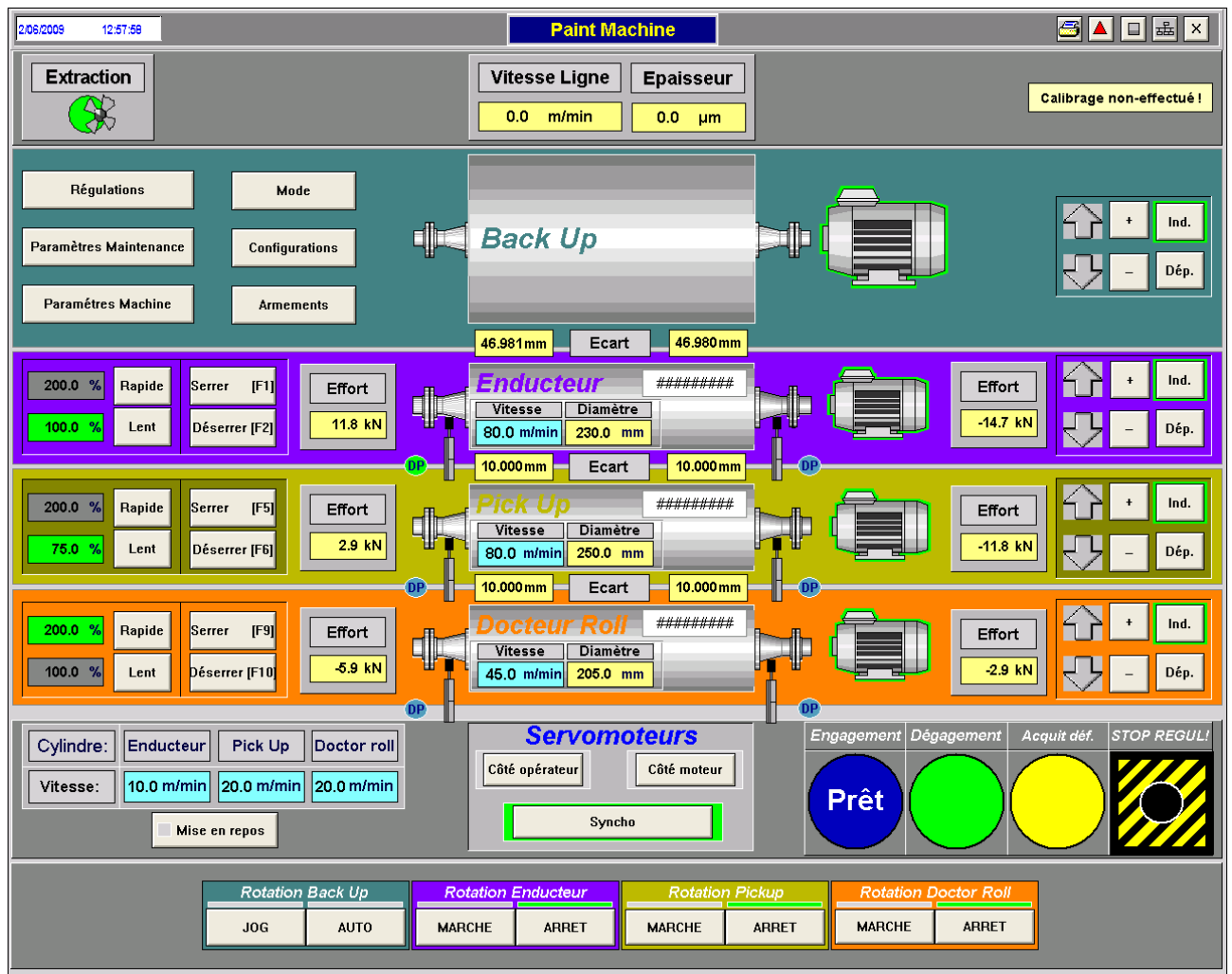


Fig. 22: La nouvelle vue principale de supervision de la machine de peinture, conforme aux requêtes des opérateurs.

