

SESSION 2010

---

**AGREGATION  
CONCOURS INTERNE  
ET CAER**

**Section : GÉNIE ÉLECTRIQUE  
Option A : ÉLECTRONIQUE ET INFORMATIQUE INDUSTRIELLE**

**ÉPREUVE PRENANT APPUI SUR UN SYSTÈME INDUSTRIEL**

Durée : 8 heures

---

*Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.*

*L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.*

*Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.*

*De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.*

**NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.**

**Tournez la page S.V.P.**

## COMMANDE d'un CENTRE d'USINAGE

Ce sujet comporte 5 dossiers distincts :

📁 Dossier de présentation	12 pages
📁 Dossier schémas structurels	23 pages
📁 Dossier annexes et documents constructeurs	39 pages
📁 Dossier de questionnement	24 pages
📁 Documents réponses	13 pages

Le questionnement comporte cinq parties indépendantes :

- Partie 1 : Dimensionnement du calculateur
- Partie 2 : Etude de la chaîne d'acquisition de la position des axes
- Partie 3 : Conception de la commande des variateurs de vitesse
- Partie 4 : Organisation de centres d'usinage en réseau
- Partie 5 : Interface graphique avec l'utilisateur

**Une lecture préalable et complète du sujet est indispensable.**

Il sera tenu compte de la cohérence avec laquelle les candidats traiteront chaque partie, le jury préférant une réflexion d'ensemble de la partie abordée à un éparpillement des réponses.

Les candidats sont invités à numéroter chaque page de leur copie et à indiquer clairement le numéro de la question traitée.

Les candidats sont priés de rédiger les différentes parties du problème sur feuilles séparées et clairement repérées. Chaque question est identifiée par une police **gras** et repérées par un numéro.

Il leur est rappelé qu'ils doivent utiliser les notations propres au sujet, présenter clairement les calculs et dégager ou encadrer tous les résultats.

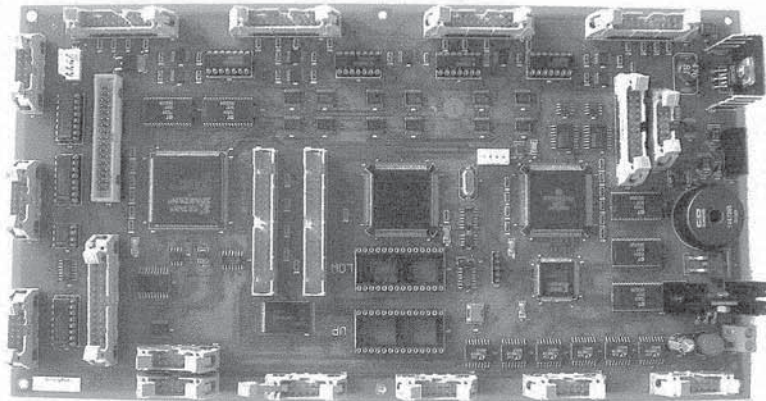
Tout résultat incorrectement exprimé ne sera pas pris en compte. En outre les correcteurs leur sauront gré d'écrire lisiblement et de soigner la qualité de leur copie.

Il sera tenu compte de la qualité de rédaction, en particulier pour les réponses aux questions ne nécessitant pas de calcul. Le correcteur attend des phrases complètes respectant la syntaxe de la langue française.

Pour la présentation des applications numériques, il est rappelé que lors du passage d'une forme littérale à son application numérique, il est recommandé aux candidats de procéder comme suit :

- après avoir rappelé la relation littérale, chaque grandeur est remplacée par sa valeur numérique en respectant la position qu'elle avait dans la relation puis le résultat numérique est donné sans calculs intermédiaires et sans omettre son unité.

# COMMANDE d'un CENTRE d'USINAGE



## DOSSIER DE PRESENTATION

- |  |        |
|--|--------|
| 1. Contexte industriel                               | p 2/12 |
| 2. Mise en situation d'une machine outil             | p 3/12 |
| 3. Description fonctionnelle d'une machine outil     | p 4/12 |
| 4. Description fonctionnelle de la carte de commande | p 5/12 |
| 5. Modélisation UML de la carte de commande          | p 6/12 |

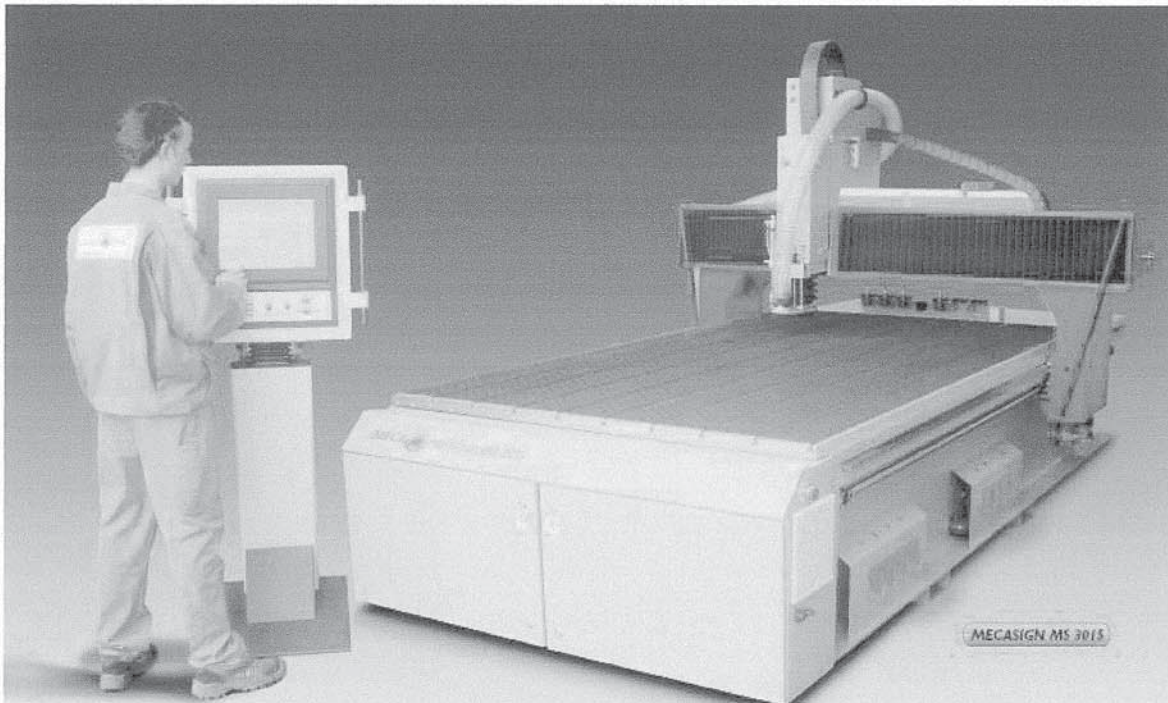
## Présentation du Système :

### 1. Contexte industriel :

La société Mécanuméric, basée à Albi (Tarn), est leader européen en conception d'équipements de découpe, de gravure et de thermoformage. Elle occupe une usine de 7000m<sup>2</sup> et compte des filiales en Allemagne, en Italie et bientôt en Russie. Son réseau commercial couvre plus de 50 pays.

