

SESSION DE 2003

**concours externe
de recrutement de professeurs agrégés**

section : génie mécanique

Composition d'automatismes industriels

durée : 6 heures

Aucun document n'est autorisé

*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.
Tout document et tout autre matériel électronique sont interdits*

Ce document comporte :

- *une présentation du sujet : 4 pages, paginées 2/18 à 5/18.*
- *le travail demandé (parties A et B) : 13 pages, paginées 6/18 à 18/18.*
- *un dossier comprenant 14 documents ressources : 14 pages dont deux au format A3, DR1 et DR5.*
- *un document réponse : 1 page.*

Le candidat traitera chacune des parties (partie A et partie B) sur des copies séparées en indiquant sur chacune d'entre elles le numéro de la partie traitée.

Les trois parties A1, A2 et B sont indépendantes de même que la majorité des questions au sein de chacune d'entre elles. Elles peuvent donc être traitées dans un ordre quelconque, en commençant par celles qui sembleront les plus abordables par chacun des candidats, mais, bien entendu, après avoir lu la totalité du sujet.

Les candidats sont invités à formuler toutes les hypothèses qu'ils jugeront nécessaires pour répondre aux questions posées.

Tournez la page S.V.P.

INSTALLATION DE TRONÇONNAGE

1. Introduction :

La modernisation d'une installation de tronçonnage dans une aciérie en sortie de trains de laminoirs et destinée à obtenir des produits marchands à partir de ronds ou brames (formes parallélépipédiques) laminés à chaud sert de support à cette épreuve.

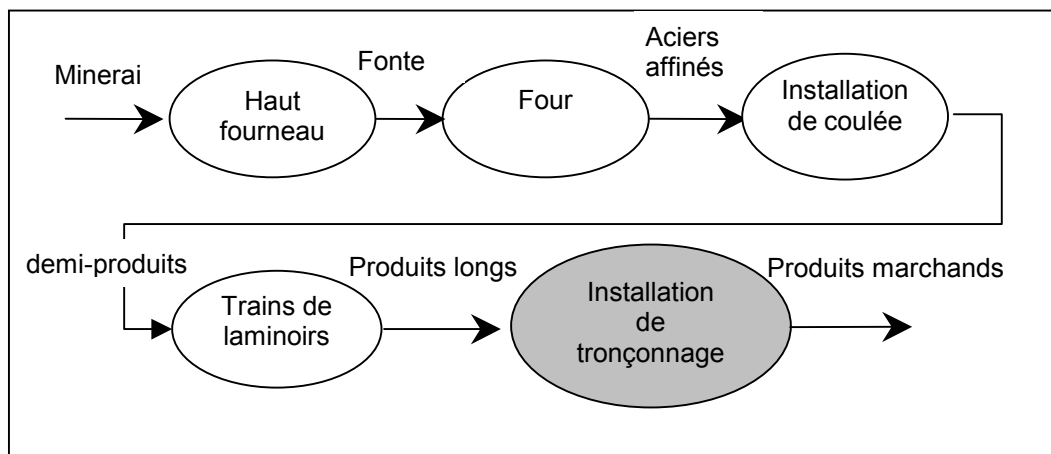


Figure 1 : Situation de l'installation de tronçonnage

2. Contexte de l'étude et problématique générale :

L'accent est mis sur une recherche d'une amélioration de la productivité associée à une amélioration de la sûreté de fonctionnement dans ses dimensions fondamentales : sécurité et disponibilité.

2.1 Les produits traités :

Ce sont essentiellement des barres d'aciers (produits longs laminés à chaud sortant de laminoirs) de différentes nuances (plus de 300) pouvant selon leurs dimensions, être tronçonnées une par une, ou en nappes.

Barres : Φ mini = 16 mm - Φ maxi = 200 mm ;
 \square mini = 16 mm - \square maxi = 240 mm ;
longueur maxi : < 60 m
longueur mini : 1,8 m

Température des produits entrants : 1000 °C maximum.

2.2 Conditions d'utilisation :

Fonctionnement : 2 postes / jour (1 poste = 8 h)
5 jours / 7
47 semaines par an ;

Cadence moyenne : 1 lingot de 2 tonnes toutes les 3 minutes ;

2.3 Eléments du cahier des charges fonctionnel de l'installation¹ :

Fonctions	Critères et caractéristiques	Niveaux	Classe de Flexibilité	Limite d'acceptation
Débiter les barres	Longueur	De 1,8 m à 3 m	F2	+5 cm
		De 3,00 m à 7,2 m	F2	+5 cm
		De 7,2 m à 14 m	F2	+10 cm
	Eboutage ² tête et queue	< 0,6 m	F0	
	Echantillon	< 0,60 m	F0	
	Chute	< 0,60 m	F0	
Marquer les barres coupées	Conformité aux normes		F0	
Evacuer et trier les chutes et échantillons			F0	
Evacuer les barres coupées	Température ou durée de refroidissement		F3	T < 100 °C

2.4 Cycle de coupe :

Différents types de coupes sont possibles selon l'ordre de fabrication (O.F.) et le programme d'optimisation des coupes :

- Eboutage tête et queue, pour éliminer les bouts de barres de qualité douteuse ;
- Chutes têtes ou queue : toute barre inférieure à 1,8 m est considérée comme une chute. Cependant, toute chute évacuée doit être inférieure ou égale à 0,6 m impliquant parfois des coupes supplémentaires ;
- Echantillonnage tête et/ou corps et/ou queue pour réaliser diverses analyses et vérifications de la qualité des produits ;
- Coupes de 1,8 m à 3m, 3m à 7,2 m, 7,2 m à 14 m.

Les longueurs de la majorité des produits marchands se situent dans la fourchette de 3 à 7,2 m. Pour cette catégorie, la solution retenue consiste à faire arriver la barre sur une butée mobile (BM) abaissée, asservie en position et dont la position par rapport à la lame détermine la longueur de coupe. Ce contact déclenche le serrage d'étaux horizontaux et verticaux maintenant la barre. La butée est alors effacée (remontée) et le tronçonnage commandé. A la fin du tronçonnage, les étaux sont desserrés permettant l'évacuation de la barre coupée et le démarrage d'un nouveau cycle de positionnement et de coupe.

Ce système, de mise en butée, est préféré, par expérience de l'entreprise, aux systèmes de mesure avec générateur d'impulsions (GIBM) utilisés toutefois pour les autres coupes (inférieur à 3 m et supérieur 7,2 m).

¹ Ne sont données que les indications utiles au sujet.

² Eboutage : opération qui consiste à tronçonner les extrémités mal formées des barres

2.5 Optimisation de la longueur de coupe.

Il s'agit de déterminer un cycle de coupes de barres (ou en nappe), minimisant les pertes et tenant compte des principales données rappelées ci-dessous.

Données de l'ordre de fabrication (les longueurs sont des longueurs à température ambiante) :

- fourchette de longueurs de la commande client (mini, maxi) ou nombre de multiples ;
- longueur de queue ;
- longueur de tête ;
- nombre d'échantillons ;
- coefficient de dilatation.

Données de la tronçonneuse :

- épaisseur du disque.

Données de la mesure :

- mesure de la longueur de la barre ;
- mesure de la température de la barre.

Le cycle de coupe optimisé est présenté sous la forme d'un tableau indiquant le cycle de coupe à suivre par barre et les longueurs débitées.

Nb	Type	Longueur à froid	Longueur à chaud
1	Eboutage tête	lt	$lt + \Delta lt(T)$
1	Echantillonnage tête	let	$let + \Delta let(T)$
1	Coupes	$lc1$	$lc1 + \Delta lc1(T)$
0	Echantillonnage intermédiaire	0	0
2	Coupes	$lc2$	$lc2 + \Delta lc2(T)$
		
n	Coupes	lcn	$lcn + \Delta lcn(T)$
0	Barre courte	0	0
1	Echantillonnage queue	leq	$leq + \Delta leq(T)$
1	Eboutage queue	lq	$lq + \Delta lq(T)$

Figure 2 : Exemple d'un tableau générique de coupes

L'élaboration du tableau nécessite la connaissance de la longueur de la barre (chaude) mesurée à l'entrée de la ligne d'aménagement et de la température prise à l'aide d'un pyromètre optique afin de déterminer les corrections nécessaires.

3. Structure de la partie opérative

Elle peut se décomposer en cinq sous ensembles (voir le document ressource DR1) :

- une ligne d'amenée des produits (LAP) en sortie des bloomings (température maximale 1000°C ;
- un dispositif de transfert de la ligne d'amenée vers la ligne de tronçonnage, soit par déflecteurs (pour des longueurs de barres supérieures à 36 m), soit par des bras

articulés permettant un transfert horizontal d'un emplacement à l'autre, selon un cycle de type "cycle carré" ;

- une ligne de tronçonnage (LDT) avec un dispositif de mesure, une unité de tronçonnage et une butée mobile asservie en position ;
- une ligne de récupération des chutes et échantillons (LDTRI) permettant par deux skips l'évacuation vers les 13 bennes de récupération des chutes ou vers la trémie des échantillons ;
- un ensemble de réception et de refroidissement (LEP) des produits tronçonnés et de regroupement en fonction des commandes.

La motorisation des rouleaux des lignes est assurée par des ensembles moto-variateurs (un variateur pour 3 moteurs en général).

4. Structure de la partie commande

La taille et la nature de l'installation rendent nécessaire le recours à une informatique importante de commande et de gestion. Les appareils (automates, variateurs, ordinateurs) sont reliés en réseau.

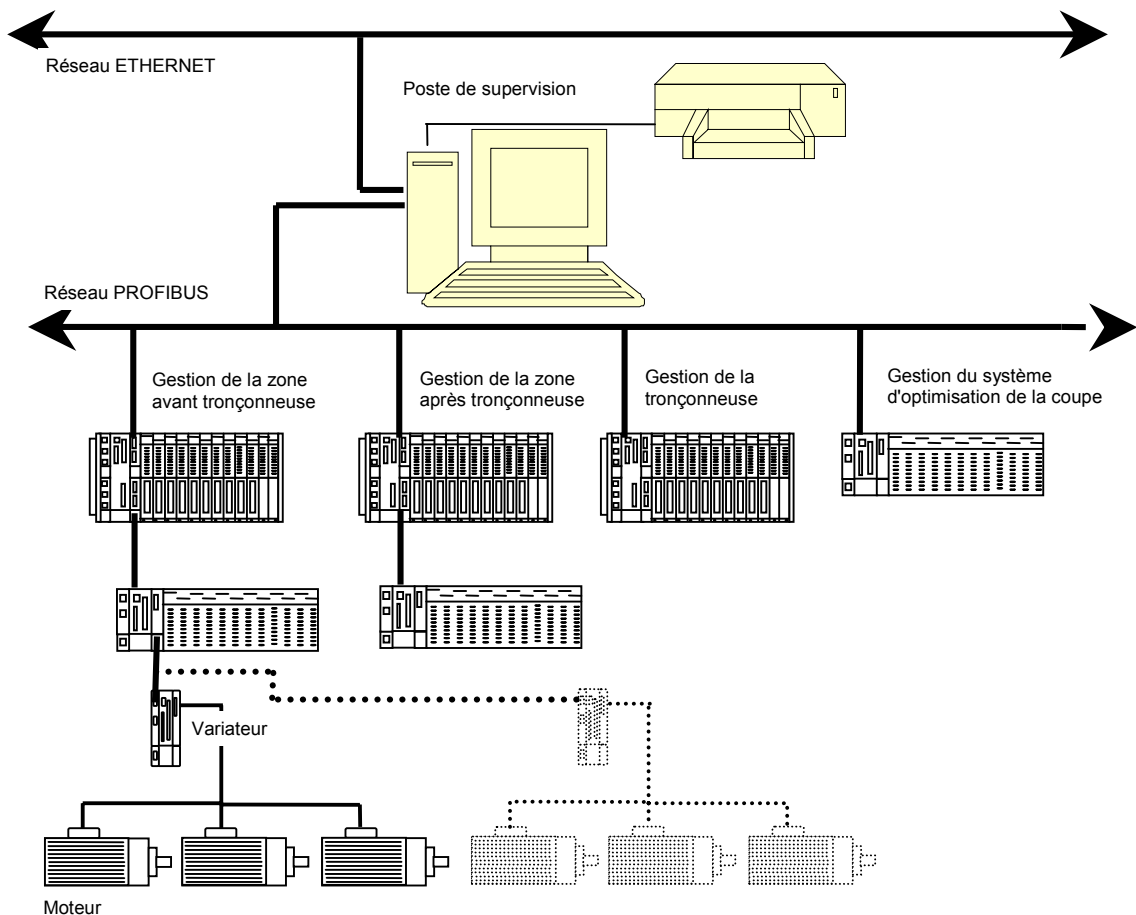


Figure 3 : Extrait du schéma de la structure matérielle de la commande

Partie A : Dimensionnement et asservissements

A1. Dimensionnement des moteurs des rouleaux de transfert (ligne LAP)

La ligne d'amenée des produits (ligne LAP) est composée de plusieurs rouleaux en fonte qui affleurent de 6 centimètres du sol et qui permettent de déplacer des barres de la sortie des laminoirs pour les amener sur la ligne de tronçonnage (Cf. Document ressource DR1). Les barres sont souples car elles sont portées à des températures élevées. Elles sont en appui sur les rouleaux sur toute leur longueur.