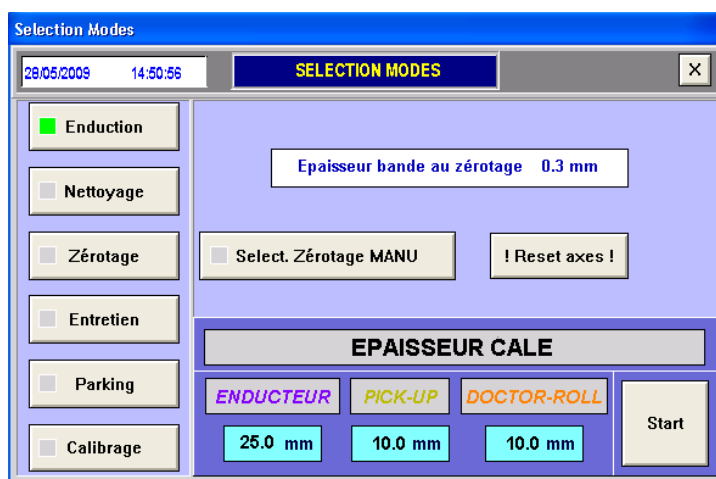


Fig. 23: Nouvelle vue "Sélection des modes" permettant de choisir les modes prédéfinis, de zéroter et de calibrer la machine.

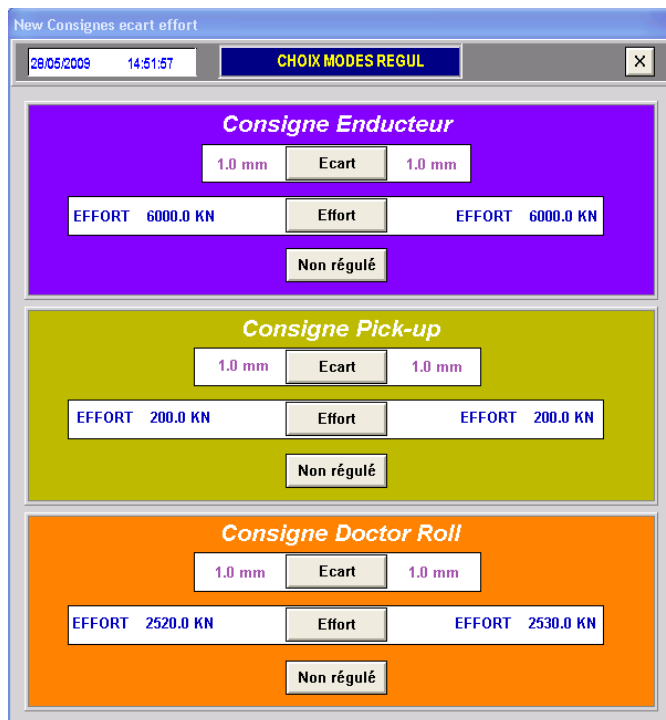


Fig. 24: Nouvelle vue "Modes de régulation" permettant de régler les valeurs des modes régulés en écart ou en effort, ou de passer en full manuel.

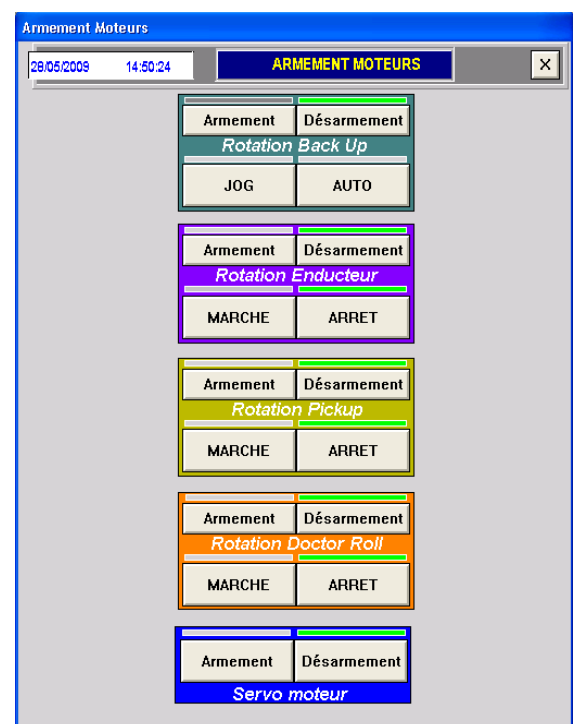


Fig. 25: Nouvelle vue "Armement" pour l'armement et le pilotage des moteurs entraînant la rotation des rouleaux, et l'armement des servomoteurs.

13. Le banc d'essai.

J'ai eu l'occasion de monter chez Elecmatic un petit banc d'essai comportant tous les éléments nécessaires pour élaborer et tester mes fonctions de déplacement.

