

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE FLANDRES ARTOIS

pour obtenir le titre de

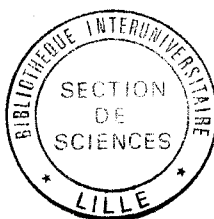
DOCTEUR INGENIEUR

Spécialité : AUTOMATIQUE

par

DESMONTS François

INGENIEUR I.D.N.



CONCEPTION ET REALISATION D'UNE CHAINE DE MISE EN GERMINATION PAR ECHANTILLONNAGE ET MANIPULATION AUTOMATIQUES DE GRAINES DE SEMENCES

Soutenue le 12 Décembre 1986 devant la Commission d'Examen

MM.	P.	VIDAL	Président
	J.G.	POSTAIRE	Rapporteur
	J.C.	GENTINA	Examineur
	M.C.	PAULIEN	Examineur
	M.	STAROSWIECKI	Examineur

Avant de débiter ce mémoire, je voudrais tout particulièrement remercier Monsieur le Professeur VIDAL, Directeur du Centre d'Automatique de l'Université de LILLE, qui m'a accueilli dans son laboratoire et permis de travailler à ce projet dans d'excellentes conditions.

Qu'il trouve ici aussi la marque de ma gratitude pour avoir accepté de présider le jury devant lequel ces travaux ont été exposés.

Que Monsieur le Professeur POSTAIRE, dont les conseils et le soutien ont été sans faille tout au long de ces travaux soit ici très sincèrement remercié.

Je voudrais aussi exprimer ma reconnaissance à Madame PAULIEN-BIGE, de l'I.N.R.A.-G.E.V.E.S. pour la confiance qu'elle nous a témoignée pendant toute la réalisation de ce prototype.

Que Monsieur le Professeur GENTINA, Directeur de l'I.D.N. reçoive ici l'expression de ma gratitude pour avoir accepté d'être membre du jury de cette Thèse.

Je voudrais aussi remercier Monsieur le Professeur STAROSWIEKI d'avoir accepté de siéger dans le jury devant lequel les résultats de cette étude ont été présentés.

Enfin, je n'aurais garde d'oublier Monsieur CEURSTEMONT et l'ensemble de l'équipe technique du Centre d'Automatique pour l'aide qu'ils m'ont apportée pendant toute la durée de ces travaux.

Qu'ils reçoivent ici mes sincères remerciements.

SOMMAIRE

- CHAPITRE I: INTERET DE L'AUTOMATISATION DES CHAINES DE MISE EN GERMINATION
 - I - Introduction
 - II - Le Groupe d'Etude et de contrôle des Variétés et Semences.
 - II.1. Le secteur Variétés
 - II.2. Le secteur Semences
 - III - Contrôle de la faculté germinative des semences
 - III.1. Objectifs du laboratoire de mise en germination
 - III.2. Fonctionnement de la chaîne de mise en germination
 - IV - Automatisation de la chaîne de mise en germination
 - IV.1. Objectifs de l'automatisation
 - IV.2. Cahier des charges
 - V - Conclusion.

- CHAPITRE II: CONCEPTION ET REALISATION MECANIQUE DU POSTE AUTOMATISE
 - I - Introduction
 - II - Techniques d'échantillonnage industriel existantes
 - III - Conception du poste automatisé
 - IV - Principe de fonctionnement
 - V - Réalisation mécanique
 - V.1. Module d'échantillonnage
 - V.2. Module de sérialisation
 - V.3. Module de dépose
 - VI - Conclusion.

- CHAPITRE III : INSTRUMENTATION DE LA CHAÎNE DE MISE EN GERMINATION

- I - Introduction
- II - Choix des informations nécessaires.
- III - Définition des capteurs.
 - III.1. Les barrières optiques
 - III.2. Les capteurs à réflexion directe
 - III.3. Capteurs pour le contrôle du flux de semences
 - III.4. Capteurs pour la mesure des semences
- IV - Traitement des informations.
 - IV.1. Module de traitement des informations
 - IV.2. Modules d'entrées-sorties
- V - Définition des actionneurs.
 - V.1. Définition des actionneurs
 - V.2. Définition des moteurs
- VI - Conclusion, synoptique

- CHAPITRE IV : COMMANDE DU PROTOTYPE DE MISE EN GERMINATION

- I - Introduction
- II - Dialogue Opérateur-processeur
 - II.1. Définition des paramètres caractéristiques
 - II.2. Dialogue opérateur-processeur
 - II.3. Conclusion
- III - Commande du processus de mise en germination automatique
 - III.1. Choix d'un langage de programmation
 - III.2. Structure de la commande du processus
 - III.3. Mise en oeuvre des interruptions
- IV - Réalisation de la commande par interruptions
 - IV.1. Interruptions d'entrée
 - IV.2. Acquisition des informations de mesure
 - IV.3. Commande des sorties par interruptions d'horloge

- V - Logiciels de commande
 - V.1. Programme d'initialisation
 - V.2. Programme de fond
 - V.3. Programmes d'interruption
 - V.4. Gestion des ressources de l'ordinateur.
- VI - Conclusion

- CHAPITRE V: CONCLUSION

- BIBLIOGRAPHIE

- ANNEXES

CHAPITRE I

INTERET DE L'AUTOMATISATION DES CHAINES

DE MISE EN GERMINATION.