Son expérience de plus de 20 ans en automatismes et robotique lui permet de concevoir et de réaliser des machines utilisant les technologies suivantes :

- fraisage et gravure par fraisage haute vitesse,
- découpe et gravure par laser CO2 ou YAG,
- découpe et semi-découpe au couteau à contrôle tangentiel,
- découpe au jet d'eau abrasif haute pression,
- thermoformage et étuves.



Le marché de la machine outil nécessite une grande adaptabilité des solutions techniques proposées de manière à pouvoir répondre rapidement à une demande spécifique.

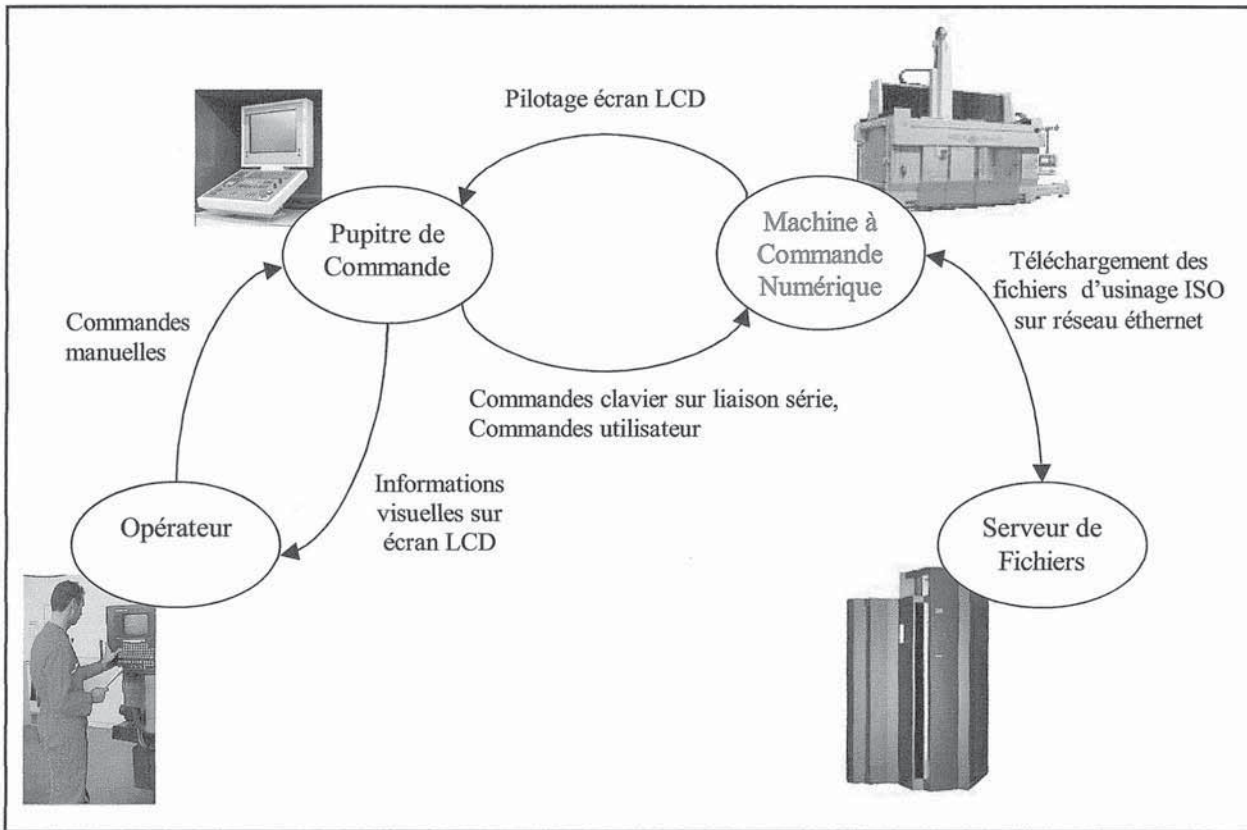


## 2. Mise en situation d'une machine outil :

Pour simplifier l'approche fonctionnelle de la machine, nous ne nous intéresserons qu'au flux des informations.

A partir du pupitre de commande, l'opérateur :