Chaque rouleau est équipé d'un moteur spécifique.

Les comportements de tous les rouleaux sont considérés comme identiques.

Extrait du cahier des charges

- Les moteurs sont alimentés par un réseau 230/400 V, 50 Hz.
- Les rouleaux doivent pouvoir accélérer simultanément en charge jusqu'à la vitesse V de 2,2 m/s en une durée de 2 secondes ;
- Les barres transportées sont soit à section circulaire avec des diamètres entre 16 et 200 mm, soit à section carrée avec des côtés de 16 à 240 mm ;
- Les longueurs des barres transportées varient entre 1,8 m et 60 m ;
- La masse volumique de la fonte est $\rho = 7,85 \text{ kg/dm}^3$;
- Le coefficient de frottement des barres sur les rouleaux est : $f = 0.3$;
- Le réducteur est un réducteur à engrenage dont le rendement est estimé à $\eta = 90\%$.

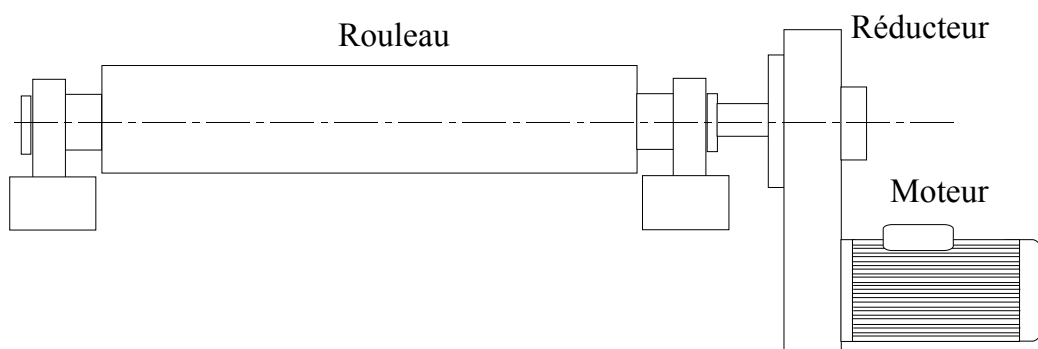


Figure A1 : Rouleau motorisé

Notations :
M : masse de la barre déplacée ;
N : Nombre de rouleaux en contact avec la barre ;
a : accélération linéaire de la barre ;
g : accélération de la pesanteur.

Question A1.1 :

- Exprimer la relation entre a , g et f , condition nécessaire pour éviter le glissement des barres sur les rouleaux.
- Vérifier numériquement la relation avec les données fournies.

Afin, d'une part, de réduire le nombre des rouleaux et d'autre part, de tenir compte des encombrements mécaniques, un écartement e minimum entre les rouleaux est recherché.

Donnée : $e = 0,8$ m.

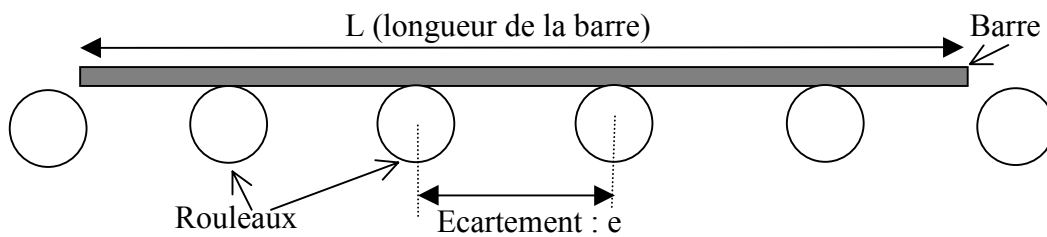


Figure A2 : Disposition d'une barre sur les rouleaux

Question A1.2 :

Donner une minoration de l'effort maximal F_{max} qui peut être exercé au niveau de chaque rouleau, en profitant au maximum des possibilités de poussée au niveau des rouleaux.

Dans un souci de standardisation des équipements, la motorisation des rouleaux est assurée par des moteurs asynchrones 4 pôles. Le service de fonctionnement est considéré comme continu.

Question A1.3 :

- L'utilisation de ce type de moteur est-elle pertinente pour cet entraînement ? Argumenter.
- Expliquer pourquoi les vitesses nominales de ces moteurs sont de l'ordre de 1400 tr/min.
- Donner l'expression littérale du rapport de réduction k à utiliser, de telle manière à ce que la vitesse maximale de déplacement des barres V (2,2 m/s) corresponde à la vitesse nominale du fonctionnement du moteur Ω_m (1400 tr/min). Effectuer l'application numérique.

Question A1.4 :

A l'aide des documents ressources DR2 (tableau des moteurs asynchrones), et à partir du calcul de couple maximum, déterminer une référence complète du moteur à utiliser (puissance, vitesse nominale, caractéristiques électriques).

Détermination des moments d'inertie ramenés à l'axe moteur

Le moment d'inertie du réducteur ramené à l'arbre moteur est $J_{red} = 0,0050 \text{ Kg.m}^2$.

Les rouleaux sont assimilés à des tubes en fonte et leur masse est répartie comme il est indiqué dans la figure A3 ci-après. Les inerties des flasques sont négligées.

La masse volumique de la fonte est $\rho = 7,85 \text{ kg/dm}^3$.

Les rouleaux ont les dimensions suivantes :

Diamètre extérieur : $2R_1 = 320 \text{ mm}$

Longueur : $\lambda = 600 \text{ mm}$

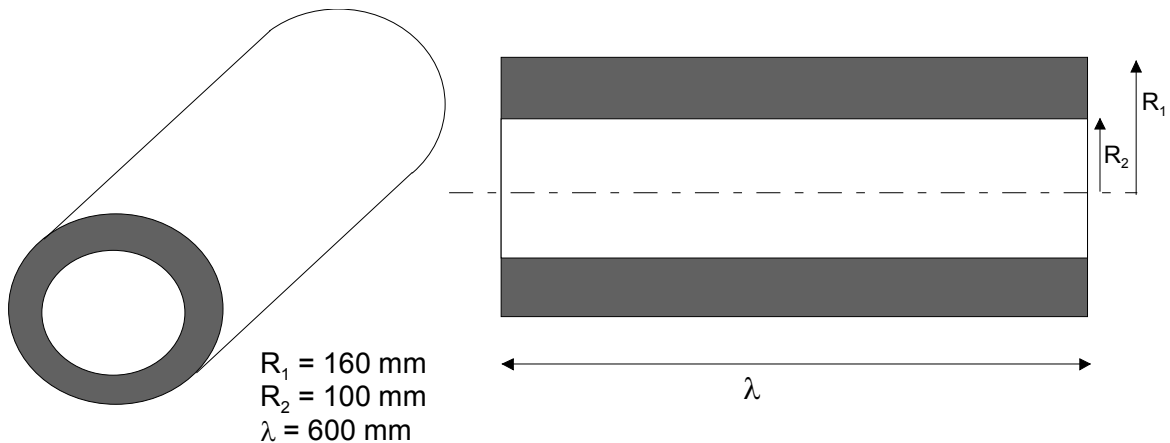


Figure A3 : Schéma d'un rouleau

Question A1.5 :

Donner l'expression littérale du moment d'inertie de l'ensemble du système tournant ramené sur l'axe moteur, en ne considérant que les moments d'inertie du rouleau, du moteur et du réducteur. Effectuer l'application numérique.

Il reste à déterminer le moment d'inertie, ramené sur l'axe moteur, de la portion de la barre poussée par chaque rouleau. Pour cela, les hypothèses simplificatrices suivantes sont adoptées :

- La barre est en appui et entraînée par N rouleaux. Chacun de ces rouleaux déplace en translation une masse $m=M/N$, M étant la masse totale de la barre.
- Le déplacement de la barre se fait sans glissement.

Question A1.6 :

- *Montrer que la situation la plus défavorable se présente lorsqu'une barre de section maximale S_{max} avec une longueur L_1 à déterminer est en appui sur le plus petit nombre possible de rouleaux.*
- *Déterminer alors dans ce cas la valeur de la portion de masse m poussée par chaque rouleau en appui.*

Question A1.7 :

Montrer que le moment d'inertie de la masse m ramené à l'axe moteur peut s'écrire sous la forme :

$$J_{mr} = \frac{mk^2 R_1^2}{\eta}$$

Pour un premier dimensionnement, il sera considéré que les rouleaux sont démarrés en charge, avec un démarrage direct.

L'ensemble mécanique est idéalisé : le couple moteur sert uniquement à l'accélération et il n'y a pas de couple résistant.

Le couple moteur moyen développé par une machine asynchrone durant la phase de démarrage peut s'écrire avec une bonne approximation sous la forme :

$$M_{\text{moy}} = \frac{M_D + 2M_A + 2M_M + M_N}{6}$$

Où : $P_N = M_N \cdot \Omega_N$

Avec :

M_D : couple de démarrage

M_A : couple d'accrochage

M_M : couple maximum

M_N : couple nominal

P_N : Puissance nominale

Ω_N : Vitesse nominale

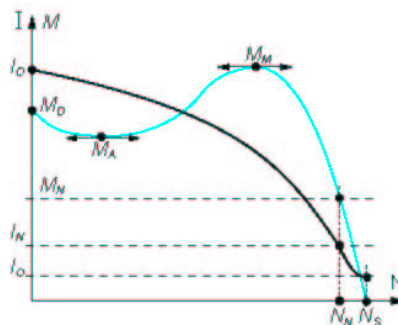


Figure A4 : Couple et courant d'une machine asynchrone

Question A1.8 :

- A l'aide du document ressource DR3, déterminer le couple moyen d'accélération.
- En déduire le temps d'accélération moyen du système en charge.

Remarque : Si le temps d'accélération est supérieur à 2 secondes, il faut choisir une autre référence pour le moteur, puis refaire les calculs pour vérifier qu'il respecte bien la contrainte sur le temps d'accélération.

Il est envisagé de fonctionner en mode dégradé (pannes de quelques rouleaux non consécutifs dues, par exemple, à des déclenchements de sécurité moteur). Seuls N' rouleaux des N qui sont en contact fonctionnent. La durée de la phase d'accélération est alors autorisée jusqu'à 3 secondes.

Question A1.9 :

- Donner, pour le moteur retenu, une minoration de N' , pour que la phase d'accélération ne dure pas plus de 3 secondes. Cette minoration sera donnée en fonction de la longueur de la barre L .

- **Application numérique :**

Combien de rouleaux au minimum doivent fonctionner pour $L=1,8\text{ m}$ puis pour $L=60\text{ m}$?

A2. Asservissement du déplacement de la tronçonneuse

Cette partie s'intéresse à l'étude de l'asservissement en position des déplacements de la tronçonneuse pour la découpe des barres. Un asservissement hydraulique a été adopté. L'étude sera menée selon les étapes suivantes :

- a) Introduction du principe du vérin hydraulique symétrique (questions A2.1, A2.2 et A2.3).
- b) Détermination des fonctions de transfert et de la boucle d'asservissement (questions A2.4, A2.5, A2.6, A2.7, A2.8 et A2.9).
- c) Etude de la précision et de la stabilité (questions A2.10, A2.11 et A2.12).
- d) Introduction d'un filtre passe-bas pour améliorer les performances de l'asservissement (question A2.13 à A2.15).

Un premier schéma simplifié du système de positionnement est donné ci-dessous (figure A5).

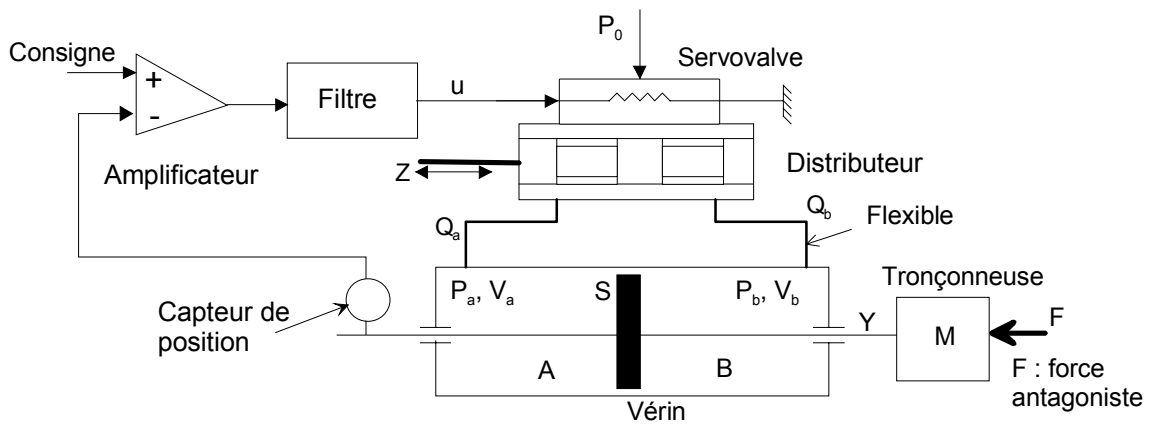


Figure A5 : Système d'asservissement électro-hydraulique

Notations :

- P_0 : pression de service ;
- V_a et V_b : volumes respectifs des chambres A et B du vérin
- P_a et P_b : pressions respectives dans les chambres A et B du vérin.
- Q_a et Q_b : débits respectifs des fluides alimentant les chambres A et B du vérin.
- f : coefficient de frottement visqueux pour les déplacements suivant Y ;
- M : masse totale des éléments en mouvement ;
- F : force antagoniste au déplacement du vérin exercée au niveau de la tronçonneuse ;
- S : section active du vérin.