I - INTRODUCTION

Parmi les facteurs techniques du progrès agricole, l'emploi de semences sélectionnées appartenant à des types variétaux judicieusement choisis en fonction du milieu et des objectifs de production constitue un élément essentiel de l'amélioration de la productivité.

Les méthodes simples d'autrefois, relatives aussi bien aux essais de semences, qu'à la sélection et à l'identification des cultivars, ont fait place à des procédés plus élaborés.

En effet, qu'il s'agisse de productivité, de qualité, de rythme de production, de facilité de production - résistance à la vesce, adaptation à la mécanisation, précocité - de facilité de conservation, de résistance aux accidents climatiques et aux parasites, le choix de la variété, dans une qualité de semences garantie est un facteur essentiel de productivité et de capacité d'orientation de la production, c'est-à-dire d'efficacité économique.

C'est pour faire face à cette évolution, et au besoin grandissant d'informations sur les variétés et semences que l'I.N.R.A. (Institut National de Recherche Agronomique) a créé le G.E.V.E.S. (Groupe d'Etude et de contrôle des Variétés Et Semences) au sein de son département Génétique et Amélioration des Plantes.

II - LE GROUPE D'ETUDE ET DE CONTROLE DES VARIETES ET SEMENCES

Etabli en 1971 pour mettre à la disposition des pouvoirs publics, des sélectionneurs, des multiplicateurs de semences, des négociants et des utilisateurs les informations nécessaires pour le contrôle et la diffusion des semences, le G.E.V.E.S. regroupe les services de la Station Nationale des Essais de Semences, et les activités se rapportant aux études de variétés liées à la production végétale.

Par le fait de ses travaux, le G.E.V.E.S. se trouve donc au centre d'un réseau d'échanges internationaux et nationaux.

Sur le plan national, tous les organismes de contrôle, le Comité Technique Permanent de la Sélection des Plantes (C.T.P.S.) et le Service Officiel de Contrôle et de Certification des semences et plantes du Ministère de l'Agriculture sont des interlocuteurs privilégiés du G.E.V.E.S. dans le domaine de la certification des semences et de l'inscription au catalogue, ou de la protection des variétés.

Sur le plan international, l'incidence des travaux de la Station Nationale des Essais de Semences sur le commerce international des semences a conduit le G.E.V.E.S. à une accréditation auprès de l'I.S.T.A. (Association Internationale d'Essais de Semences).

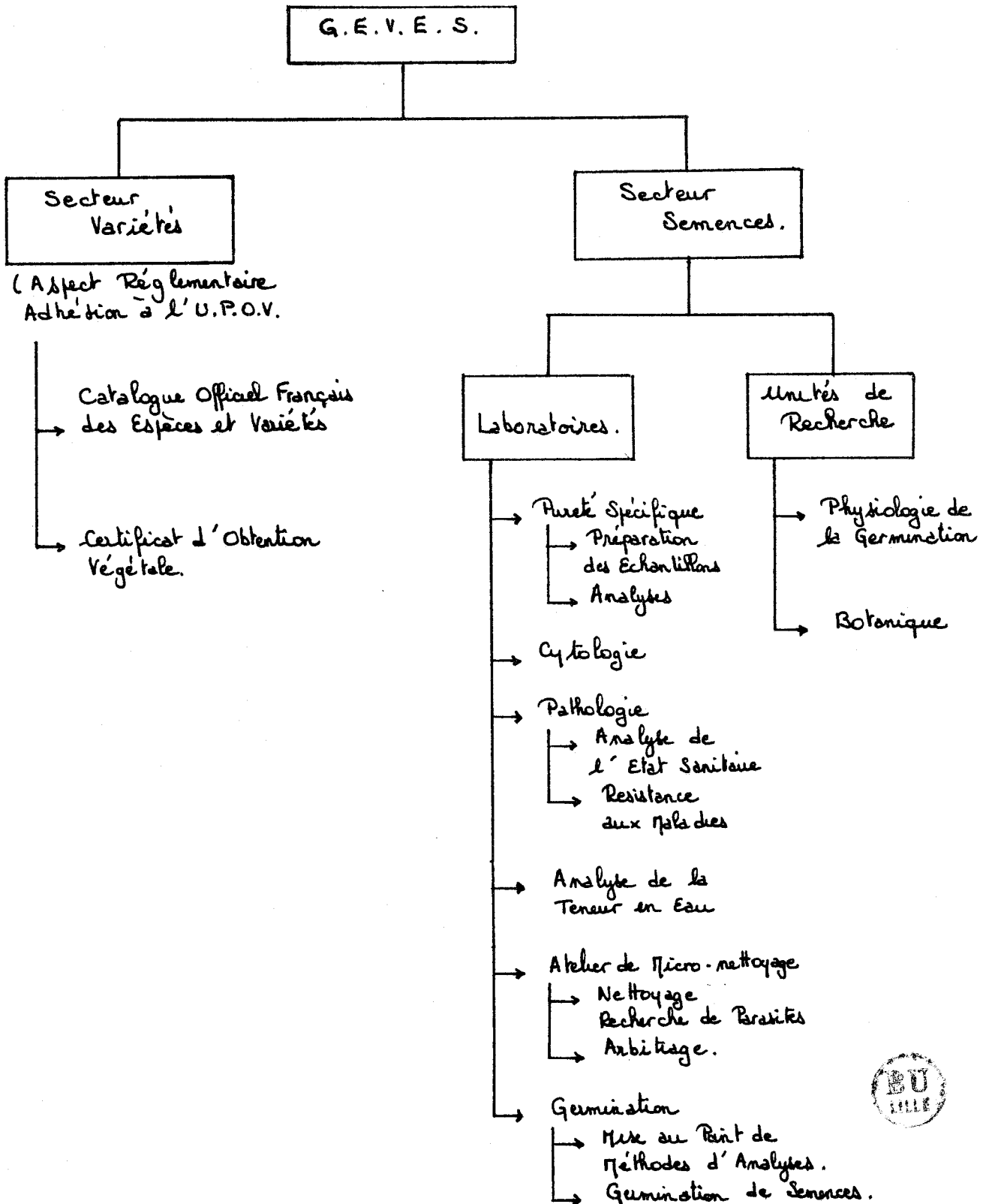
De même, le G.E.V.E.S. participe activement aux programmes développés par l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture pour l'implantation de semences et la formation de techniciens dans les pays francophones en voie de développement.