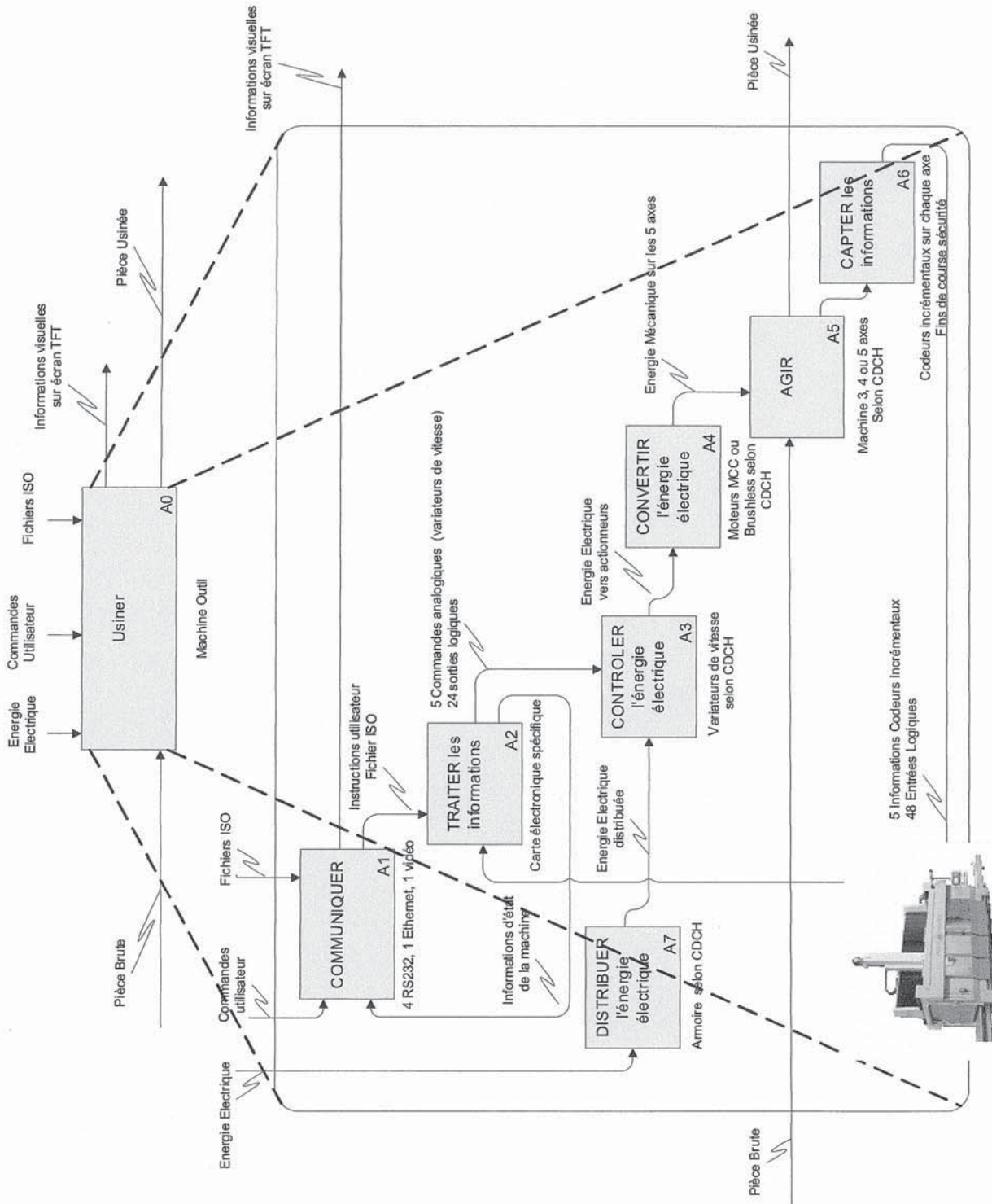
- recherche sur le réseau de l'entreprise le fichier d'usinage à télécharger,
- règle les repères machine,
- lance / arrête les cycles machine,
- visualise l'état de la machine et l'avancement de l'usinage.



### 3. Description fonctionnelle d'une machine outil :

Le diagramme SADT ci-dessous représente la décomposition fonctionnelle d'une machine outil :

*Il est à noter que toutes les fonctions A3, A4, A5 et A7 dépendent du cahier des charges particulier de chaque machine et devront être à chaque fois redéfinies.*



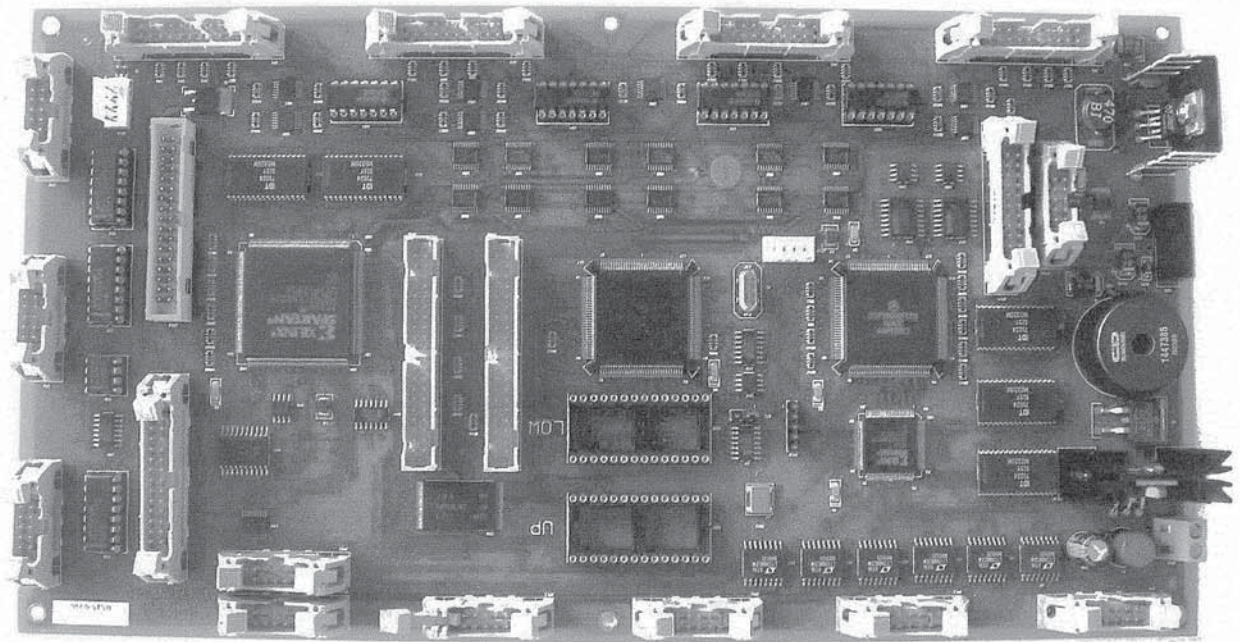
#### **4. Description fonctionnelle de la carte de commande :**

La fabrication de machines « à la demande » suppose une adaptabilité optimale des solutions techniques retenues.

C'est pourquoi, pour la fonction « A2 : Traiter les informations », la société Mécanuméric a développé une carte de commande universelle répondant à toutes les exigences pour ses centres d'usinage.

Les programmes intégrés sur la carte doivent facilement être adaptés à toute nouvelle machine.

Le questionnement portera principalement sur cette carte.



Nous en proposons deux modélisations :

- Une modélisation UML permettant de décrire son comportement vis-à-vis de l'environnement.
- Une description fonctionnelle montrant l'organisation de la carte,