Question A2.1 :

Donner les raisons qui plaident pour un asservissement hydraulique au lieu d'un asservissement par moteur électrique ? (Les réponses concises seront appréciées).

Etude d'un vérin hydraulique asservi.

La figure A6 illustre la commande d'un vérin symétrique par un distributeur D.

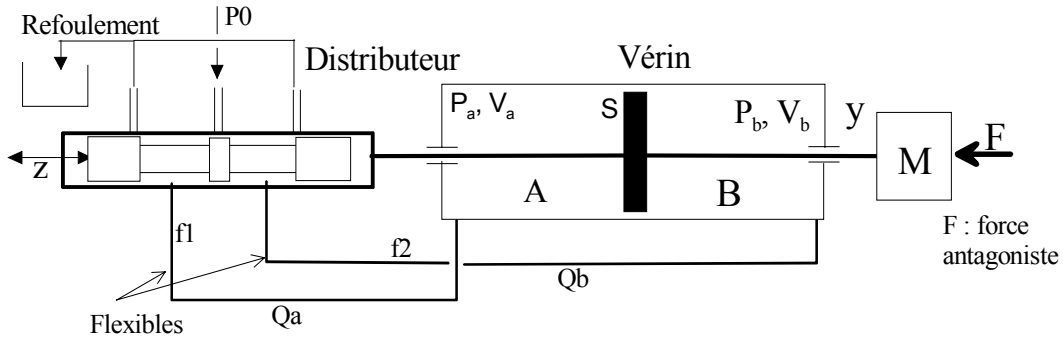


Figure A6 : Vérin hydraulique à commande directe

Question A2.2 :

Expliquer de manière qualitative le fonctionnement de l'ensemble quand le tiroir du distributeur se déplace d'une certaine quantité z.

Le débit maximum permis par le distributeur est $Q_{max} = 60$ l/min (litres par minute).
et la section active du vérin est $S = 10$ cm².

Question A2.3 :

Calculer la vitesse maximale de déplacement selon Y.

Etablissement de la fonction de transfert {vérin + charge}

Le système {vérin + charge} peut être considéré comme un système à deux entrées (Q et F) et à une sortie (Y). Avec :

- Q : le débit des fluides dans les flexibles f1 et f2,
- F : la force antagoniste exercée au niveau de la tronçonneuse,
- Y : le déplacement de la tronçonneuse.

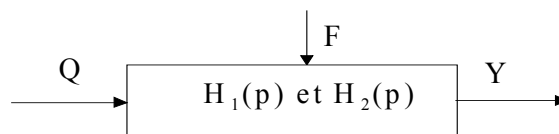


Figure A7 : Système {vérin + charge}

Hypothèses :

- L'huile est compressible ce qui se traduit par la loi suivante :

$$\frac{\Delta V}{V} = -\frac{\Delta P}{B}$$

Avec :

V : le volume du fluide,
P : la pression,
B : le module de compressibilité.

- Le vérin est symétrique.
- Le distributeur est parfaitement symétrique. Ceci implique qu'au repos et en l'absence de charge extérieure, les pressions dans les deux chambres A et B du vérin restent voisines de $P_0/2$.

Question A2.4 :

- En écrivant que les variations des volumes dans les chambres A et B sont dues, d'une part, au débit du fluide et d'autre part, à la compressibilité de ce dernier, donner l'expression des débits Q_a et Q_b dans les chambres A et B du vérin.
- En utilisant l'hypothèse de symétrie ($V = V_a = V_b$ et $Q = Q_a = -Q_b$), donner une expression du débit Q en fonction de dy/dt , $d(P_a - P_b)/dt$, V , B et S .

Equation des forces :

L'ensemble {vérin + charge} est considéré comme infiniment rigide.

Question A2.5 :

Appliquer le principe fondamental de la dynamique au déplacement de la masse M selon l'axe du vérin.

Question A2.6 :

Déduire des deux questions précédentes la relation différentielle liant les trois grandeurs Q , Y et F .

Question A2.7 :

Par application de la transformée de Laplace, montrer que cette relation peut s'écrire, en considérant les conditions initiales comme nulles, sous la forme :

$$Y(p) = H_1(p) * Q(p) + H_2(p) * F(p)$$

Avec :

$$H_1(p) = \frac{C}{p(1 + \frac{f}{r_h} p + \frac{m}{r_h} p^2)} \quad H_2(p) = \frac{D}{1 + \frac{f}{r_h} p + \frac{m}{r_h} p^2}$$

et

$$r_h = 2BS^2/V \quad C = 1/S \quad D = V/2BS^2 = 1/r_h$$

Valeurs numériques :

$S = 10 \text{ cm}^2$ (section active du vérin)

$M = 3000 \text{ kg}$ (masse en mouvement)

$V = 72 \text{ cm}^3$ (volume d'une chambre a ou b)

$P_0 = 100 \text{ bar}$ (pression d'alimentation) (1 bar = 10^5 Pascal)

$B = 10000 \text{ bar}$ (module de compressibilité de l'huile)

$f = 1000 \text{ N/ms}^{-1}$ (coefficient de frottement)

$H_1(p)$ peut s'écrire sous la forme canonique suivante :

$$H_1(p) = \frac{C}{p \left[1 + \frac{2\zeta p}{\omega_0} + \frac{p^2}{\omega_0^2} \right]}$$

ω_0 étant la pulsation propre de l'ensemble {vérin + charge} et ζ son amortissement.

Question A2.8 :

Donner les expressions littérales puis les valeurs numériques de ω_0 et de ζ .

Que penser des valeurs numériques trouvées ?

Etablissement de la boucle d'asservissement de position :

Le distributeur mécanique a été remplacé par un distributeur à commande électrique proportionnelle (cf. figure A5). La position Y est mesurée par un capteur de position avec un gain k . D'autre part, sont introduits un gain amplificateur A et un filtre $\varphi(p)$ afin de pouvoir optimiser les performances de l'asservissement.

La fonction de transfert de la servovalve est assimilée à un gain K_2 entre la tension de commande u et le déplacement du distributeur z ($z = K_2 \cdot u$).

Le fonctionnement est en dehors des plages de saturation. Dans ce cas le distributeur n'introduit pratiquement pas de retard et sa fonction de transfert se réduit à un gain K_d :

$$K_d = \frac{Q}{z} \quad \begin{array}{l} Q : \text{débit du fluide qui s'écoule dans le vérin} \\ z : \text{déplacement du tiroir du distributeur} \end{array}$$

La boucle d'asservissement peut alors être présentée sous la forme suivante (figure A8) :

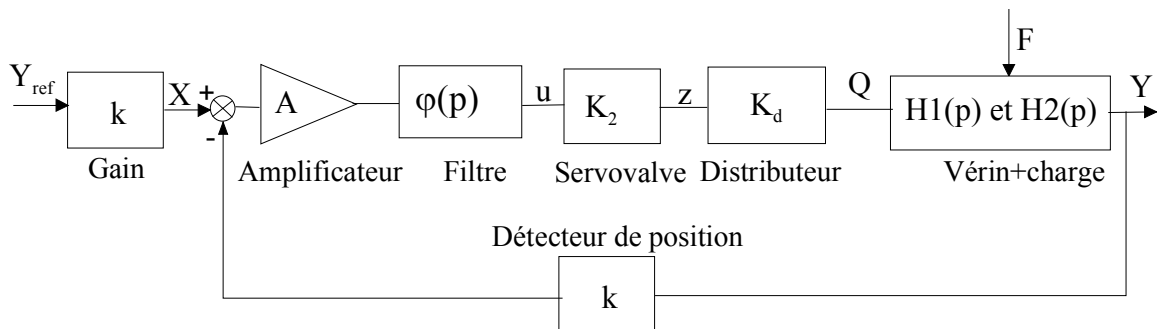


Figure A8 : Boucle d'asservissement électro-hydraulique

Valeurs numériques :
 $K_d = 3333 \text{ cm}^2/\text{s}$
 $K_2 = 0,03 \text{ cm/V}$
 $k = 50 \text{ V/m}$

Question A2.9 :

Déterminer la relation qui lie les trois grandeurs Y_{ref} , F et Y .

Etude de la précision

Dans cette question la fonction de transfert du filtre $\varphi(p)$ est égal à 1 ($\varphi(p) = 1$).

Question A2.10 :

- **Etude de la précision statique en poursuite** : Considérant que la variation de F est nulle, quelle est l'erreur statique en réponse à un échelon de consigne de Y_{ref} ?
- **Etude de la précision en régulation** : Partant d'un système à l'équilibre où la position (Y) est égale à la consigne (Y_{ref}), on applique un échelon de force F d'amplitude F_0 . Quelle est en régime permanent, la variation de Y consécutive à l'application de F_0 ? Qu'en déduire pour la précision ?

Etude de la stabilité

Pour étudier la stabilité du système, il est possible d'appliquer le critère du revers.

Le document ressource DR 4 donne, dans le plan de Black, les lieux de transfert des fonctions de 3^{ème} ordre du type :

$$F(j\omega) = \frac{1}{\frac{j\omega}{\omega_0} (1 + 2\zeta \frac{j\omega}{\omega_0} + (\frac{j\omega}{\omega_0})^2)}$$

Question A2.11 :

- Etudier la stabilité du système bouclé.
- Montrer que les instabilités pourraient se produire au voisinage de la pulsation ω_0 .
- En déduire les précautions qu'il faut prendre lors des phases de tronçonnage ?

Pour la suite de l'étude, F est considérée comme nulle ($F=0$).

Question A2.12 :

En utilisant le résultat de la question précédente, déterminer la plage de variation du gain de l'amplificateur A pour que le système soit stable.
Calculer la valeur de A pour avoir une marge de gain de 6 dB.

Introduction d'un filtre passe-bas

La plage de variation de A est jugée trop réduite (dynamiques trop lentes). Alors, pour élargir cette plage et améliorer les performances de l'asservissement, un filtre passe-bas a été introduit dans la boucle afin de couper les pulsations dangereuses autour de ω_0 . Le filtre choisi est constitué de deux filtres passe-bas du second ordre du type Butterworth montés en série. La figure A9 donne la constitution de ce filtre.

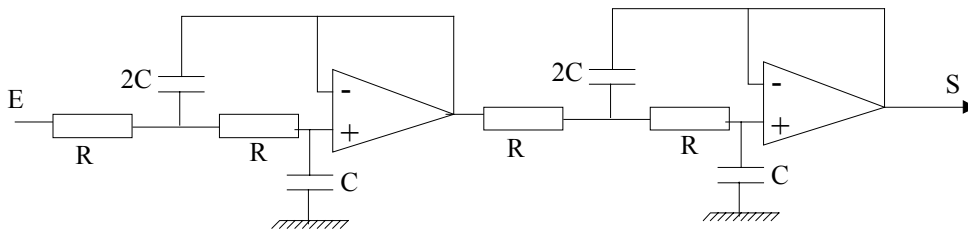


Figure A9 : Filtre passe-bas du 4ème ordre

La fonction de transfert du filtre est :

$$\frac{S}{E} = \frac{1}{\left(1 + \sqrt{2} \frac{p}{\omega_{cf}} + \frac{p^2}{\omega_{cf}^2}\right)^2} \quad \text{Avec : } \omega_{cf} = \frac{1}{RC\sqrt{2}}$$

Question A2.13 :

Sur le document réponse 1, faire un tracé asymptotique de la réponse fréquentielle (en gain et en phase) de ce filtre dans le plan de Bode.

La pulsation de coupure ω_{cf} du filtre est choisie égale à ω_0 , de telle manière à couper les pulsations gênantes pour la stabilité.

Donc pour la suite : $\omega_{cf} = \omega_0$

Question A2.14 :

Ecrire la fonction de transfert du système asservi en tenant compte de la fonction de transfert du filtre. Quel est le dénominateur de la fonction de transfert en boucle fermée du système asservi ?

Les expressions deviennent trop complexes pour continuer à faire les calculs à la main, alors l'étude a été poursuivie en utilisant un logiciel de simulation. Le document ressource DR5, donne les graphiques de quelques résultats de simulation.

Question A2.15 :

- En utilisant le graphique (a) du document ressource DR5, que dire de la stabilité du système sans filtre et avec un gain de l'amplificateur A égal à 1.
- En utilisant le graphique (b) du document ressource DR5, donner des estimations de la marge de gain et de la marge de phase du système avec filtre et avec un gain de l'amplificateur A égal à 1.
- En utilisant le graphique (c) du document ressource DR5, proposer un choix optimal pour le gain de l'amplificateur A.

Partie B : automatisation séquentielle

B.1 Automatisation (partielle) de la ligne de tri des chutes et échantillons :

La partie de l'installation est schématisée sur le document ressource DR6.

Fonctionnement : Le skip 1 permet la récupération des chutes et échantillons provenant de la trémie située sous la lame. Il les fait remonter jusqu'à la position haute. Si le skip2 est présent en position initiale, la trappe du skip1 est ouverte provoquant le déchargement des pièces dans le skip2. Celui-ci se déplace horizontalement jusqu'à arriver devant la benne où il doit décharger.