Pour mener à bien tous ces travaux, le G.E.V.E.S. est structuré en deux secteurs distincts, le "Secteur Variétés", qui procède à l'étude de nouvelles variétés et aux contrôles variétaux de certaines espèces; et le "Secteur Semences", qui effectue le contrôle de la qualité des semences des échantillons reçus.

L'organigramme présenté page suivante résume l'ensemble des activités du G.E.V.E.S.

II.1. Le Secteur Variétés

Les missions de ce secteur sont liées à l'appréciation des données réglementaires françaises et communautaires du commerce des plants et semences, et au respect des engagements pris par la France en adhérant à l'Union pour la Protection des Obtentions Végétales (U.P.O.V.) pour délivrer des certificats d'obtention végétale. Ceux-ci sont régis par un certain nombre de données réglementaires.



Organigramme du G.E.V.E.S.

a - Catalogue officiel français des espèces et variétés de plantes cultivées.

Pour un grand nombre d'espèces cultivées, la commercialisation des semences et plantes est assujettie à l'inscription des variétés au catalogue officiel français des espèces et variétés de plantes cultivées, ou au catalogue commun des Communautés Européennes.

Les espèces visées par l'une ou l'autre de ces réglementations appartiennent à l'un des groupes suivants:

- Plantes agricoles
- Plantes potagères
- Arbres fruitiers
- Arbres forestiers
- Vigne.

Toute variété en demande d'inscription au catalogue officiel doit subir une épreuve de Distinction-Nouveauté, Homogénéité, Stabilité (D.H.S.), d'une durée de 2 à 3 ans.

Dans le cas des plantes agricoles et de la vigne, un second test de valeur culturale et d'utilisation est effectué. Cette expérimentation est aussi applicable aux espèces fruitières, mais seulement pour décider de leur maintien au catalogue à l'échéance de la première période d'inscription de 10 ans.

Seules les variétés reconnues nouvelles, suffisamment homogènes et stables et présentant une valeur agronomique satisfaisante, lorsque cette épreuve est prévue, sont inscrites au catalogue officiel français. Cette inscription est ensuite reprise au catalogue commun pour les espèces visées par les directives communautaires, selon des règles préétablies.

b - Certificat d'obtention végétale.

Depuis 1961 une convention internationale régit la protection des obtentions végétales.

Pour assurer la conformité des tests et des résultats avec cette convention, un comité pour la protection des obtentions végétales (C.P.O.V.) a été créé en 1970. Ce comité permet aux obtenteurs

français, et aux obtenteurs de certains pays étrangers de recevoir un certificat d'obtention végétale pour les nouveautés des espèces les plus importantes. Ce certificat confère à l'obteneur un droit de propriété sur le territoire national, pour une durée de 20 à 25 ans, selon les espèces.

Pour obtenir ce certificat, un examen de D.H.S. d'une durée de 2 ans est obligatoire.

II.2. Le Secteur Semences.

Les activités du secteur semences sont centrées sur le contrôle de la qualité des semences des échantillons reçus. Un certain nombre de tests est effectué par différents laboratoires.

a - Unités de recherche.

Le secteur semences présente deux unités de recherche.

- Physiologie de la germination:

Cette unité effectue des travaux fondamentaux sur des sujets liés aux problèmes posés par la germination des semences et l'appréciation de leur vigueur et de leur aptitude à la conservation. Elle s'intéresse aussi aux problèmes soulevés par les nouvelles espèces étudiées dans le cadre des programmes de recherche nationaux et internationaux.

- Botanique:

Ce laboratoire réalise des études sur l'identification des semences des espèces cultivées et adventices, et effectue des mises au point en matière de nomenclature botanique. Il complète aussi en permanence une collection de références de semences.

b - Laboratoire de pureté spécifique.

Ses activités sont divisées en deux secteurs:

- Préparation des échantillons:

Ceci consiste en une première séparation du lot initial, afin de pourvoir chaque laboratoire en semences à analyser.

- Analyses:

Celles-ci portent sur l'identification des semences des espèces cultivées les plus délicates à différencier.

c - Laboratoire de cytologie.

Ce laboratoire effectue le dénombrement chromosomique nécessaire à l'identification de certaines espèces et de variétés polyploïdes, variétés dont les noyaux de cellules comportent plus de chromosomes que les cellules normales. Ces travaux se font en liaison avec l'unité de recherche botanique et le secteur Variétés.

d - Laboratoire de pathologie.