Je disposais pour cela d'un CPU 314 IFM, d'un module d'entrées/sorties analogiques, d'une carte FM354, du variateur PARVEX et de l'un des six servomoteurs.

La logique du circuit de commande du variateur était programmée par un LOGO de Siemens.

Le LOGO est une petite unité programmable, sorte de tout petit automate, fonctionnant sous 24Vdc et comptant d'origine 8 entrées et 4 sorties. Des modules supplémentaires d'entrées/sorties peuvent être ajoutés pour obtenir jusqu'à 24 entrées.

Il est programmable grâce au logiciel Logo Soft Comfort.



Logique de commande du contacteur de puissance du variateur Parvex:

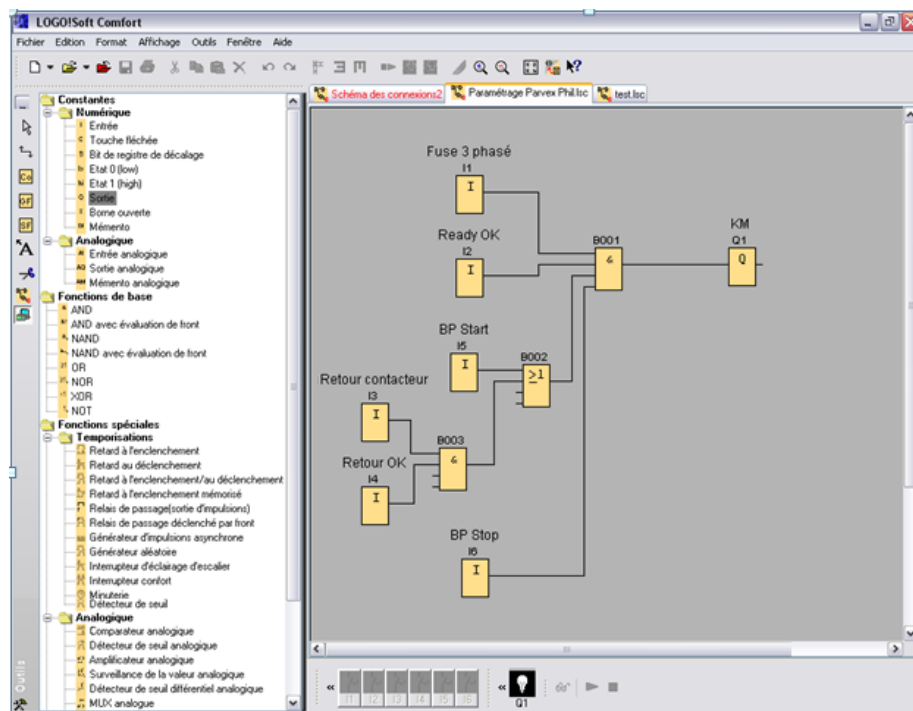


Fig. 26: Interface de programmation Logo Soft Comfort

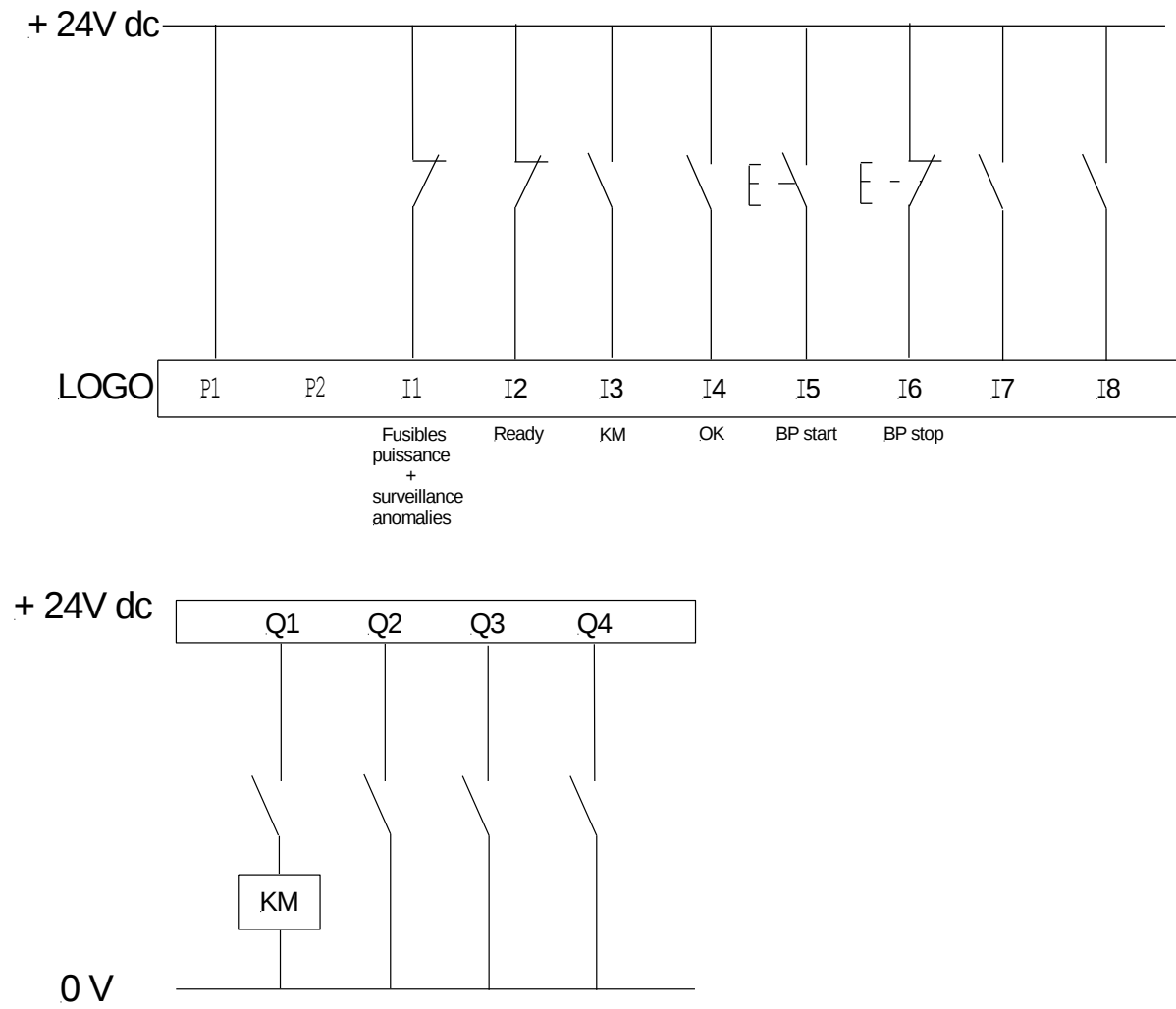


Fig. 27: Schémas de raccordement du Logo

Conclusion

Je me souviens de la réflexion d'un ancien élève de Saint Laurent, venu présenter son parcours professionnel au début de l'année scolaire, qui affirmait que le stage de fin d'études devait être l'occasion de s'épanouir. C'est exactement le sentiment que j'en retire également aujourd'hui.

Ce stage fut l'occasion de sauter à pieds joints dans le métier d'automaticien et de me forger une première expérience très positive.

La LERO, par sa complexité et sa diversité, m'a permis d'en apprendre énormément sur le fonctionnement des machines industrielles et des réseaux. J'ai découvert par la même occasion l'organisation d'une petite société et celle d'une usine d'envergure internationale.

Participer à une mise en service fut une chance unique et m'a permis de suivre le projet du début jusqu'à son achèvement, de connaître les exigences d'une entreprise et le stress de l'échéance.

Ce stage aura donc été vraiment enrichissant.

Les objectifs fixés ont été atteints. Le positionnement de la machine de peinture est aujourd'hui géré de manière très rapide avec une précision au micron. Elle peut être exploitée en full automatique: les régulations en écart, en effort ainsi que les positionnements préprogrammés sont tout à fait fonctionnels et permettent un grand confort d'utilisation pour les opérateurs.

Bibliographie

"Mesures 765", par Dominique Jouve et Duy Bui, société Infranor, format PDF.