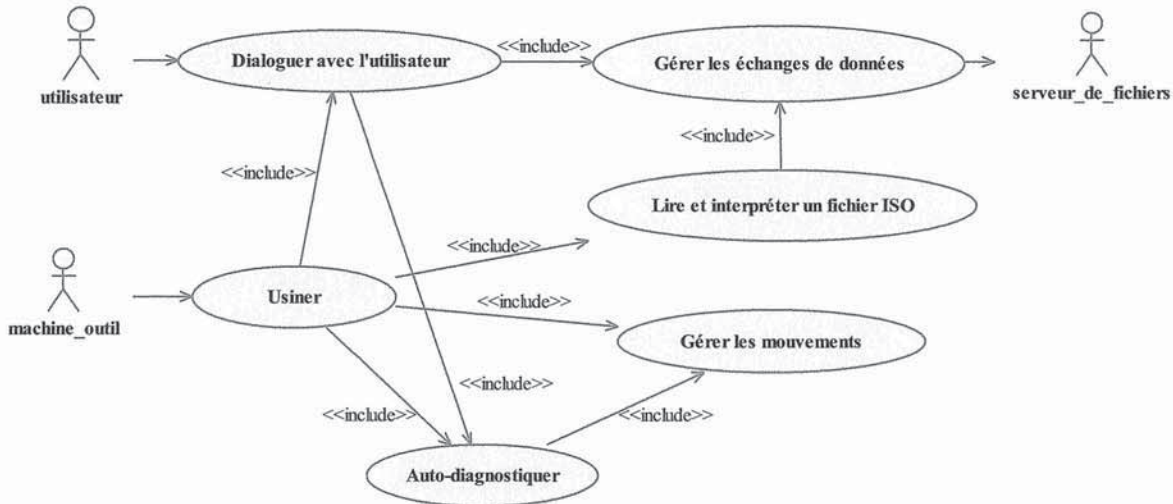


## 5. Modélisation UML de la carte de commande :

### 5.1 Diagramme des cas d'utilisation :

Ce diagramme fait intervenir 3 acteurs :

- L'"utilisateur" de la machine outil,
- Le "serveur de fichiers" contenant l'ensemble des fichiers d'usinage du centre de fabrication,
- la "machine outil » à proprement parler.



L'acteur "Utilisateur" dialogue au travers d'un clavier et d'un écran LCD avec la carte de commande pour :

- choisir et télécharger le fichier d'usinage de la pièce en cours,
- régler les prises d'origine machine,
- lancer/interrompre le cycle d'usinage,
- surveiller le bon déroulement du cycle.

La fonction "Usiner" interprète le fichier d'usinage ISO (voir annexe1) et gère les mouvements de la machine outil constituée de :

- 5 axes (3 axes X , Y, Z ou 5 axes X1 X2, Y1 Y2, Z si les moteurs d'axe X et Y sont doublés),
- Une broche et / ou un laser,
- Des accessoires (aspirateurs, broches, changeurs..).



## 5.2 Diagramme de séquences :

Le diagramme de séquence page 11 apporte une vue dynamique du fonctionnement des objets.

Son fonctionnement est explicité ci-dessous :

### Fonctionnement de l'ensemble IHM / Serveur de fichiers / Interpréteur ISO / Pile de Blocs :

Le dialogue avec l'utilisateur au travers d'un clavier et d'un écran LCD est réalisé par l'objet **:IHM** :

L'utilisateur choisit sur le réseau informatique le fichier ISO (voir description documents constructeur page DOC2) à télécharger pour piloter l'usinage à réaliser. Ce fichier est alors transféré dans la mémoire interne de la carte de commande.

Ensuite, l'utilisateur règle manuellement les origines machine puis lance le cycle d'usinage.

Lorsque le cycle d'usinage est lancé, les commandes ISO sont interprétées par l'objet **:Interpreteur ISO**.

Deux cas sont alors possibles :

- **si la commande est une commande de type G :**

La carte de commande prépare le travail d'asservissement en produisant une structure appelée « bloc » dans laquelle sont décrits les paramètres du déplacement. Dans le cas d'un déplacement linéaire (rectiligne) ce bloc a la structure suivante :

Mnémonique	Commentaire
Xf	Position absolue sur X du point final de la trajectoire
Yf	Position absolue sur Y du point final de la trajectoire
Vusinage	Vitesse maximale d'usinage sur bloc
$\Delta X$	Valeur absolue du déplacement sur X
INCX	Sens du déplacement sur X Vaut +1 si déplacement positif / Vaut -1 si déplacement négatif
$\Delta Y$	Valeur absolue du déplacement sur Y
INCY	Sens du déplacement sur Y Vaut +1 si déplacement positif / Vaut -1 si déplacement négatif
Axe_P	Axe principal : axe sur lequel s'effectue le plus grand déplacement Vaut 0 si axe principal = Axe X / Vaut 1 si axe principal = Axe Y
LTC	Longueur curviligne du déplacement sur le bloc
Vfinb	Vitesse finale sur le bloc en cours La vitesse finale du bloc prépare la jonction avec le bloc suivant. Elle vaut soit : <ul style="list-style-type: none"><li>- Vmaxi du bloc en cours (si la vitesse du bloc suivant est supérieure au bloc en cours)</li><li>- Vmaxi du bloc suivant (si la vitesse du bloc suivant est inférieure à celle du bloc en cours)</li><li>- 0 si il y a changement de sens ou arrêt.</li></ul>
Pos_dec	Position de la décélération sur la trajectoire curviligne (sur LTC)
Vmax	Vitesse maximale sur le bloc calculée par enveloppe

Ce bloc est ajouté à une pile utilisée par l'objet **:Pilotage Axes** tant qu'une commande de type M n'est pas rencontrée.

- si la commande est une commande de type M :

L'objet : **Interpréteur ISO** attend que la pile de blocs soit vide (le système a terminé l'exécution des blocs de déplacement stockés dans la pile) puis pilote l'action concernée qui peut être entre autres :

- Marche/Arrêt de la Broche,
- Montée/Descente du Patin d'aspiration des copeaux,
- Démarrage / Arrêt de l'aspiration du plateau,
- Démarrage / Arrêt de l'aspiration des copeaux...

Fonctionnement de l'ensemble Pile de Blocs / Pilotage Axes / Codeurs / Axes / Broche / Laser :

Parallèlement avec l'ensemble précédent, l'objet : **Pilotage Axes** réalise, à partir de la pile de blocs, la commande des 8 voies analogiques et permet ainsi la commande des axes, de la broche et / ou du laser :

La commande de la broche et du laser est effectuée en boucle ouverte.

La commande des axes est réalisée en trois temps :

**1. Calcul de la vitesse d'usinage :**

La vitesse d'usinage est déterminée par deux processus fonctionnant en parallèle :

Processus 1 : Calcul d'enveloppe de la vitesse d'usinage :

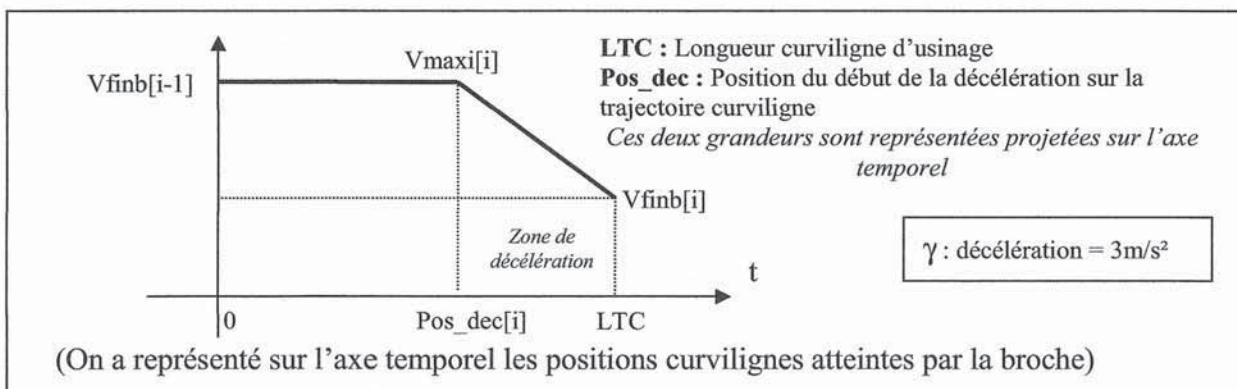
La pile est analysée de la fin au début pour élaborer l'enveloppe de vitesse.