Les activités de celui-ci sont séparées en deux secteurs distincts.

- Analyse de l'état sanitaire de toutes les espèces de semences pour les parasites cryptogames, affection des végétaux par les champignons.

- Vérification de la résistance des lots de semences aux maladies.

e - Laboratoire d'analyse de la teneur en eau.

Les analyses effectuées sont comparées aux résultats obtenus par la méthode de référence fondamentale, en lien avec le Bureau Interprofessionnel d'Etudes Analytiques.

Ce laboratoire participe aussi à des essais de référence au plan international.

f - Atelier de micro-nettoyage.

Cet atelier participe à deux activités essentielles.

- Nettoyage d'échantillons de semences et recherche de la cuscute, qui est un parasite, dans les semences de légumineuses à petites graines.

- Arbitrage entre les producteurs de semences et les agriculteurs manipulateurs.

g - Laboratoire de germination.

Les activités de routine de ce laboratoire sont réparties en deux domaines.

- Recherche sur les apports d'eau, de lumière, de température et sur la mise au point de méthodes d'analyse par l'emploi de différents substrats.

- Analyse de germination de semences de plantes de grande culture et potagères d'une part, de plantes florales, médicinales

et ornementales, d'autre part.

III - CONTROLE DE LA FACULTE GERMINATIVE DES SEMENCES

III.1. Objectifs du laboratoire de mise en germination.

Le laboratoire de germination a pour mission de calculer, pour chaque échantillon reçu, la faculté germinative, c'est-à-dire le pourcentage maximum de plantules normalement constituées que fournit un échantillon, après avoir été placé dans des conditions optimales de germination.

L'atelier de mise en germination fait ainsi germer, chaque année, des graines issues de 30.000 à 35.000 échantillons, dont la moitié environ, concerne des semences de dimensions au moins égales à celles d'un grain de blé. Ces semences, de dimensions relativement grandes, sont mises à germer dans des boîtes rectangulaires contenant un substrat de terreau ou de sable, selon les espèces.

Pour chaque échantillon on effectue 4 ou 8 répétitions - 8 pour les échantillons donnant lieu à un bulletin international - à raison de 50 graines par répétition, donc par boîte.

C'est donc un total de 60.000 à 80.000 boîtes qui sont préparées chaque année, soit une moyenne quotidienne de 300 boîtes, avec un maximum de 600 boîtes par jour, en période de pointe. Cependant, ces chiffres, définis en 1983 au début de la présente étude, sont à multiplier aujourd'hui par deux pour avoir une idée de la situation actuelle, du fait d'une demande sans cesse croissante de tests de germination.

Le traitement des semences de dimensions inférieures à celles d'un grain de blé ne sera pas abordé ici, car ces graines transitent par un autre poste de travail, et subissent une épreuve différente. Elles sont mises à germer dans des boîtes de Pétri, ou dans un papier buvard imbibé de substrat.

III.2. Fonctionnement de la chaîne de mise en germination.

Les multiples opérations de mise en germination, qui débutent par le remplissage des boîtes par le substrat, et se terminent par leur mise en germination dans des chambres conçues à cet effet, sont effectuées par 6 personnes travaillant à la chaîne, pendant une durée de 3 heures chaque jour. Les cadences de remplissage sont ainsi de 2 boîtes à la minute, avec des pointes à 3 ou 4 boîtes par minute en période de forte production, soit environ pendant 6 mois par an.

D'autre part, les semences manipulées sont en grande partie des graines traitées, soit par des produits chimiques sous forme de poudre, soit par voie humide, à l'aide de solvants. A la cadence de travail actuelle, les produits de protection se désagrègent sous forme de poussières extrêmement toxiques, et émettent des vapeurs nocives à effet cumulatif sur l'organisme.

Enfin, la méthode d'échantillonnage présente quelques lacunes. En effet, afin d'assurer la représentativité de l'échantillon de 50 graines par rapport à un lot originel, il convient de diminuer au maximum le biais qui pourrait être introduit par un mauvais prélèvement. Il faut donc prendre les 50 grains au hasard.