Documentation technique SIEMENS

Documentation technique PARVEX Digivex
(PARVEX Support technique: Tél: +33/380.42.41.40)

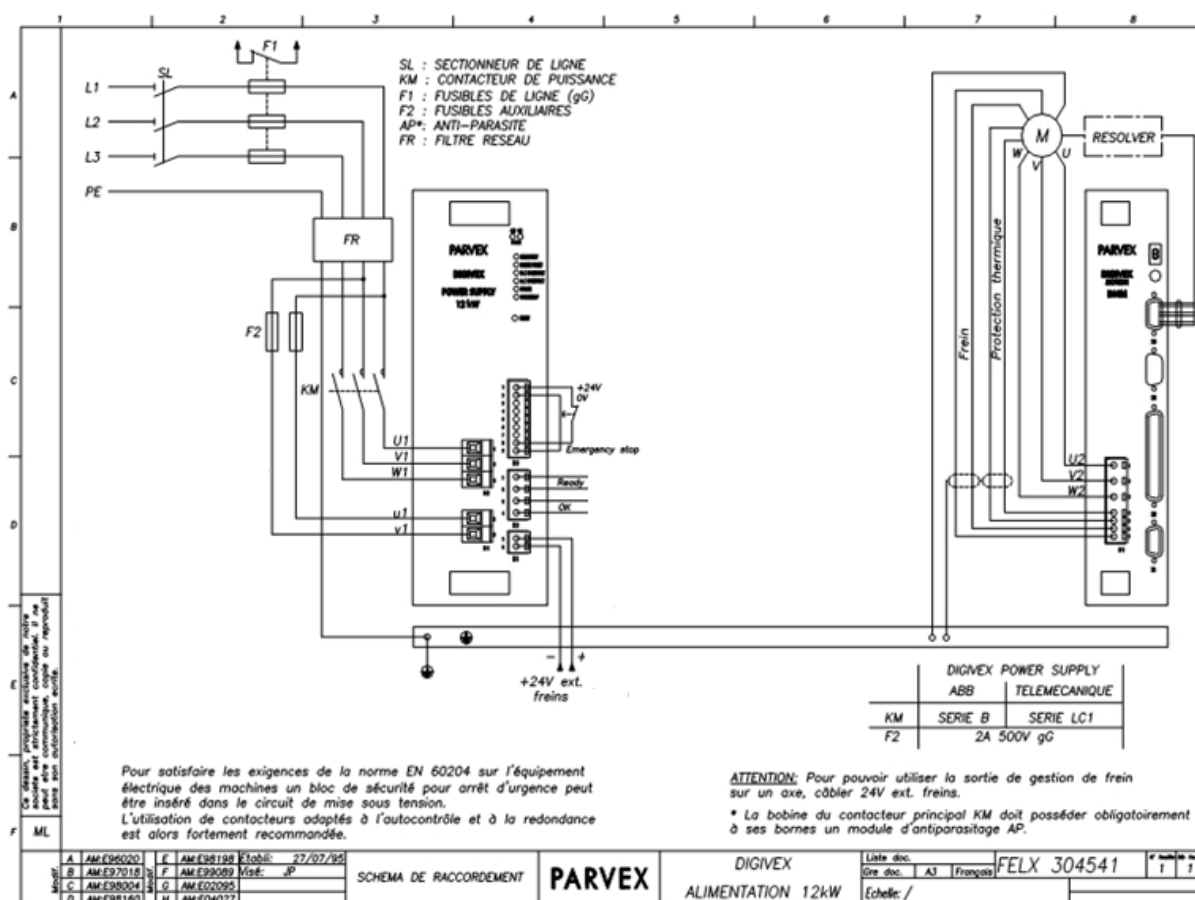
http://www.arcelormittal.com/rls/data/upl/638-7-0-ArcelorMittal_AnnualReport_2008.pdf
Consulté le 15/03/09

<http://www.liegeonline.be/en/medias/pdf/metauxavenirFR.pdf> Consulté le 25/03/09

http://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_sans_balais Consulté le 25/03/09

Annexes

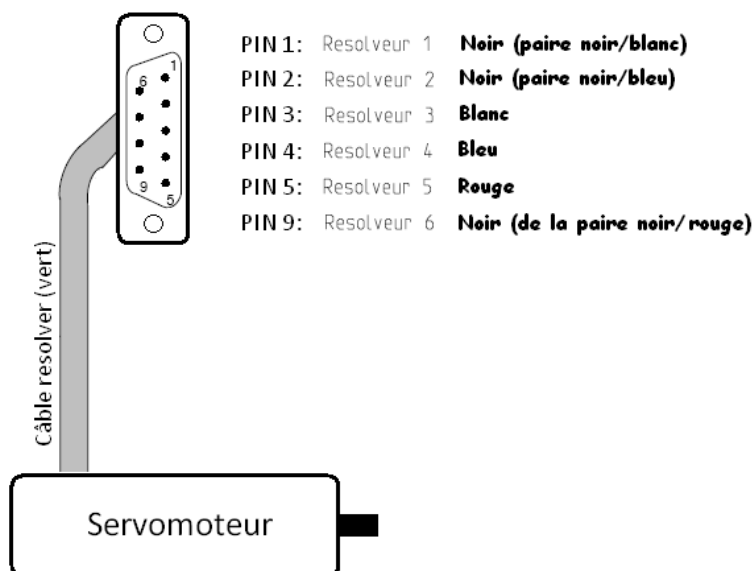
A1. Schéma de commande et de puissance du variateur Parvex Digivex