L'enveloppe de vitesse précise pour chaque point la vitesse d'usinage maximale permise pour respecter les consignes futures. C'est ce que l'on appelle un « look ahead ».

Il faut par exemple insérer une rampe de décélération entre deux trajectoires G (voir DOC2) lorsque la deuxième trajectoire est plus lente que la première.

Il faudra également prévoir une rampe de décélération pour assurer l'arrêt de la machine.

La fonction « calcul d'enveloppe » modélise tous les blocs en remontant de la fin de la pile vers le bloc en cours par une courbe dont le gabarit est défini ci-dessous :





Elle modifie donc 3 paramètres sur la pile des blocs\_de\_déplacement:

- $V_{maxi}$  : vitesse maximale sur le bloc analysé
- $Pos\_dec$  : position du début de décélération sur le bloc analysé,
- $V_{fin}$  vitesse maximale en fin de bloc.

Par exemple sur la pile définissant le profil de vitesse figure1, la fonction « Détection d'enveloppe » va générer l'enveloppe représentée figure 2 :

Figure 1 :

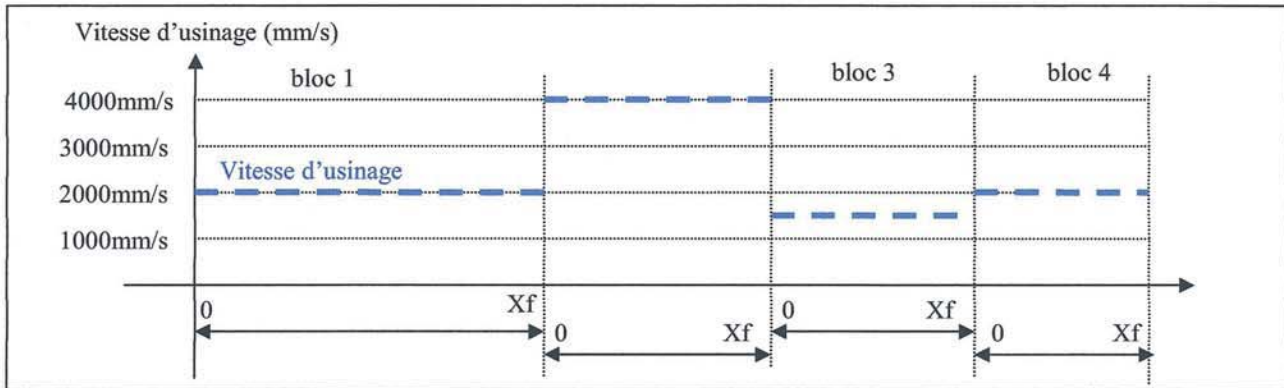
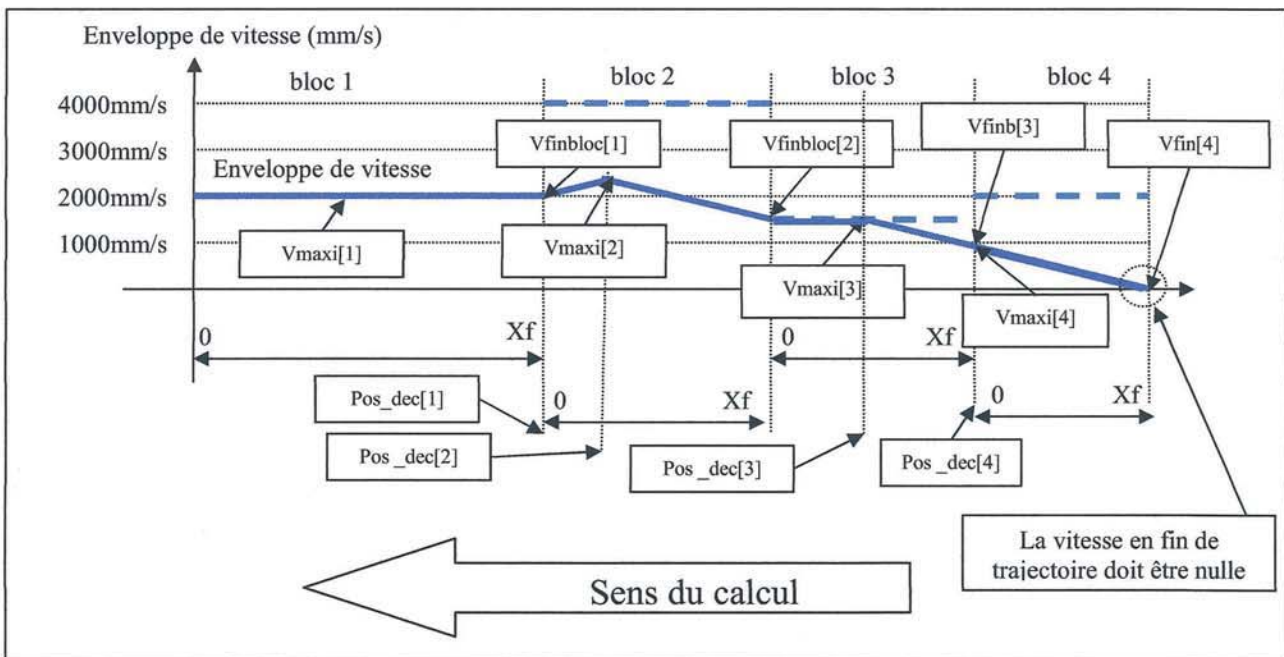


Figure 2 :



Le calcul d'enveloppe détermine la vitesse maximale permettant de respecter les consignes d'usinage futures. Ce calcul s'effectue de la fin des blocs ( $Vitesse = 0$  en fin de trajectoire) vers le bloc en cours.