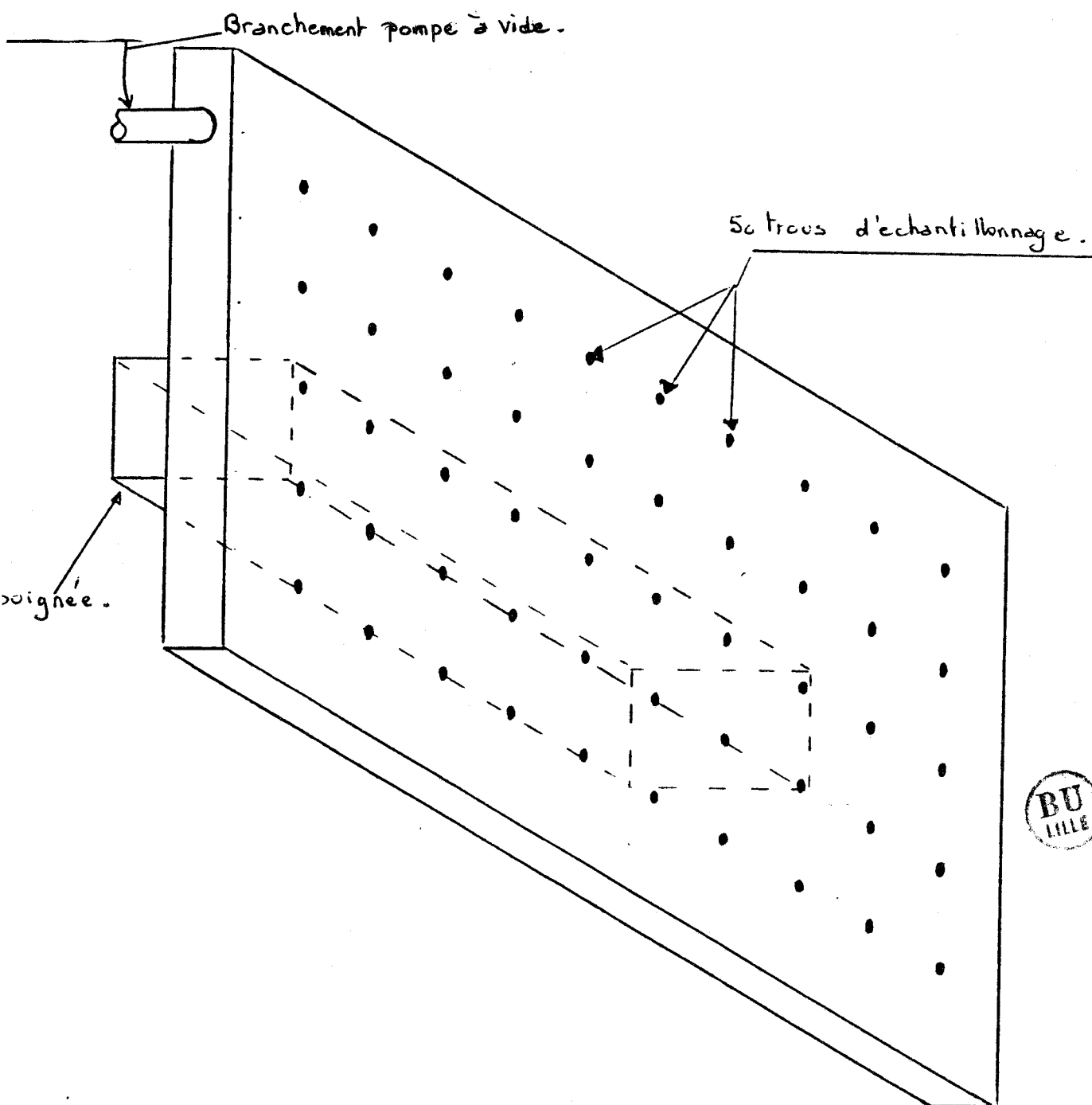
La méthode actuelle repose sur l'utilisation d'une palette aux dimensions des bacs à remplir, comportant 50 trous également répartis sur la surface de la semelle (figure I.1.). Ces orifices sont reliés à une pompe aspirante, qui assure la prise et la mise en bonne place d'un grain par trou, quand l'opératrice jette une certaine quantité des semences du lot à traiter.

Le prélèvement semble donc aléatoire, mais, si l'on tient compte des phénomènes de pesanteur, on constate qu'une première sélection s'opère et favorise les grains les plus lourds.

D'autre part, le contrôle de la présence des 50 graines à planter se fait visuellement. Avec la fatigue, l'opératrice ne peut plus distinguer deux petites graines, occupant un seul emplacement, d'une grosse graine en même place. La qualité du test n'est alors plus assurée.

Figure I.1.

Système d'Echantillonnage par Aspiration.



IV - AUTOMATISATION DE LA CHAÎNE DE MISE EN GERMINATION

IV.1. Objectifs de l'automatisation.

Le fonctionnement actuel de la chaîne de mise en germination pose donc de nombreux problèmes.

- L'échantillonnage n'est pas totalement aléatoire, et rien ne peut garantir que les échantillons sélectionnés sont représentatifs des lots soumis à l'analyse.

- La reproductibilité du test n'est pas rigoureuse, ce qui nuit à sa fiabilité.

- La manipulation des semences est dangereuse pour le personnel, du fait des poussières et vapeurs nocives qui se dégagent au cours des manipulations. Ces émanations sont en majeure partie formées de fines particules de pesticides et agents conservateurs utilisés pour protéger les semences des insectes pendant leur stockage. Ces insecticides sont souvent à base de Mercure, et lors des travaux à cadence élevée, ces produits se dégagent sous forme de fumées denses extrêmement nocives pour les opérateurs, qui en inhalent alors de grandes quantités. Comme les sels de Mercure ont un effet cumulatif sur l'organisme, un empoisonnement progressif des personnes travaillant dans une telle atmosphère peut se produire. Pour éviter ces risques, les manipulateurs de semences doivent travailler pendant de courtes périodes, de 2 à 3 heures par jour, puis être remplacés. Cette rotation fréquente du personnel influe fortement sur le rythme de production, ainsi que sur la qualité des tests.

- Enfin, le système actuel ne permet plus de satisfaire la demande de tests qui augmente régulièrement, de telle sorte que la chaîne de mise en germination constitue un goulot d'étranglement dans le fonctionnement du G.F.V.F.S.

Il convient donc d'étudier la définition d'un ensemble capable de résoudre ces problèmes, en automatisant autant que possible les tâches répétitives. Cependant, les particularités des semences et les contraintes techniques liées à leur manipulation ont amené la définition d'un cahier des charges très strict.