Les skips n'ont pas d'équipement embarqué. Les fonds sont inclinés, permettant une évacuation des pièces par gravité. Les trappes munies de crochets sont manœuvrées par des bras nus par vérins à chaque station. Une temporisation permet de régler les durées d'ouverture des trappes et clapet.

Les déplacements sont assurés par l'intermédiaire d'une transmission par chaînes actionnées par moto variateurs alternatifs. Le démarrage s'effectue en grande vitesse (GV) suivant une rampe d'accélération programmée. A l'approche de la destination, un passage en petite vitesse permet d'arrêter les mobiles avec une précision suffisante.

Dans la configuration actuelle, la ligne de tri de chutes et d'échantillons fonctionne en mode manuel. Les opérateurs, en fonction des indications de la supervision, commandent les différents actionneurs.

Ce mode de fonctionnement est générateur d'erreurs et de pertes de temps importantes, aussi, il a été décidé d'automatiser ce fonctionnement.

Question B1.1 :

Elaborer un grafset (G1), en utilisant les entrées/sorties recensés dans le document ressource DR7, décrivant le fonctionnement des skips avec l'objectif d'optimisation du temps de cycle.

Le contrôle des positions de ralentissement et d'arrêt est assuré par des détecteurs pour le skip1 et par une solution utilisant un codeur incrémental (n impulsions / tour) en bout d'arbre moteur pour le skip2. La gestion du sens de déplacement, du passage en PV et l'arrêt, avec une initialisation à chaque retour en position origine est assurée par un module de commande dénommé "module de gestion du déplacement du skip2", dont les entrées-sorties sont rappelées document ressource DR8.

Question B1.2 :

Décrire le fonctionnement du module de gestion du déplacement du skip2 avec le(s) langage(s) de spécification de votre choix en utilisant uniquement les entrées / sorties recensées dans le document ressource DR8.

B.2 Ligne d'aménagement des produits :

Le grafcet (document ressource DR9) spécifie le cycle d'amenée des barres de la sortie des laminoirs vers la ligne de tronçonnage. Durant ce trajet, une mesure de longueur est effectuée en vue du calcul et l'optimisation des coupes. Une mesure de température par pyromètre PY1B est également réalisée pour intégrer les nécessaires corrections de longueur.

Compte tenu de la spécificité des produits, la mesure de longueur est réalisée de manière indirecte (document ressource DR10). Les barres défilent devant deux réseaux de cellules photo électriques :

- un premier de 10 cellules repérées A0 à A9 espacées de 5 mètres et permettant une détermination à 5 mètres près ;
- un second de 6 cellules repérées C0 à C5 espacées de 1 mètre et permettant une détermination plus fine.

La longueur restante est calculée à partir de la vitesse **réelle** de défilement (valeurs des vitesses théoriques : GV : 2,2 m/s, PV : 1 m/s), pour tenir compte des variations de réglage et de glissement sur les rouleaux d'entraînement.

Notation : les variables, si besoin est, seront repérées par un indice relatif à la cellule d'entrée (par exemple v_{C1} : vitesse de défilement à partir de C1).

Question B 2.1 :

Décrire, avec l'outil (les outils) de votre choix, une solution permettant la détermination de la longueur L d'une barre.

B.3 Zone de coupe :

Le document ressource DR11 présente d'une manière globale le processus de coupe.

Structuration de la P. C.

Une spécification partielle d'un cycle de coupe et de déplacement de la butée est donnée par le grafcet du document ressource DR12. Toutefois, il est décidé de restructurer la spécification de manière à faciliter l'implantation dans deux parties commandes repérées PC2 et PC3 (document ressource DR13) qui communiquent par coupleur de réseau local.

Question B 3.1 :

Proposer un découpage du grafcet du document DR12, dans les deux parties commandes PC1 et PC2 en respectant les E/S fournies (document DR13) et faisant notamment apparaître comment sont assurées les synchronisations entre les graphes.

Sûreté de fonctionnement : défaillance d'actionneur et de détecteurs.

La nature des produits traités (produits chauds plastiques) rend leur manutention délicate, notamment en cas d'incident (refroidissement, plasticité des barres...). Aussi la recherche d'un fonctionnement sûr est elle une exigence forte.

La recherche de techniques génériques de détection des défaillances est abordée à travers l'étude d'un des points sensibles comme l'activation de la butée et son contrôle (zone grisée 1 du document ressource DR12).

Une première étude porte sur les effets d'une défaillance soudaine de la partie opérative à travers notamment la non réalisation à la sollicitation de la fonction "activer la butée." En cas d'anomalie, un arrêt de la machine est admis.

Question B 3.2 :

Préciser les incidences d'une non réalisation de la fonction "Activer la butée".

La détection de la non exécution de la fonction est effectuée au moyen de la technique du temps enveloppe (chien de garde).

Question B 3.3 :

Décrire une solution avec l'outil de votre choix, qui permette la détection de l'anomalie. Cette procédure doit viser à éviter la propagation de la panne et avertir les opérateurs en vue d'un acquittement et de la mise en œuvre d'une procédure de reprise qui n'est pas à étudier.

Une seconde étude concerne la chaîne d'acquisition à travers les cas classiques du collage à 0 (information absente alors qu'elle devrait être présente) ou à 1 (information toujours présente).

Question B 3.4 :

Préciser les incidences d'une défaillance de la détection butée activée (collage à 0 ou à 1).

Question B 3.5 :

Décrire une solution, avec l'outil de votre choix, qui permette la détection le plus rapidement possible des anomalies pour les deux cas considérés. Cette procédure doit viser à éviter la propagation de la panne et avertir les opérateurs en vue d'un acquittement et de la mise en œuvre d'une procédure de reprise qui n'est pas à étudier.

Validation par le graphe des états.

Des préoccupations de gain de temps lors des changements de position du chariot porte butée conduisent à envisager la nouvelle mise en position de la butée en même temps que l'évacuation de la barre coupée et l'amenée de la barre restante pour une nouvelle coupe, comme proposé sur le document ressource DR12.

La validation du grafcet proposé est réalisée à partir de la recherche des graphes des états. Le document ressource DR14 rappelle brièvement quelques aspects de la technique proposée.

Question B 3.6 :

Pour la partie limitée à la zone grisée 2; établir le graphe des états correspondant à la structure.

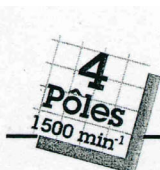
Question B 3.7 :

Rechercher l'ensemble des situations conflictuelles correspondant aux :
- cas 1 : barre coupée toujours présente sous la butée (non évacuée) ;
- cas 2 : butée non descendue et arrivée d'une nouvelle barre avec le risque de passage sous la butée.

Question B 3.8 :

Pour le cas 2 uniquement, proposer une ou plusieurs modification(s) (structurelles, logiques, temporelles,..) de la spécification donnée pour interdire l'accès à (aux) situation(s) dangereuse(s), tout en recherchant le meilleur temps de cycle.

MOTEURS ASYNCHRONES CARACTERISTIQUES ELECTRIQUES



IP 55
Cl. F - ΔT 80 K
MULTI-TENSION

RESEAU Δ 230 / Y 400 V ou Δ 400 V 50 Hz

Type	Puissance nominale à 50 Hz	Vitesse nominale	Intensité nominale	*Facteur de puissance	* Rendement	Courant démarrage / Courant nominal	Couple démarrage / Couple nominal	Couple maximal / Couple nominal	**Courbe de couple	Moment d'inertie	Masse
	P_N kW	N_N min ⁻¹	$I_N(400V)$ A	$\cos \varphi$	η	I_D / I_N	M_D / M_N	M_M / M_N	N°	J kg.m ²	IM B3 kg
LS 56 L	0.09	1370	0.36	0.7	55	2.9	2	2.2	2	0.00025	4
LS 63 E	0.12	1375	0.44	0.77	56	3	2.2	2.2	2	0.00035	4.8
LS 63 E	0.18	1410	0.62	0.75	63	3.7	2.3	2.3	2	0.000475	5
LS 71 L	0.25	1435	0.7	0.74	70	4.6	2.3	2.7	2	0.000675	6.4
LS 71 L	0.37	1425	1.12	0.7	70	4.4	2.3	2.6	2	0.00085	7.3
LS 71 L	0.55	1390	1.65	0.75	66	3.7	1.9	2.2	2	0.0011	8.3
LS 80 L	0.55	1400	1.6	0.74	68	4.4	2.1	2.2	3	0.0013	9
LS 80 L	0.75	1400	2	0.77	69	4.5	2.4	2.5	3	0.0018	10.5
LS 80 L	0.9	1425	2.3	0.73	73	5.7	2.6	3.8	2	0.0024	11.5
LS 90 S	1.1	1415	2.7	0.79	75	5.2	2.1	2.6	3	0.0032	14
LS 90 L	1.5	1420	3.5	0.79	78	5.9	2.8	3	2	0.0039	15
LS 90 L	1.8	1410	4.1	0.82	79	5.7	2.5	2.6	2	0.0049	17
LS 100 L	2.2	1430	5.1	0.81	75	5.3	1.9	2.4	3	0.0039	19.5
LS 100 L	3	1420	7.2	0.78	77	5.1	2.3	2.5	3	0.0051	22
LS 112 M	4	1425	9.1	0.79	80	5.7	2.4	2.6	2	0.0071	26
LS 132 S	5.5	1430	11.9	0.82	82	6.3	2.4	2.5	3	0.0177	39
LS 132 M	7.5	1450	15.2	0.84	84	7.7	2.7	3.1	2	0.0334	56
LS 132 M	9	1450	18.4	0.83	85	7.8	3	3.4	1	0.0385	62
LS 160 M	11	1450	21.3	0.85	87.8	5.6	2.1	2.5	8	0.054	80
LS 160 L	15	1455	28.6	0.85	89.1	6.5	2.7	2.8	8	0.073	97
LS 180 MT	18.5	1455	35.1	0.85	89.6	6.7	2.8	2.9	8	0.089	113
LS 180 L	22	1460	41.7	0.85	89.7	6.3	2.6	2.7	8	0.122	135
LS 200 LT	30	1460	55	0.87	90.5	6.6	2.7	2.6	8	0.151	170
LS 225 ST	37	1475	67	0.86	92.7	6.8	2.4	2.6	8	0.23	205
LS 225 MR	45	1470	81	0.86	92.8	6.5	2.8	2.6	8	0.28	235
LS 250 MP	55	1480	99	0.85	94.1	6.7	2.6	2.5	8	0.75	340
LS 280 SP	75	1480	135	0.85	94.1	6.9	2.6	2.7	8	1.28	445
LS 280 MP	90	1480	162	0.85	94.6	7.6	2.9	2.9	8	1.45	490
LS 315 ST	110	1490	193	0.86	95.5	7.8	2.9	2.8	8	2.74	720
LS 315 MR	132	1485	234	0.85	95.6	7.3	2.8	2.5	8	2.95	785
LS 315 MR	160	1485	276	0.87	96.1	8.4	3.0	3.3	8	3.37	855

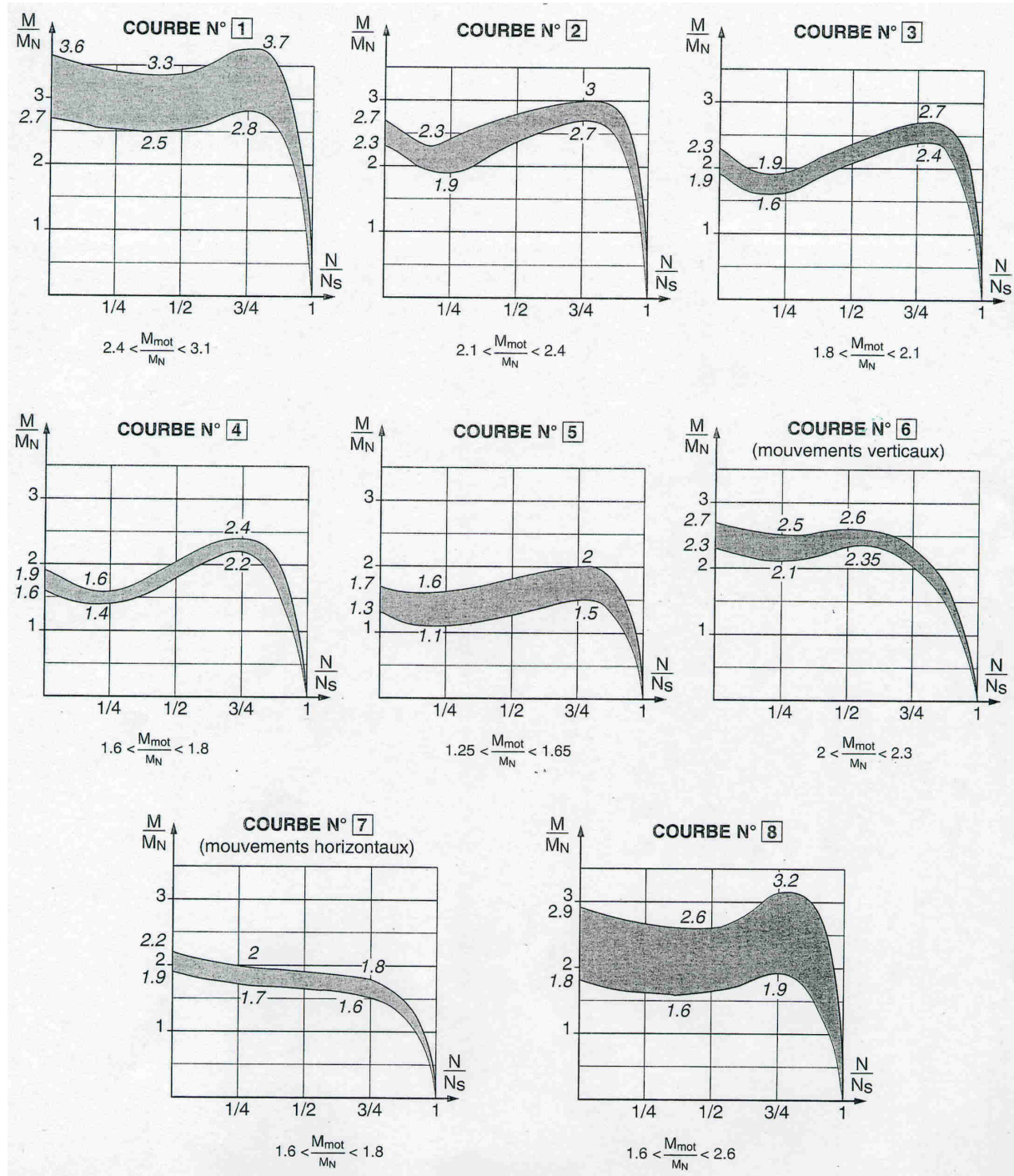
Nota : Extrait de la documentation Leroy Somer

CARACTERISTIQUES DYNAMIQUES DES MACHINES ASYNCHRONES

Les courbes ci-dessous donnent les couples caractéristiques en fonction de la vitesse pour les différents cas rencontrés.