A2. Connexions

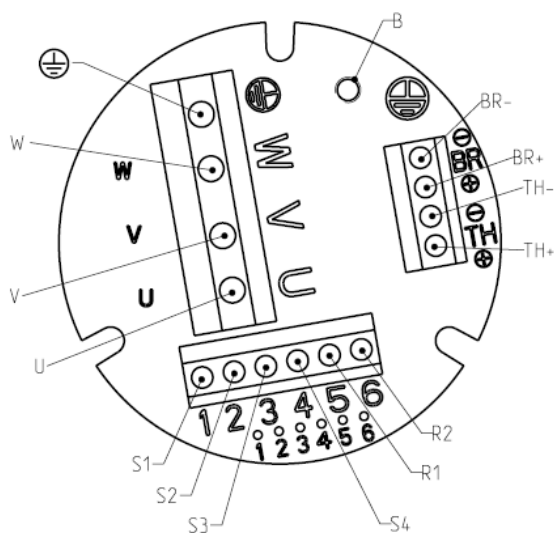
A2.1 Connexion du resolver au bornier du servomoteur

Côté variateur:

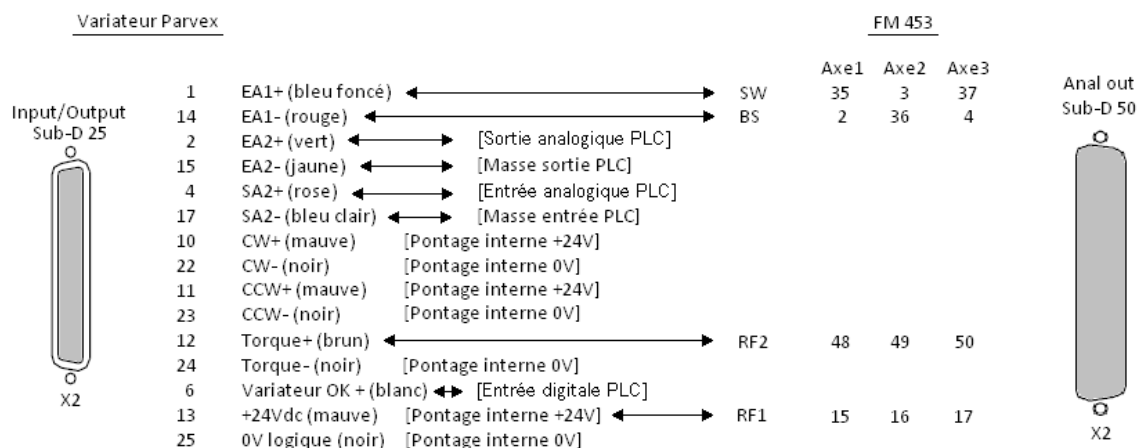


Côté moteur:

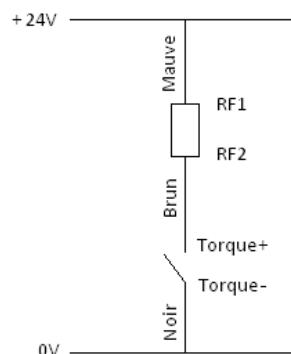
U : Phase U
 V : Phase V
 W : Phase W
 TH- : Protecteur thermique
 TH+ : Protecteur thermique
 BR- : Frein-
 BR+ : Frein+
 S1 : Resolveur 1
 S2 : Resolveur 2
 S3 : Resolveur 3
 S4 : Resolveur 4
 R1 : Resolveur 5
 R2 : Resolveur 6
 B : Option reprise de blindage (vis M3)
 ⊕ : Masse



A2.2 Schéma de connexion du câble d'entrées/Sorties analogiques reliant Parvex et de la carte FM 453 d'une part et à l'automate d'autre part:

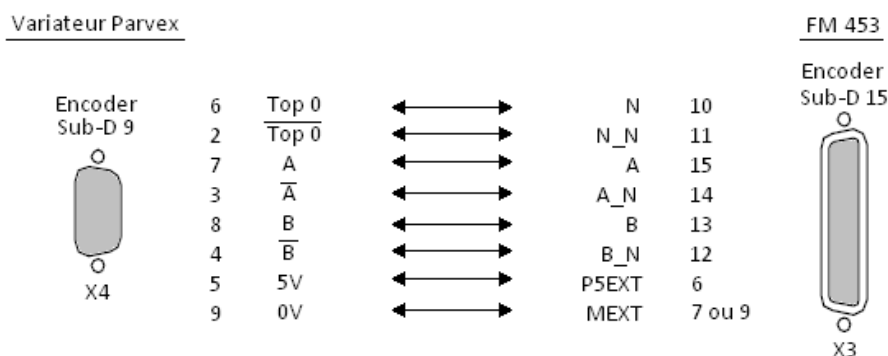


Connexion du contact de déblocage du régulateur:



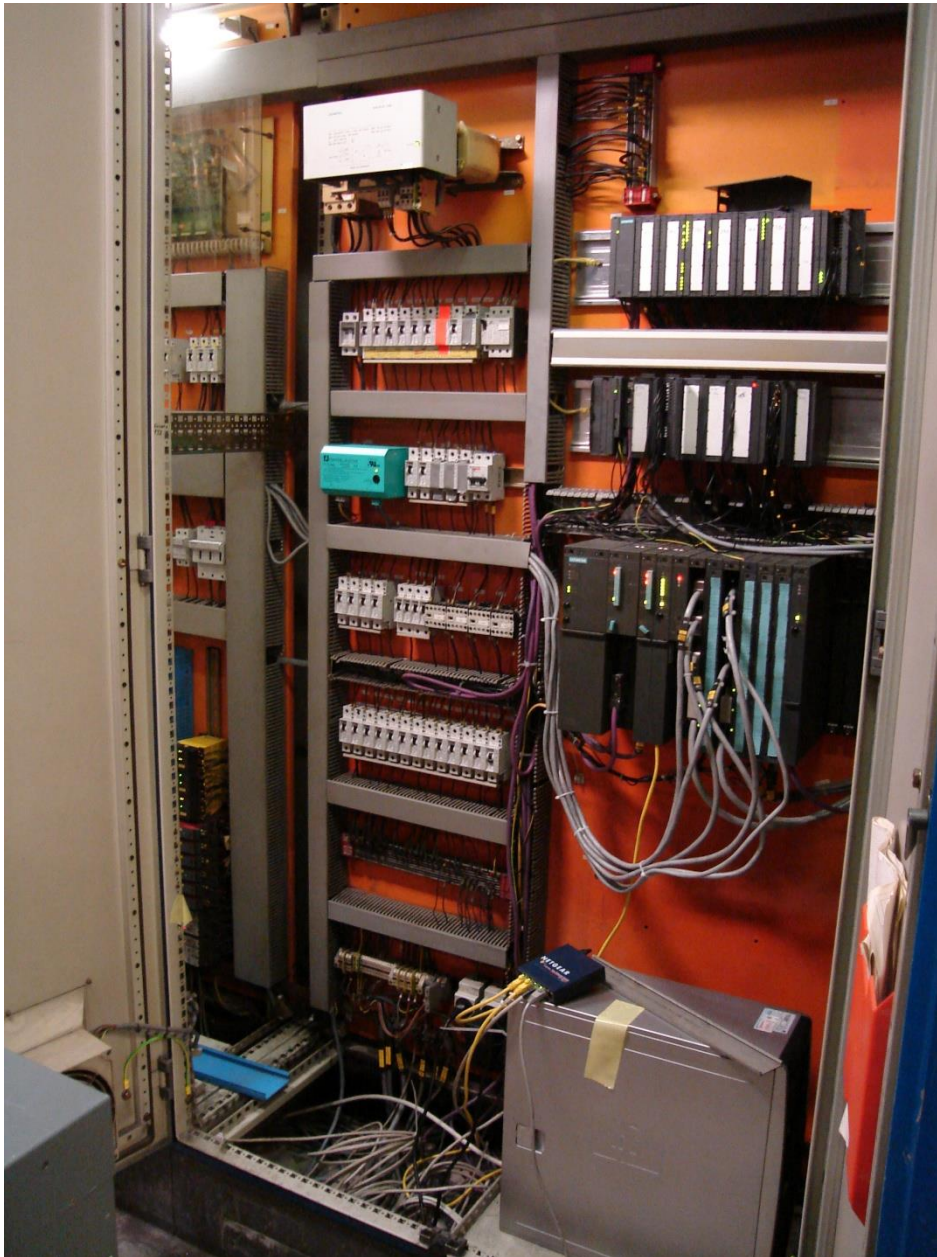
EA1: Consigne de position
 EA2: Mesure de courant du servomoteur
 SA2: Limitation de courant du servomoteur
 CW: Sens de rotation horaire
 CCW: Sens de rotation anti-horaire
 Torque: Mise sous/hors couple
 RF1 RF2: contact de déblocage du régulateur