Pour cela elle détermine pour chaque bloc 3 paramètres :

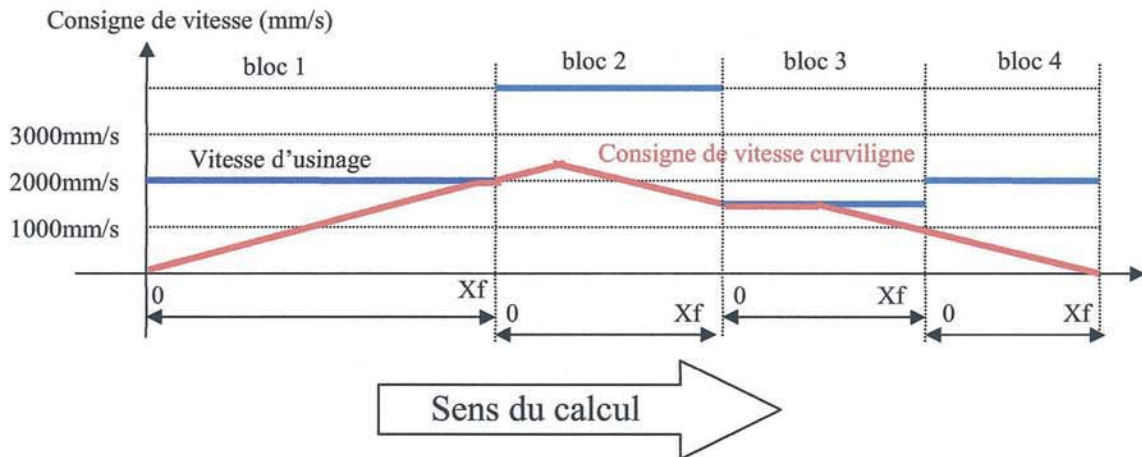
- La vitesse maximale sur le bloc  $V_{maxi}[i]$
- La position du début de décélération  $Pos\_dec[i]$
- La vitesse de fin de bloc  $V_{finbloc}[i-1]$



## Processus 2 : Calcul de la vitesse instantannée :

La vitesse d'usinage instantannée ne peut être directement celle précisée dans la commande ISO : il faut gérer des accélérations pour s'assurer que la broche suive effectivement bien la trajectoire décrite par la commande ISO et ne pas dépasser la vitesse fixée par l'enveloppe pour anticiper les décélérations futures.

Les consignes de vitesse sont calculées toutes les 2ms (HTR) du début vers la fin comme montré sur l'exemple ci-dessous :



## 2. Calcul des consignes de position :

Les consignes de position POSTA(X,Y,Z) sur les cinq axes (X, Y, Z ou X1, X2, Y1, Y2, Z) sont obtenues par projection sur les axes X, Y et Z de la position courante augmentée du  $\Delta(X,Y,Z)$ .

Le calcul du  $\Delta(X,Y,Z)$  est réalisé à partir :

- de la vitesse instantannée sur l'axe,
- de l'horloge temps réel (HTR) qui est de 2ms.

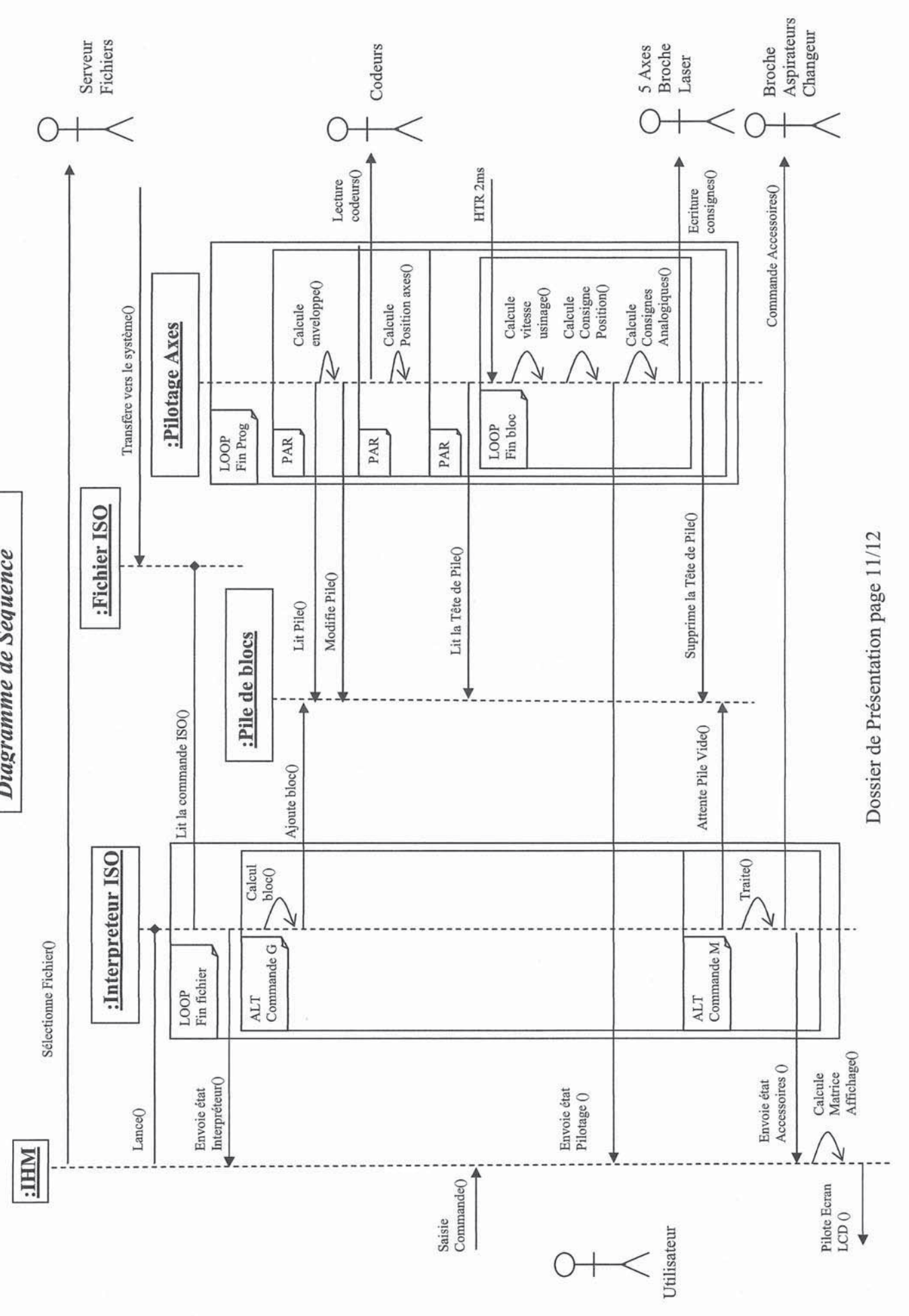
## 3. Calcul des consignes de vitesse vers les variateurs :

Les consignes vers les variateurs de vitesse sont calculées par la procédure `Calcule_Consignes_Analogiques()` de l'objet **Pilotage Axes**.