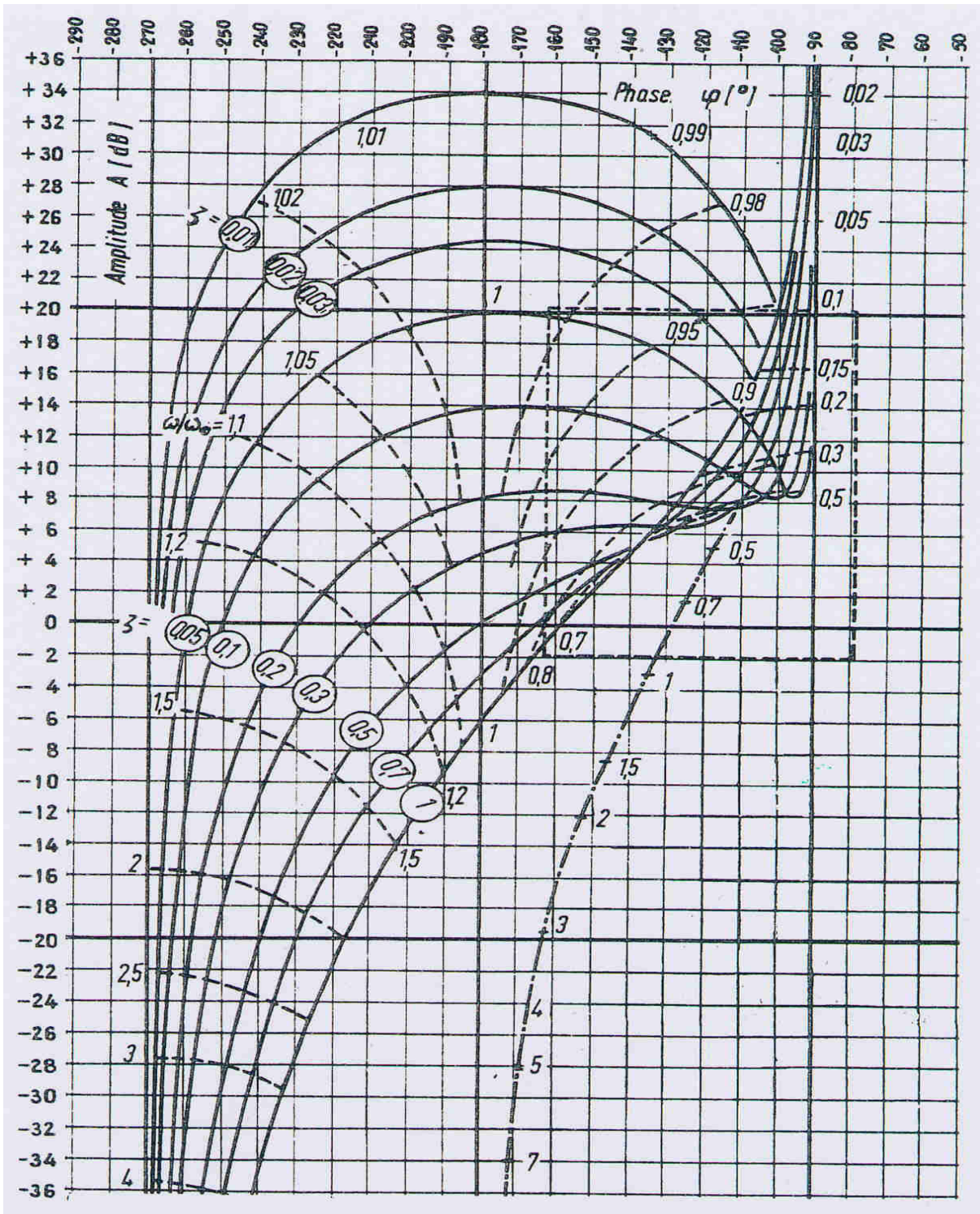
M_{mot} représente le couple disponible pendant le démarrage du moteur.

Les repères p des différentes courbes sont ceux indiqués dans le tableau récapitulatif des caractéristiques des moteurs du document ressource DR2.



Nota : Extrait de la documentation Leroy Some

LIEUX DE TRANSFERT DANS LE PLAN DE BLACK

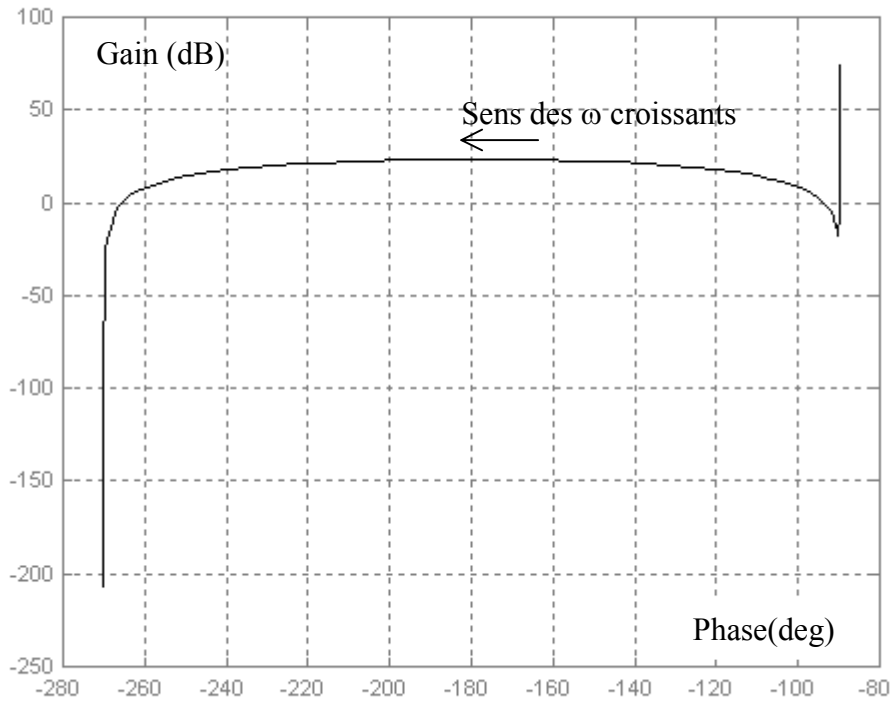


- (—————) Les courbes de 3^e ordre de la forme :
$$F(j\omega) = \frac{1}{\omega_0 \left(1 + 2\zeta \frac{j\omega}{\omega_0} + \left(\frac{j\omega}{\omega_0} \right)^2 \right)}$$

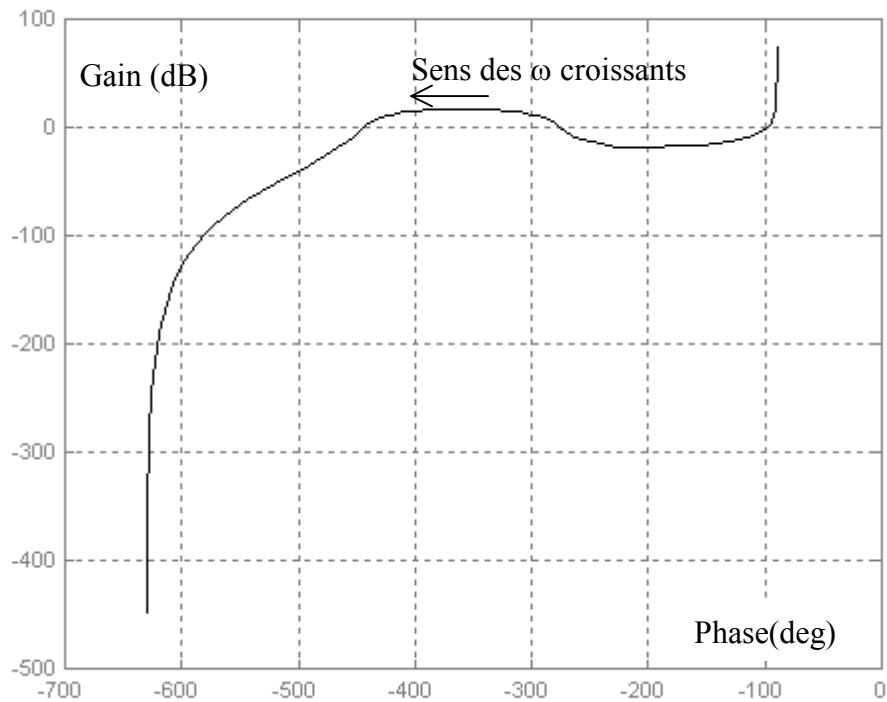
- (- - - -) Les courbes de 2^e ordre de la forme :
$$F(j\omega) = \frac{1}{\omega_0 \left(1 + \frac{j\omega}{\omega_0} \right)}$$

Les courbes en (- . - . -) donnent les lignes « Iso (ω/ω_0) »

LIEUX DE TRANSFERT DANS LE PLAN DE BLACK DE LA BOUCLE OUVERTE

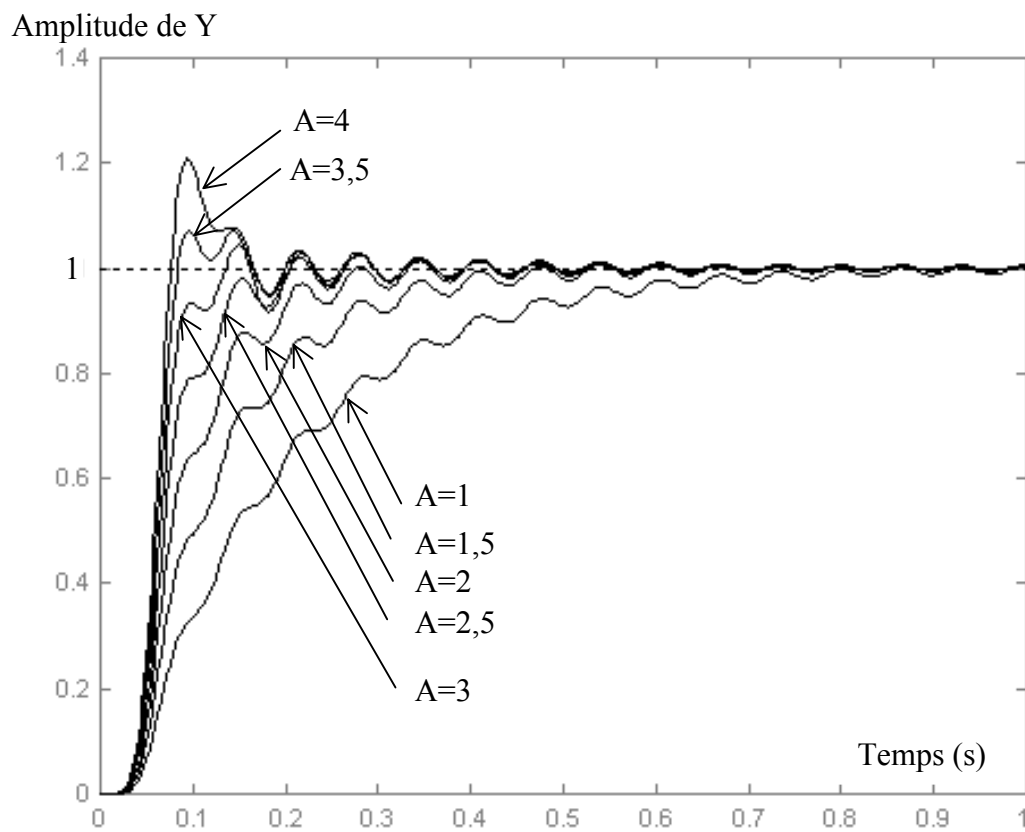


Graphique (a) : Système sans filtre
Lieux dans le plan de Black
de la fonction $[A \cdot k \cdot K_2 \cdot K_d \cdot H_1(j\omega)]$ avec $A=1$



Graphique (b) : Système avec filtre
Lieux dans le plan de Black
de la fonction $[A \cdot k \cdot K_2 \cdot K_d \cdot \varphi(j\omega) \cdot H_1(j\omega)]$ avec $A=1$

LIEUX DE TRANSFERT DANS LE PLAN DE BLACK DE LA BOUCLE OUVERTE



Graphique (c) : Réponse indicielle
Résultats des simulations du système complet avec le filtre.
Réponse temporelle à un échelon unité de Y_{ref} .