A2.3 Schéma de connexion du câble encodeur



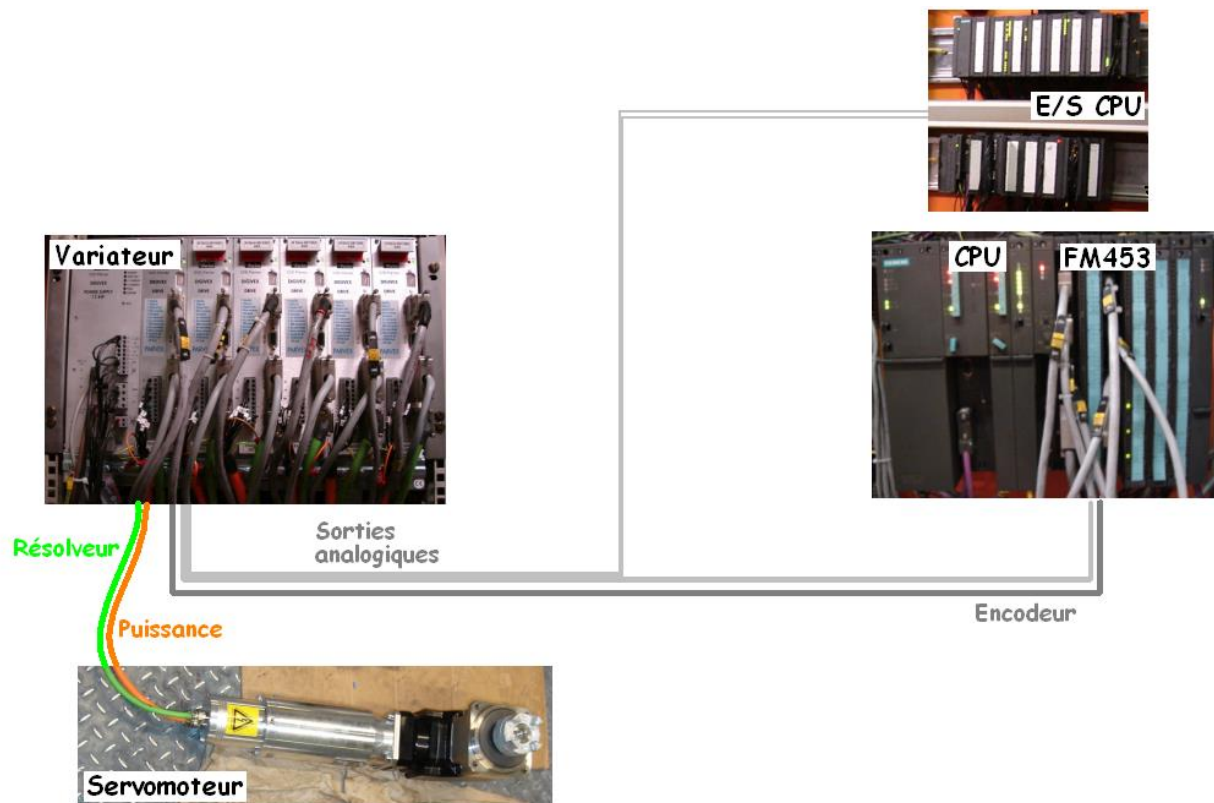
Top 0 : Top zéro du codeur incrémental
 A : voie A du codeur incrémental
 B : voie B du codeur incrémental

A3. L'armoire des automates:



Deux automates série 400, deux cartes FM453, deux modules de comptage.
Au dessus: des modules d'entrées/sorties digitales et analogiques.

A4. Schéma de raccordement du matériel



A5. Bloc-fonctions de déplacement

Le bloc MDI

Le bloc Régulation d'effort

Le bloc Manuel