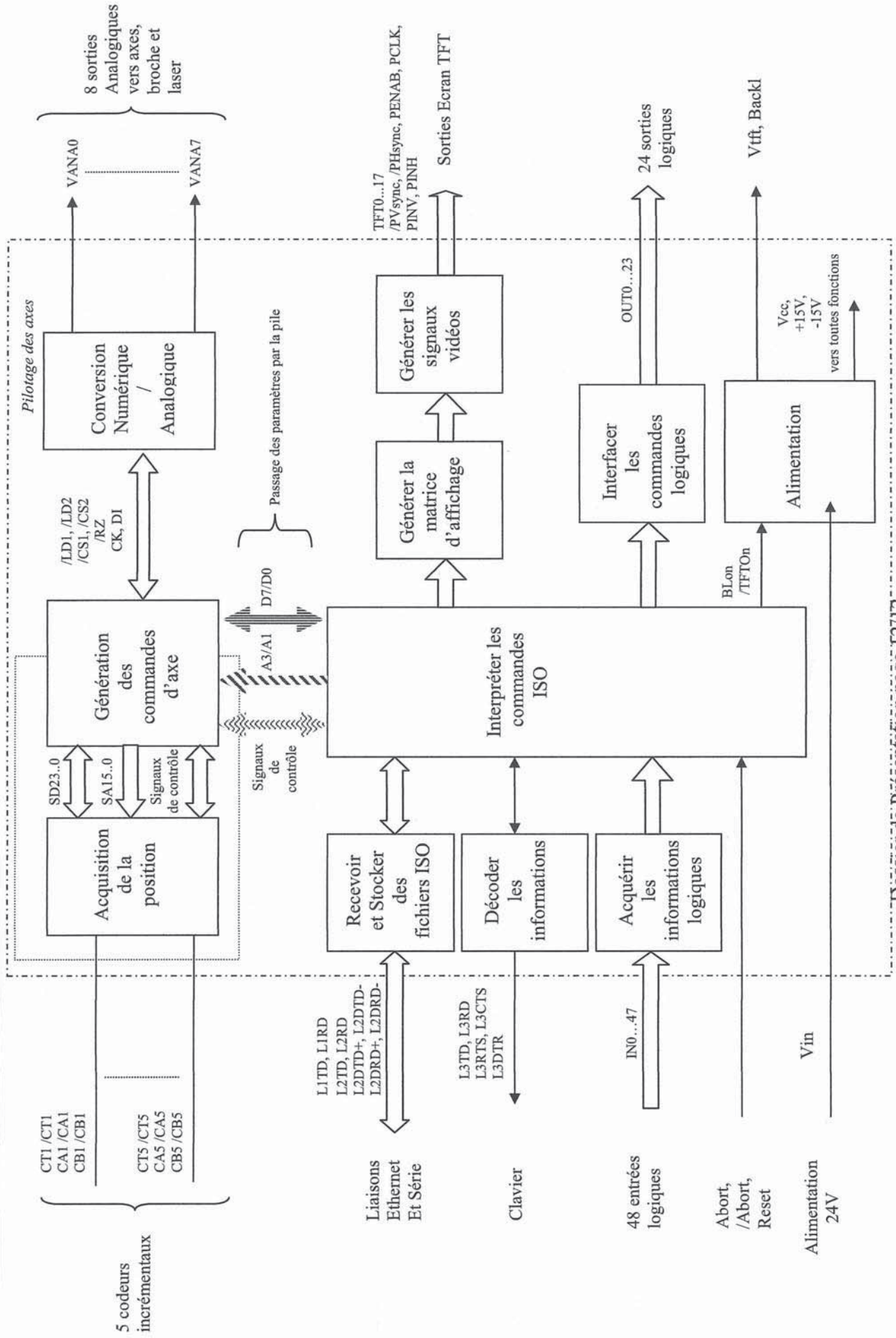
Cette procédure calcule les consignes de vitesse à générer vers les variateurs à partir des consignes de position POSTA(X,Y,Z) et des informations de position délivrées par les codeurs.

L'objet **Pilotage des axes** supprime de la pile un bloc terminé.