LIGNE D'EVACUATION DES CHUTES DES ECHANTILLONS (LDTRI)

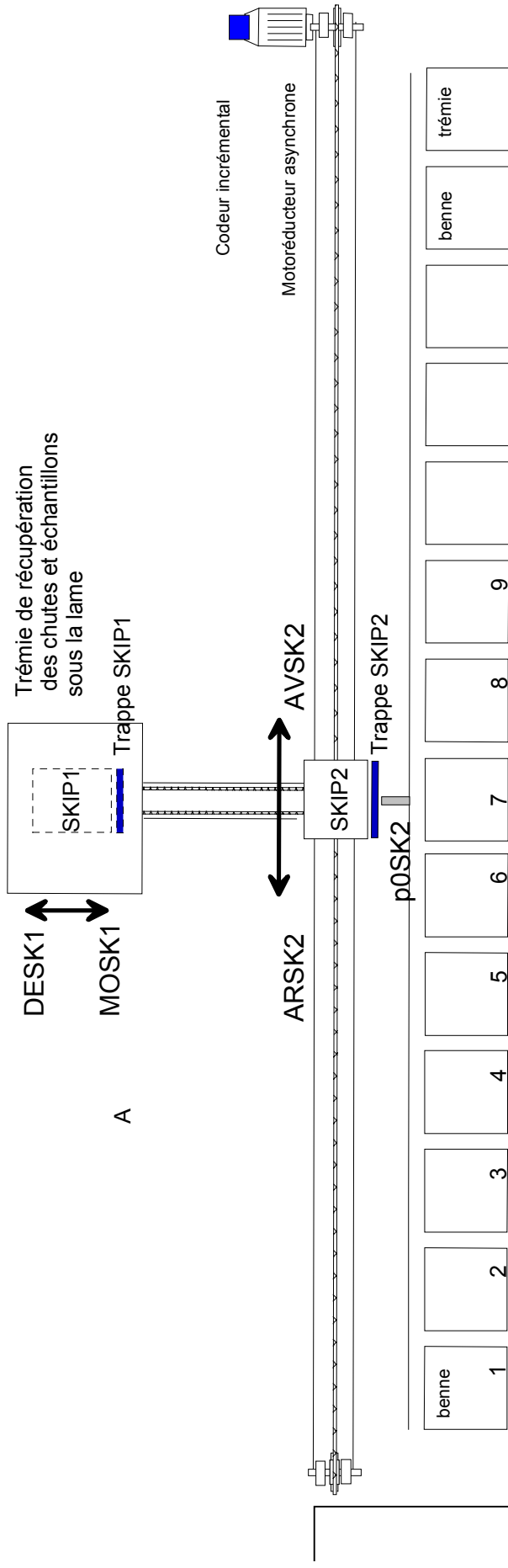


Figure 1 : Vue de dessus schématique de la ligne de tri des chutes et échantillons (LDTRI)

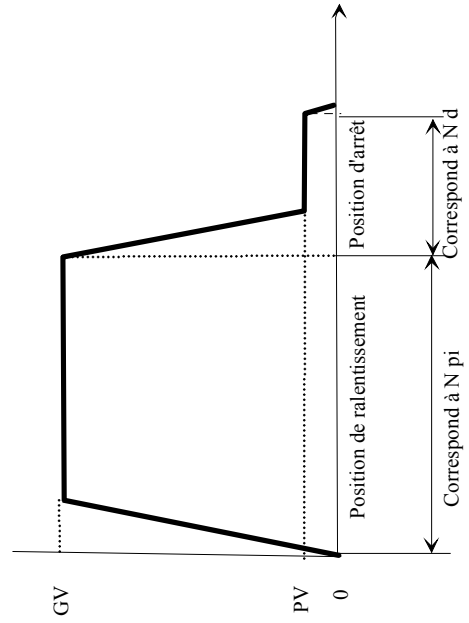


Figure 3 : Loi de commande en vitesse du skip2

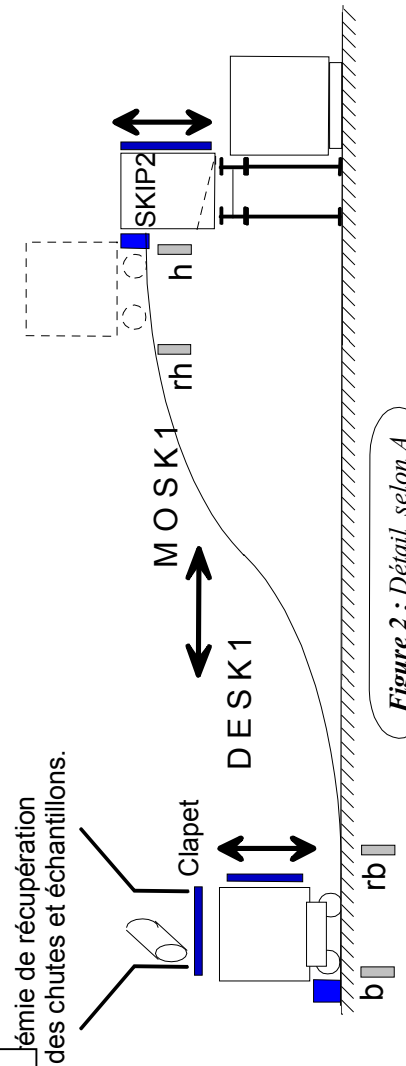
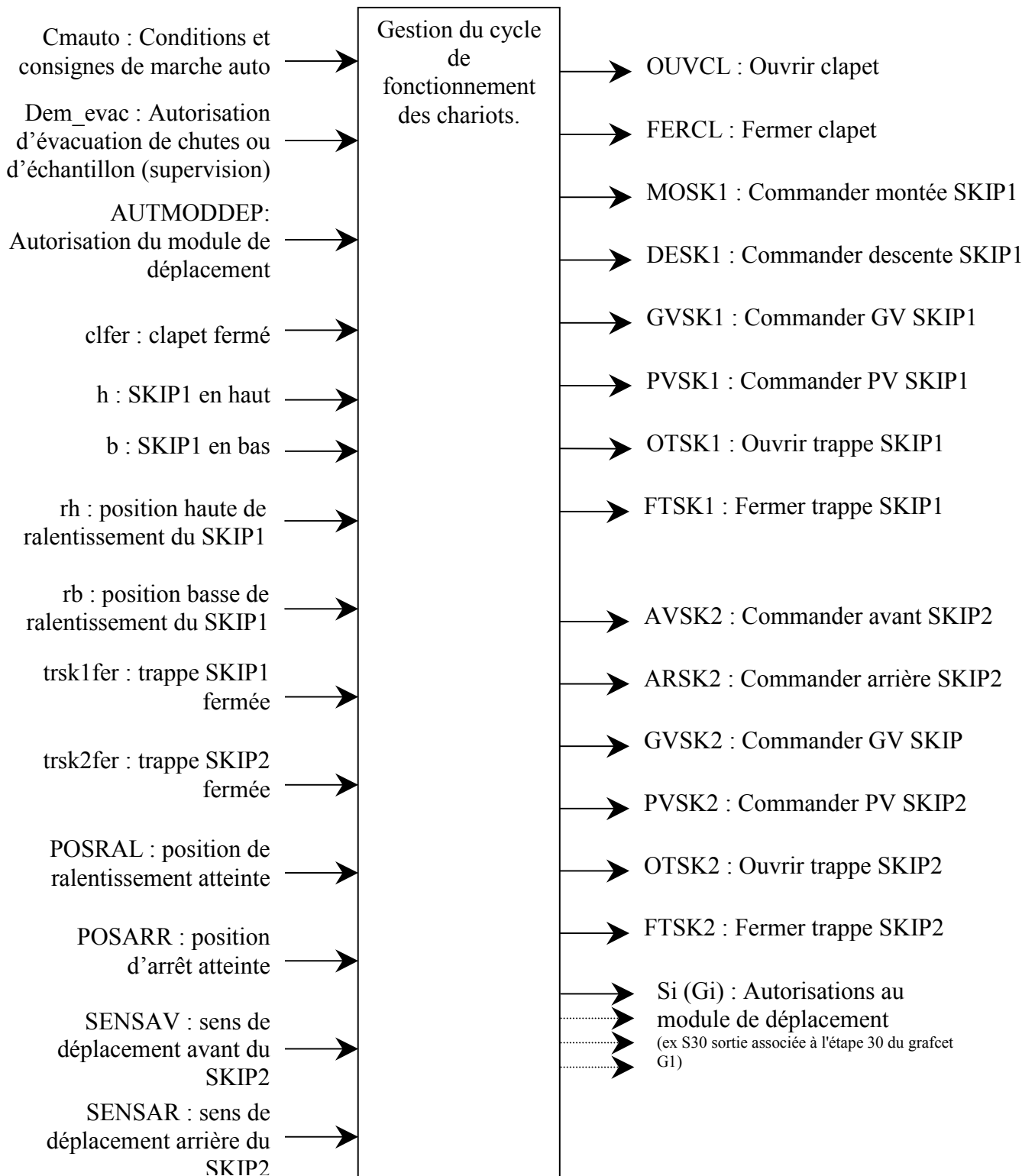


Figure 2 : Détail selon A

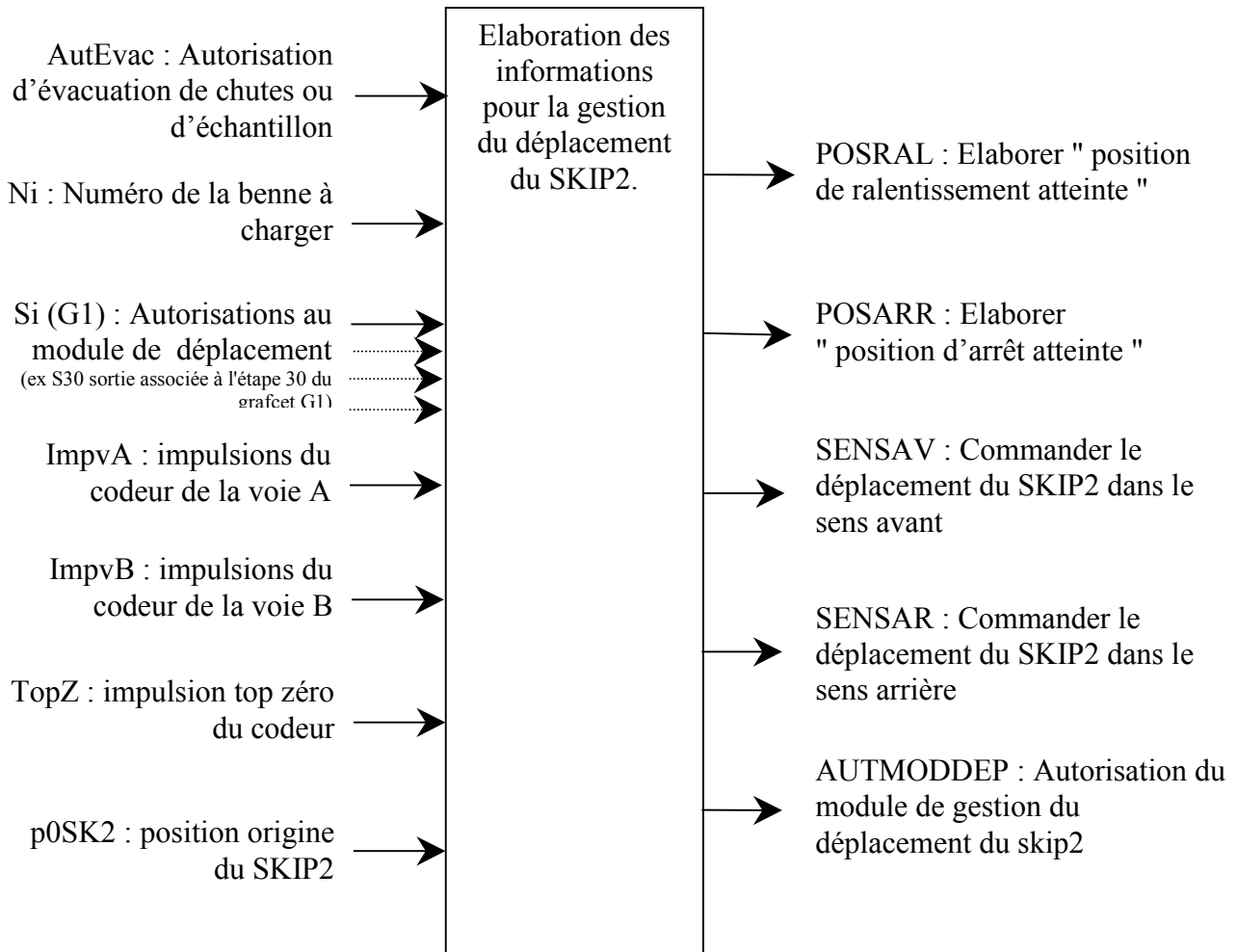
Remarque : pour des questions de lisibilité, les proportions n'ont pas été respectées.