IV.2. Cahier des charges.

Sur le plan technique, un système de manipulation automatique de semences doit satisfaire aux contraintes suivantes.

a - Remplissage automatique des bacs de mise en germination avec du terreau ou du sable de teneur en eau contrôlée, à volume déterminé.

b - Adaptabilité du système à des graines de taille, de poids, de texture et de morphologie très variés, mais toujours pour des semences dont la taille est supérieure à celle d'un grain de blé.

c - Pour chaque lot soumis au test de germination, extraction d'un échantillon de 400 graines. La représentativité de ces échantillons est impérative pour assurer la fiabilité du test.

d - La suite des opérations de contrôle de la germination impose le respect absolu de 50 graines par bac.

e - Positionnement homogène et régulier des 50 graines dans les bacs, afin d'assurer des conditions de germinations identiques pour toutes les semences.

f - Cadence de mise en germination élevée.

En première étude, on examinera une faisabilité basée sur une cadence journalière de 500 boîtes.

g - Etiquetage complet et automatique des bacs.

Cet étiquetage comprendra les informations suivantes

- numéro de référence de l'espèce et de la variété
- numéro d'échantillon et de répétition
- date du test.

h - Récupération de la partie de l'échantillon qui n'aura pas été utilisé.

i - Ensachetage des boîtes préparées afin de plonger chaque bac dans un micro-climat réunissant toutes les conditions optimales de germination.

j - Liaison avec l'ordinateur central du G.E.V.E.S. pour assurer un certain nombre de fonctions.

- gestion des demandes d'analyse de semences,
- gestion des salles de germination,
- saisie du dépouillement des boîtes de germination
- édition des résultats de demande d'analyse,
- conservation de l'information.

k - Protection des manipulateurs contre les vapeurs nocives à base de Mercure, par l'élimination des polluants atmosphériques.

V - CONCLUSION

Le G.E.V.E.S. joue un rôle très important, tant sur le plan agricole qu'économique. C'est en effet le seul organisme français habilité à délivrer les certificats d'obtention de semences nouvelles, tant au niveau national qu'au niveau international.

Pour satisfaire la demande croissante d'informations de la part des manipulateurs de semences et des organismes officiels, le G.E.V.E.S. se doit d'effectuer des tests de plus en plus nombreux. Parmi ceux-ci, le test de mise en germination pose actuellement de nombreux problèmes de fiabilité, de vitesse d'exécution et de pollution.

Un effort particulier a donc été mené pour apporter une solution technologique nouvelle pour pallier ces inconvénients. L'étude de faisabilité d'une chaîne de mise en germination entièrement automatique constitue le sujet du présent mémoire.

Cette étude de faisabilité nous a conduit à l'élaboration d'un prototype expérimental, dont la définition mécanique est présentée dans le chapitre II.

La réalisation de cette nouvelle machine nous a permis de tester une instrumentation adaptée (chapitre III).

Le développement d'un système de contrôle et de commande, qui permet d'optimiser le fonctionnement de ce prototype et de répondre aux exigences spécifiées dans le cahier des charges est présenté dans le dernier chapitre de ce mémoire.

CHAPITRE II

CONCEPTION ET REALISATION MECANIQUE DU POSTE AUTOMATISE

I - INTRODUCTION

Le cahier des charges précédemment présenté permet de grouper les contraintes de réalisation en deux grandes familles, selon la facilité d'automatisation qui les caractérise.

On trouve, d'une part, des éléments aisément automatisables, comme le remplissage des bacs et leur convoyage pour les opérations d'implantation. L'étiquetage, l'ensachetage et la liaison avec l'ordinateur central du G.E.V.E.S. sont aussi à ranger dans cette catégorie. L'ensemble de ces fonctions peut être automatisé en faisant appel à des matériels déjà existants qui ne nécessitent que très peu de modifications pour être intégrés dans une chaîne entièrement automatique.

On trouve, d'autre part, des fonctions qui nécessitent une étude approfondie pour être automatisées. Parmi celles-ci, la première rencontrée est celle qui assure l'échantillonnage. Il convient donc, dans un premier temps, d'étudier les techniques d'échantillonnage déjà existantes et de voir si elles peuvent convenir à cette étude compte tenu des cadences très élevées qu'il faut atteindre sans casser les graines qui sont très fragiles.

II - TECHNIQUES D'ECHANTILLONNAGE INDUSTRIEL EXISTANTES

L'échantillonnage est l'un des problèmes majeurs des procédures de contrôle de qualité et de nombreux travaux ont été consacrés à cette question. Dans le domaine de l'agriculture et de l'agronomie, ces recherches ont très souvent été menées dans le cadre de grosses quantités initiales. Ainsi, les études sur le contrôle de qualité des semences sont pour la plupart liées au domaine de la meunerie, (1), (2), (3). Les travaux publiés s'attachent alors au

nombre de prélèvements et à la quantité à extraire pour échantillonner correctement des débits exprimés en tonnes par heure. De plus, les solutions mécaniques retenues pour ce type d'échantillonnage ne permettent pas la précision au grain près, et surtout abiment les particules.

De telles solutions ne sont donc pas adaptées au problème posé dans cette étude et doivent donc être abandonnées.