# Diagramme de Séquence



### 1.6 Modélisation Fonctionnelle de la carte de commande :





## 2. SCHEMAS STRUCTURELS

### Carte C600 :

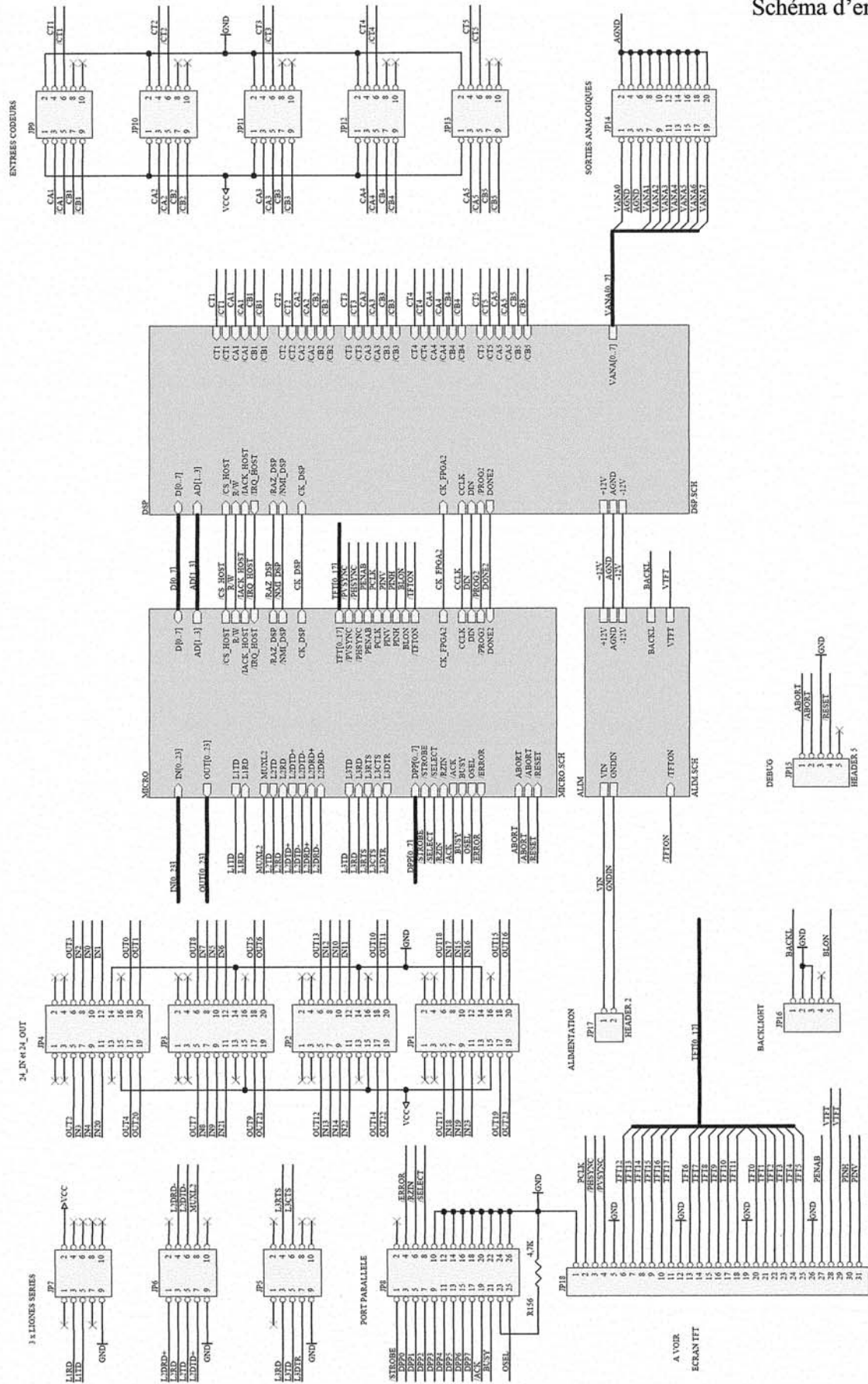
Schéma d'ensemble	2/23
DSP	3/23
DSP I/O	4/23
MICRO	5/23
RS232	6/23
MEMIO	7/23
IO	8/23
GRAPH	9/23
ALIM	10/23

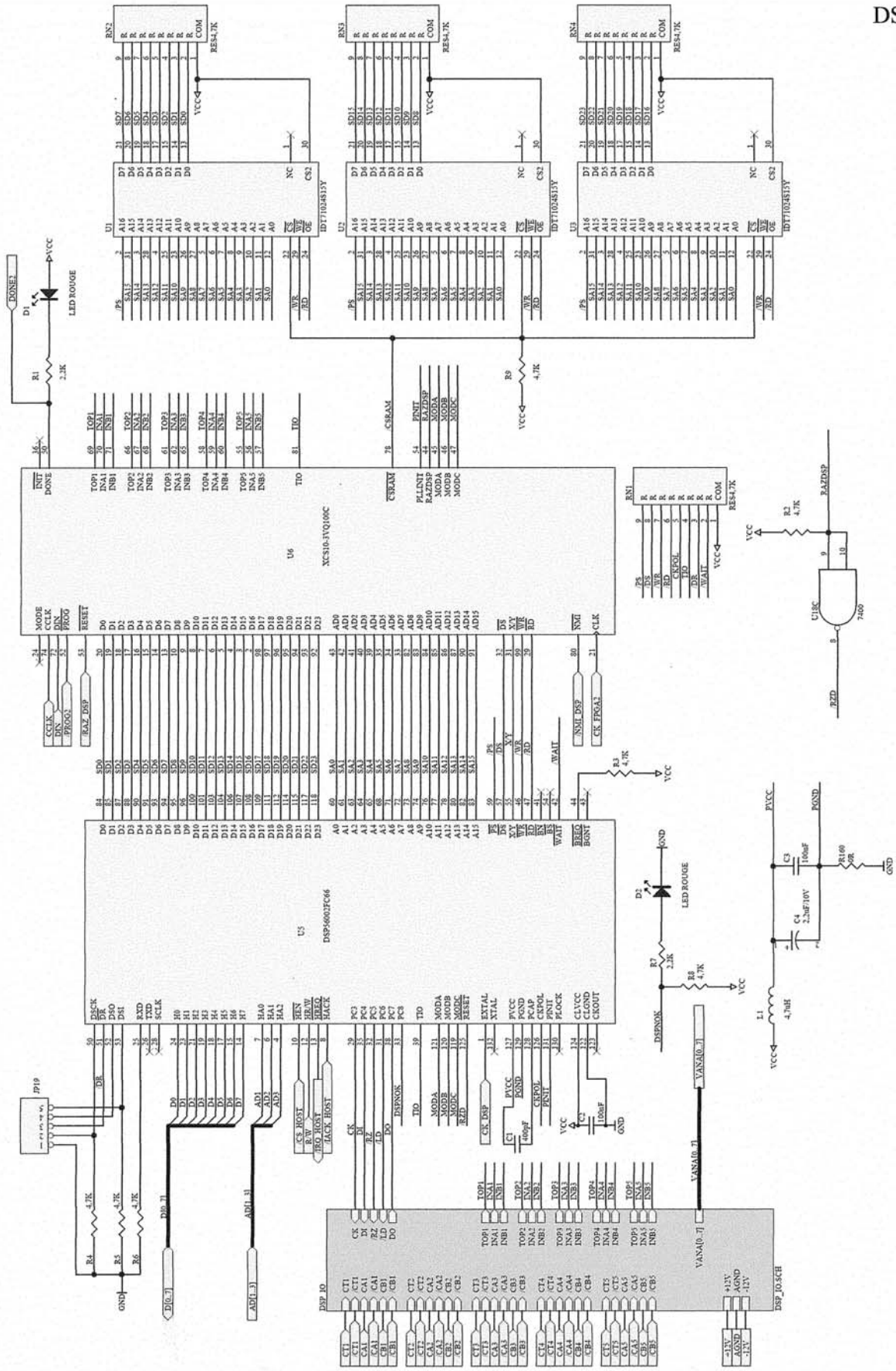
### Schémas FPGA1 :

FPGA1 :	Schéma des Entrées / Sorties du FPGA1	11/23
CORE :	Organisation Fonctionnelle du FPGA1	12/23
CPU		13/23
GRAPH :	Organisation Fonctionnelle de l'affichage	14/23
GRPLL		15/23
GRCMD		16/23
GRADR		17/23
GRDATA		18/23

### Schémas FPGA2 :

FPGA2 :	Schéma des Entrées / Sorties du FPGA2	19/23
CORE :	Organisation Fonctionnelle du FPGA2	20/23
CPU		21/23
CODER		22/23
GESTION		23/23







Carte C600  
DSPI/O.SCH