BOITE FONCTIONNELLE (partielle) DE CARACTERISATION DES E/S DE LA COMMANDE LOGIQUE DE LA LIGNE DE TRI DES CHUTES ET ECHANTILLONS (LDTRI)



Nota : AUTMODDEP, POSRAL, POSARR, SENSAV, SENSAR sont des variables logiques élaborées par le module de déplacement du SKIP2 (document DR8).

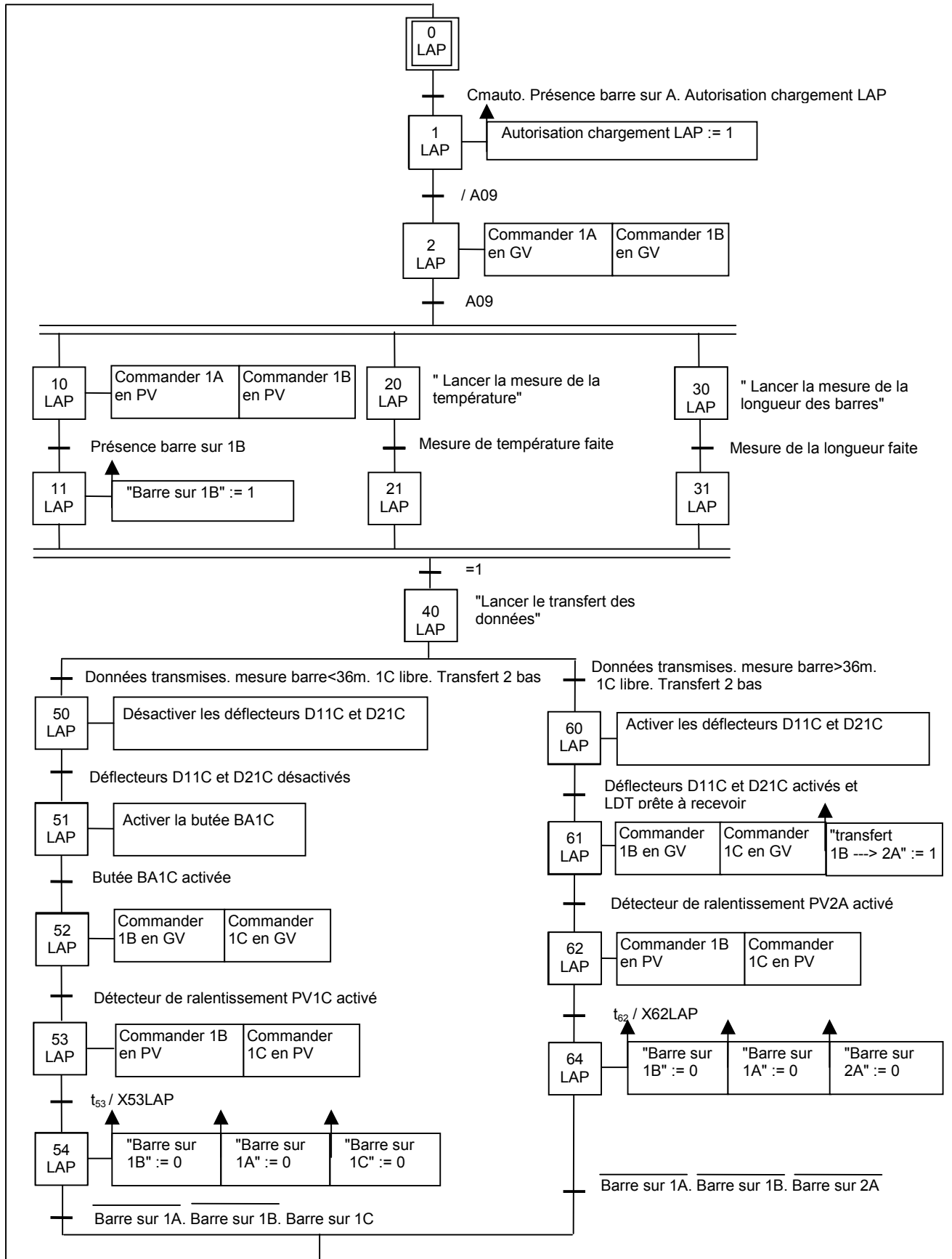
BOITE FONCTIONNELLE (partielle) DE CARACTERISATION DES E/S DU MODULE DE GESTION DU DEPLACEMENT DU SKIP2



Nota 1 : AUTMODDEP, POSRAL, POSARR, SENSAV, SENSAR sont des variables logiques.

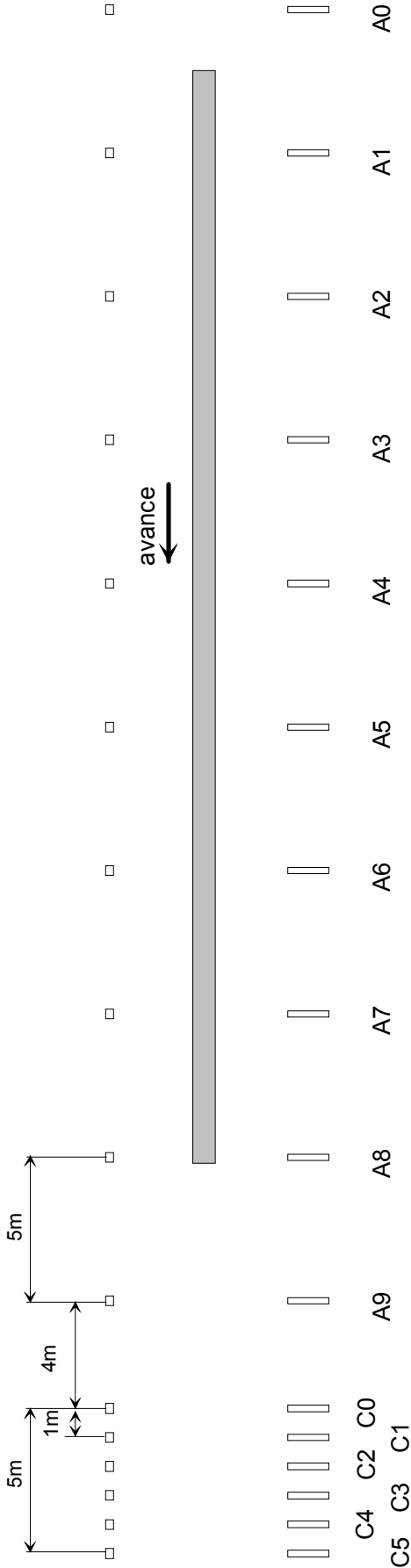
Nota 2 : A chaque numéro de la benne à charger Ni correspond la valeur en points des déplacements à effectuer Npi jusqu'à la position de ralentissement et la valeur en points de la plage de décélération Nd, constante pour tous les déplacements, (figure 3 : document ressource DR6).

GRAFNET DU CYCLE D'APPROVISIONNEMENT EN BARRES (ligne LAP)

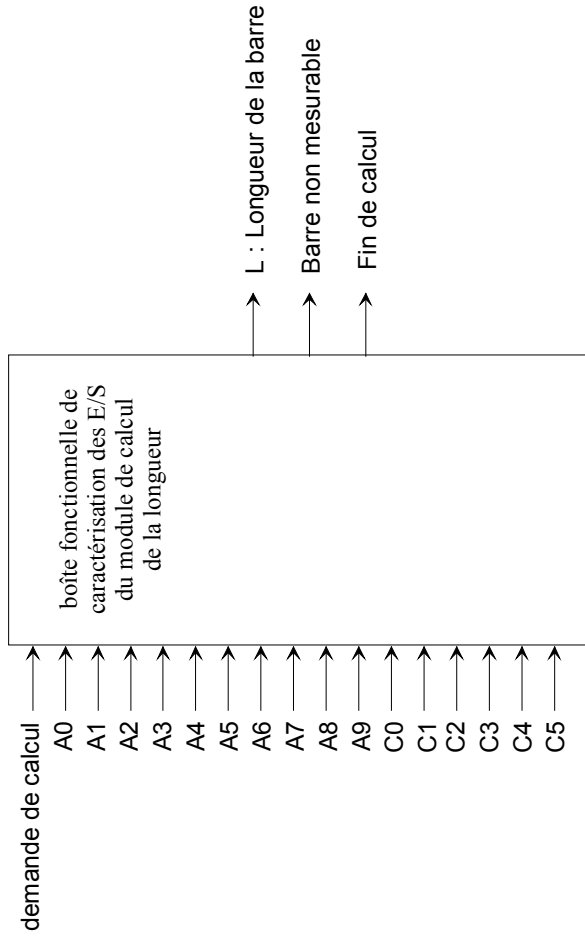


Nota : La représentation des actions mémorisées utilise le principe de l'affectation sur événement (activation des étapes).

Mesure de longueur

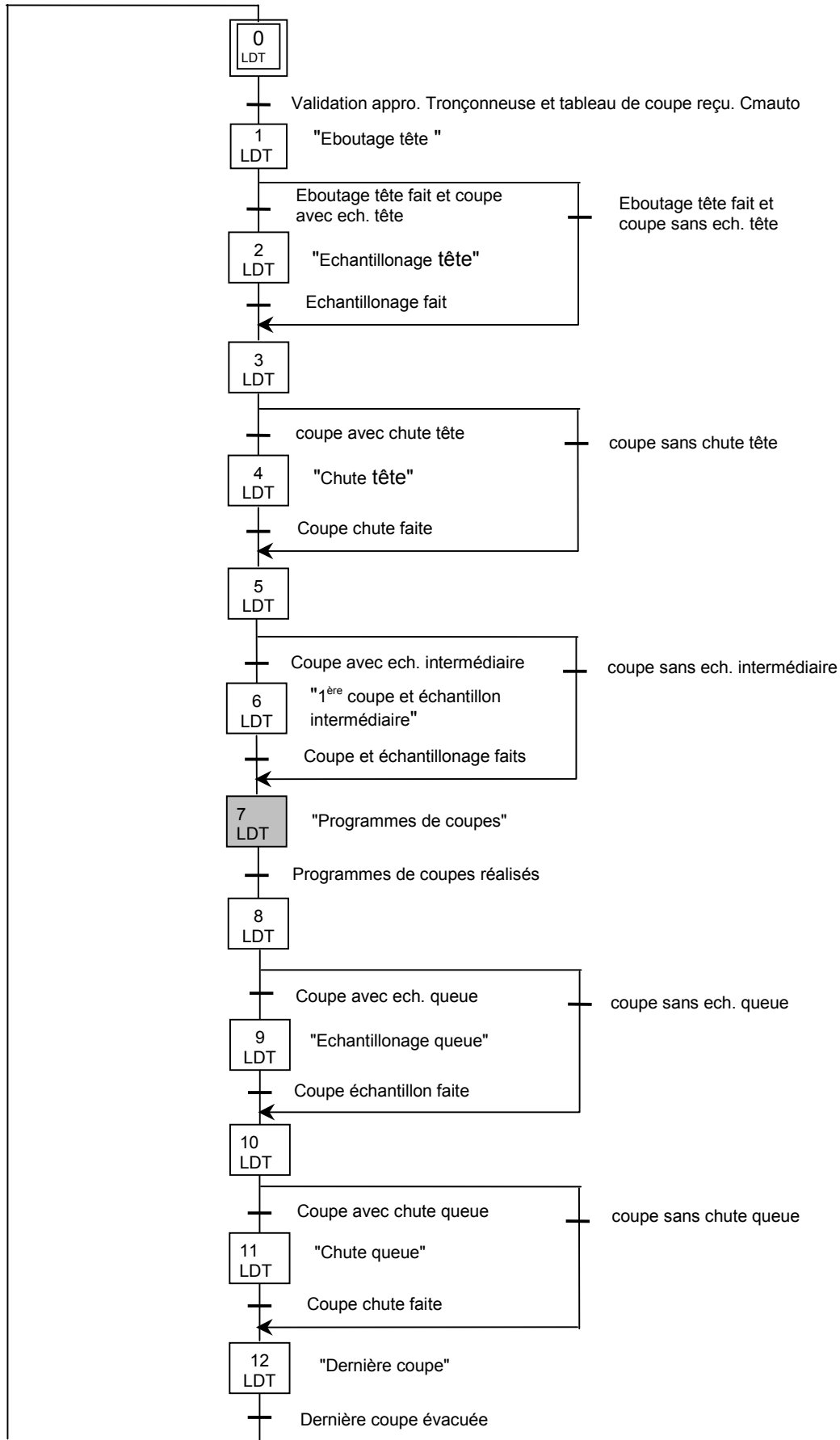


Les cellules A0 à C1 sont espacées de 5 mètres entre elles.
 Suivant le nombre de cellules activées, la longueur sera connue à 5 mètres près.
 Les cellules C0 à C5 sont espacées de 1 mètre entre elles.
 Par le même procédé, la longueur de la barre sera connue à 1 mètre près.