Il convient donc de rechercher d'autres réalisations et dans un premier temps de définir plus précisément comment échantillonner le lot reçu. Une solution pour effectuer un échantillonnage aléatoire consiste à faire défiler tous les éléments un à un, et d'en prélever le nombre voulu selon une procédure préalablement définie. La réalisation pratique d'une telle méthode n'est envisageable que dans le cas où la population initiale n'est pas trop importante. Les lots soumis aux tests du G.E.V.E.S. contiennent environ 25.000 grains dont on extrait de 3.000 à 5.000 grains pour les tests de germination proprement dits, la fraction restante servant à effectuer d'autres contrôles. Le type d'échantillonnage proposé peut donc être envisagé, sous réserve de disposer d'un organe assurant la sérialisation des graines prises en vrac. Un tel système existe déjà sur le marché et réalise cette opération, c'est le bol vibrant.

Le bol vibrant se présente sous la forme d'un bol à la périphérie duquel se trouve une rampe hélicoidale. Au sommet de cette rampe, un passage réglable permet l'accès vers l'extérieur, et le contrôle de l'écoulement des éléments un à un.

Le principe de fonctionnement de cette machine est assez simple. Il consiste à faire vibrer la rampe selon une fréquence adaptée au type d'éléments à traiter. Sous l'effet de ces vibrations les particules gravissent la rampe et atteignent le sommet. A cet endroit, le passage, réglable aux dimensions des éléments étudiés, contrôle l'arrivée des grains un à un. Dans le cas où deux pièces arrivent simultanément, l'une est déviée et tombe au fond du bol d'où elle repart sur la rampe et l'autre passe vers l'extérieur.

Cet astucieux mécanisme effectue donc bien une sérialisation des lots, mais il présente malheureusement quelques inconvénients qui le rendent impropre à l'utilisation dans le cas présent.

Tout d'abord, le fait d'utiliser des vibrations pour faire avancer les semences le long de la rampe favorise les plus légères. Le flux de particules sortant n'est alors plus aléatoire, et la séquence de sortie des éléments est fonction de leur poids. L'échantillonnage devient alors problématique, car la loi de saisie devrait pouvoir prendre en compte la fonction de répartition des masses de semences, qui semble impossible à définir mathématiquement.

D'autre part, le réglage du passage de sortie se fait selon des critères géométriques. Très délicat et long à mettre en oeuvre, ce réglage peut difficilement s'adapter aux variations de taille et de forme des éléments constituant un lot. Ce mécanisme est très bien approprié aux particules sphériques ou elliptiques, mais pour des grains allongés, comme l'avoine, des risques d'erreur sont à craindre, car le bol vibrant est incapable de séparer deux grains consécutifs "s'emboitant" l'un sur l'autre.

Enfin, la mise en service d'un bol vibrant à chaque changement de lot est extrêmement lente, car les grains doivent parcourir toute la rampe avant de commencer à être sérialisés.

Le problème de l'échantillonnage rapide des lots de semences comprenant de 3.000 à 5.000 graines ne possède actuellement pas de solution satisfaisant le cahier des charges. Cependant, le principe du bol vibrant présente quelques avantages qui peuvent orienter nos travaux pour la réalisation d'un ensemble mécanique spécifique pour la mise en germination automatique.

III - CONCEPTION DU POSTE AUTOMATISE

C'est donc un nouvel ensemble mécanique réalisant les opérations d'échantillonnage, de comptage, d'implantation et de contrôle du flux de semences qu'il s'agit de concevoir.

On peut tout d'abord constater que le problème de la mise en germination automatique présente trois difficultés principales

- l'échantillonnage
- le comptage précis du nombre de grains demandés,
- l'implantation précise de chacune des graines.

Ces trois opérations peuvent être traitées séparément, sous la forme de trois modules mécaniques distincts. Cette procédure présente l'avantage de bien séparer les différents problèmes posés. Elle permet le développement de chaque module indépendamment des autres. Cependant, les performances de chaque sous-ensemble doivent être compatibles avec les autres, pour éviter la formation d'un goulot d'étranglement, qui ralentirait le flux des graines à travers la machine.

La réalisation de chaque sous-ensemble suit une procédure en trois phases:

- réalisation mécanique,
- instrumentation de chaque module (avec recherche et mise en place des capteurs et actionneurs) et contrôle informatique du fonctionnement,
- évaluation des performances.

L'originalité de chaque module repose en grande partie sur la réalisation mécanique. Le pilotage informatique, après l'installation des capteurs et actionneurs suit par contre un développement similaire dans les trois cas. C'est pourquoi, dans un premier temps, nous nous intéresserons surtout à l'aspect mécanique des sous-ensembles, en justifiant les choix technologiques. Ainsi, nous allons d'abord expliciter le principe de fonctionnement retenu pour le prototype automatique de mise en germination.

IV - PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Comme nous l'avons mentionné, la mise en germination automatique présente trois difficultés majeures, l'échantillonnage, le comptage précis et l'implantation. A ces problèmes viennent aussi

s'ajouter les disparités de taille et de forme des graines à traiter. En effet, dans le cas de grosses graines aux formes géométriques bien définies (sphères, ellipses), les opérations de comptage pourraient se faire en même temps que l'échantillonnage. Mais les populations à traiter présentent une grande dispersion quant aux formes et aux dimensions, et il faut donc définir un ensemble mécanique qui soit le plus "universel" possible, et qui ne nécessite donc pas de longs réglages particuliers entre deux lots de semences différentes.