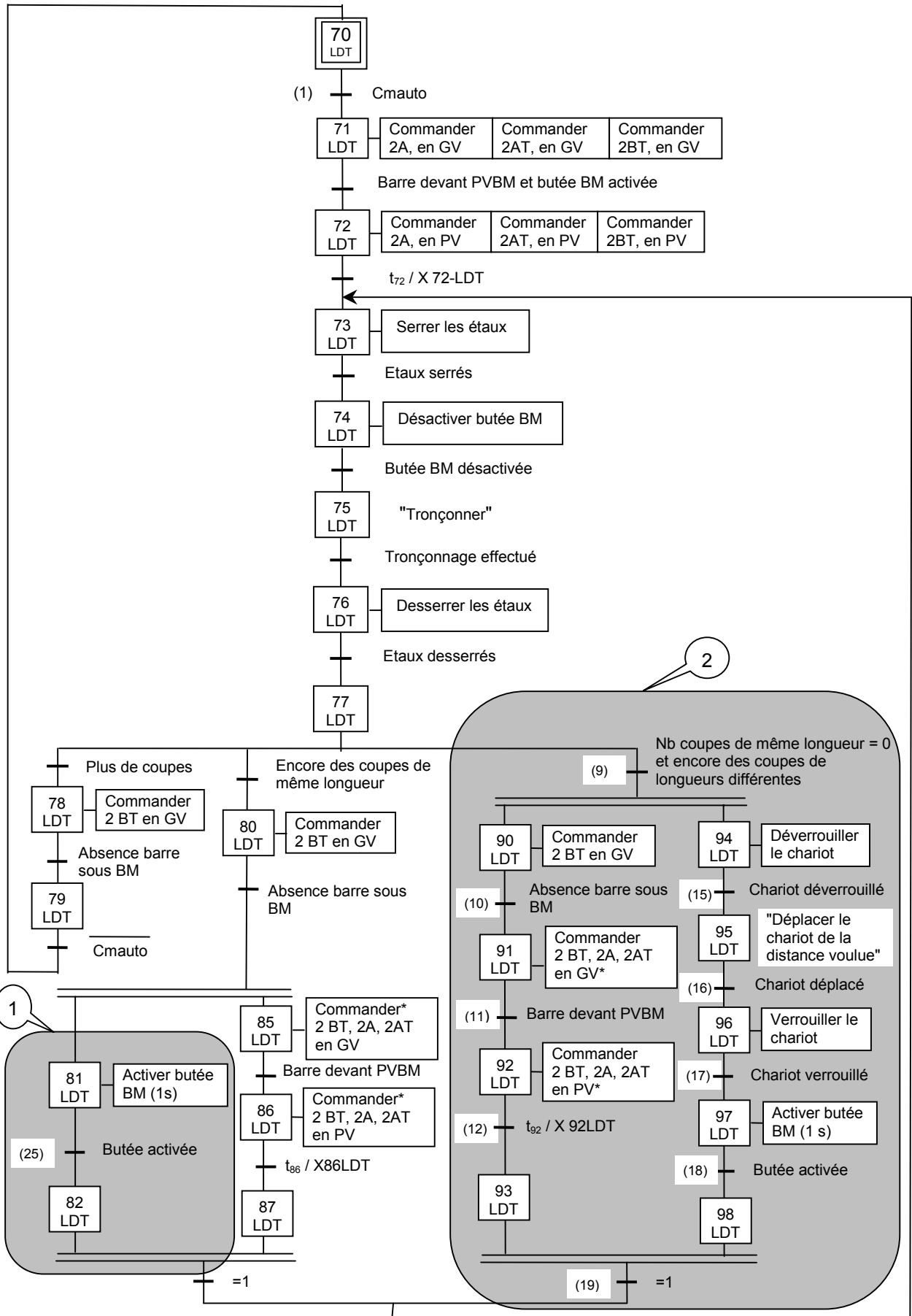


Remarques : pour des questions de lisibilité, les proportions n'ont pas été respectées.

GRAFNET GENERAL DU CYCLE DE COUPE DES BARRES (LIGNE LDT)

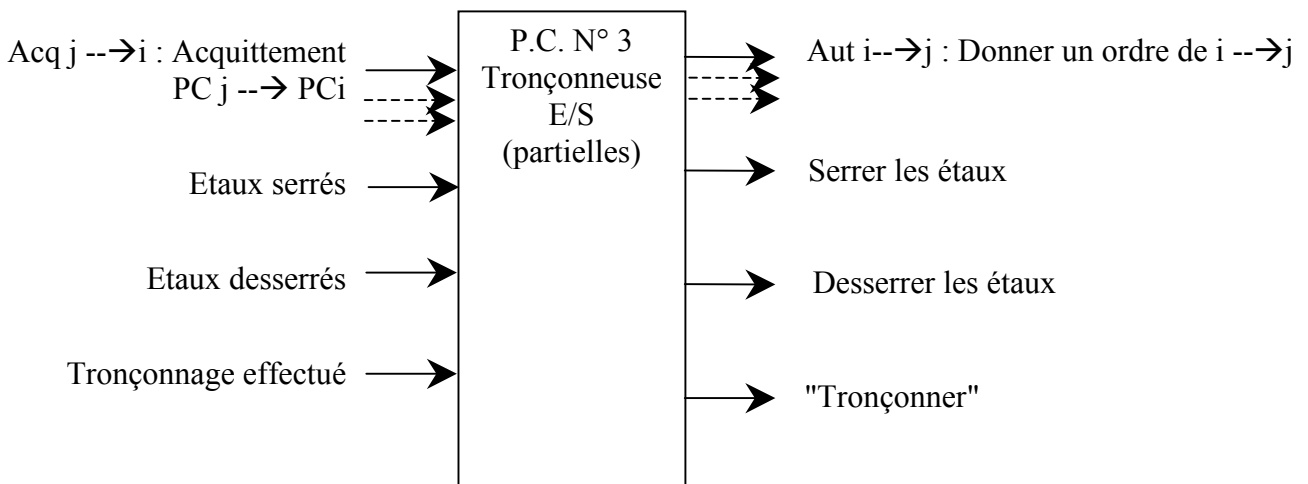
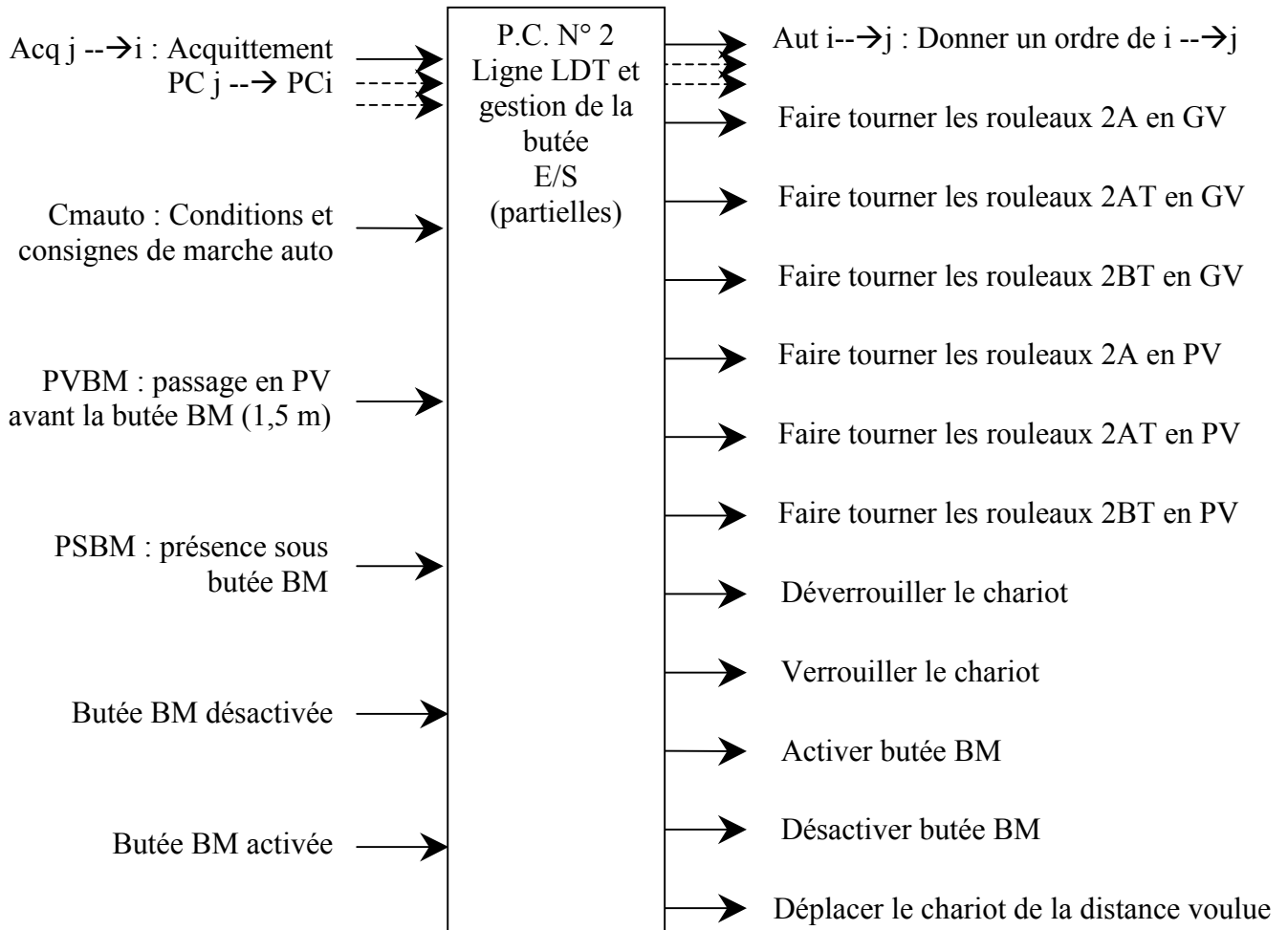


GRAFSET DU CYCLE DE DEPLACEMENT (partiel) DE LA BUTEE MOBILE (BM)



* Pour des questions de place, les actions ont regroupées sous la forme d'une seule

STRUCTURATION DES PARTIES COMMANDES



GRAF CET ET GRAPHE DES ETATS

Graphe d'états d'un grafcet³

Ce graphe décrit les différents états possibles d'un système et permet de valider une spécification. Les places du graphe d'états équivalent à un grafcet représentent ses situations atteignables et les arcs illustrent les passages possibles entre ces situations.

Principe de la validation : Ce type de validation permet de vérifier que la commande n'atteindra pas des situations dangereuses (sécurité) et certains états d'un système ne sont jamais atteints mais permettra les évolutions attendues (vivacité).

Démarche proposée :

1 - Prendre en compte la structure du grafcet et ses évolutions sans tenir compte de l'interprétation des réceptivités (transitions repérées entre parenthèses).

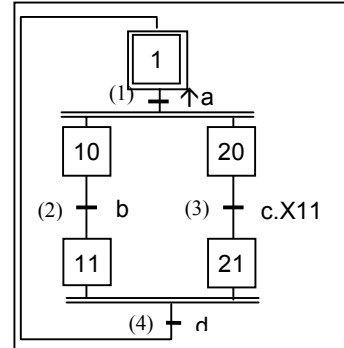


Figure 1 : Elément de la structure d'un grafcet élémentaire

La structure de la figure 1 ci-contre nous conduit au graphe des états de la figure 2 qui montre l'ensemble des états possibles en théorie.

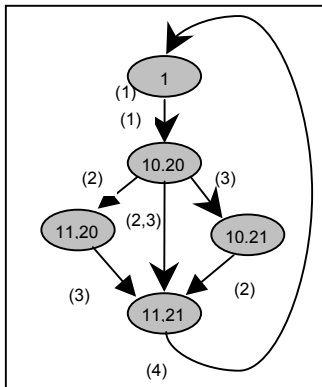


Figure 2 : Graphe des états correspondant à la structure de la figure 1

2 - Ensuite, prendre en compte :

- des équations des réceptivités ;
- des postulats temporels (évolutions par rapport aux temps internes et externes) ;
- de la configuration de la partie opérative.

qui permettent de procéder à la réduction du graphe et de maîtriser ainsi les situations accessibles.

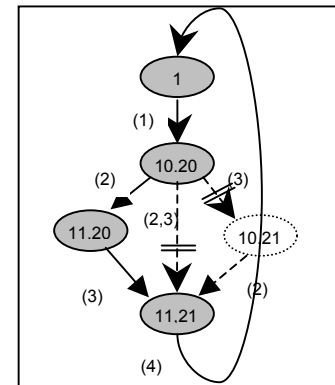


Figure 3 : Réduction du graphe par la prise en compte de la réceptivité X11

Par exemple la réceptivité associée à (3) : **c.X11** ne sera vraie qu'après le franchissement de (2). Le franchissement simultané des transitions (2,3), n'est alors pas possible.

Le graphe se réduira à la succession {1}, {10,20}, {11,20}, {11,21} et retour en {1}.

3 – Rechercher les situations conflictuelles et interdire le franchissement des transitions y conduisant.

³ D'après l'ouvrage "les 7 facettes du GRAFCET" Collectif d'auteurs Cepadues Editeur