D'autre part, le nombre de grains constituant le lot à traiter n'est pas précisément connu. Il n'est donc pas possible de définir, a priori, des séquences d'échantillonnage assurant une bonne représentativité.

Enfin, les populations initiales sont relativement importantes et si l'on veut respecter les cadences du cahier des charges, on obtient un flux très important de semences, ce qui pose de très grosses difficultés pour effectuer une extraction précise.

Ces constatations nous ont conduit à définir un ensemble mécanique en trois parties distinctes, qui ont chacune une fonction très précise:

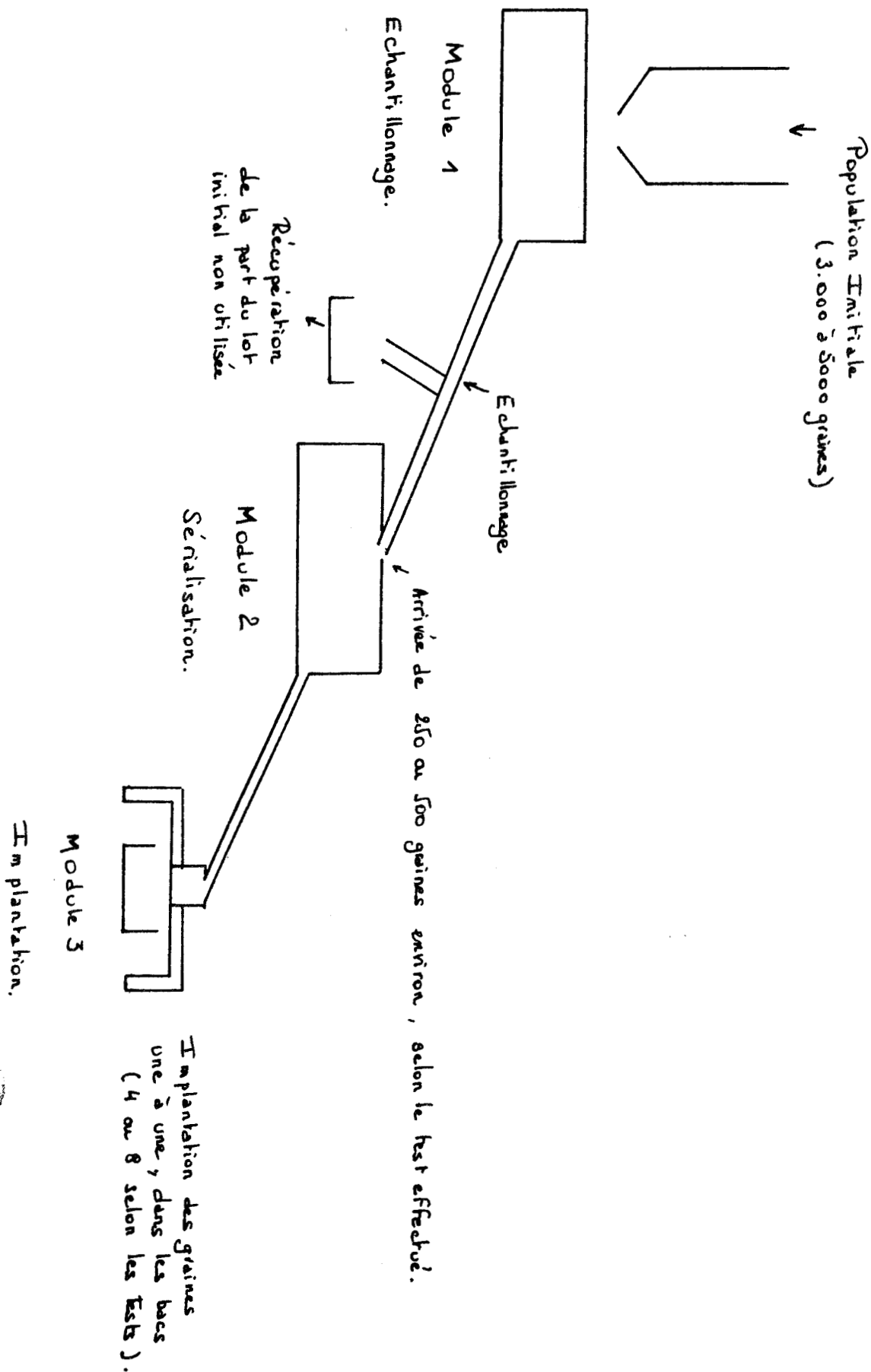
- un module d'échantillonnage,
dont le rôle est d'effectuer un premier tri à partir du lot initial. Ce module extrait une quantité de grains représentatifs voisine de celle demandée.
- un module de sérialisation,
qui reçoit les semences issues de l'échantillonneur, et extrait les graines, une à une, pour les envoyer vers le module de dépose.
- un module de dépose,
qui est chargé de placer les grains reçus du sérialisateur dans les bacs de germination.

Le schéma de la figure II.1. résume les fonctions des trois modules, et définit l'ordre de succession des opérations.

Le principe de fonctionnement de ces trois sous-ensembles repose sur la méthode d'échantillonnage que nous avons précédemment ébauchée. Cette méthode nécessite une scrutation du lot total, et l'on effectue une extraction de particules selon une loi prédéfinie.

Figure II.1.

Principe de fonctionnement du prototype.



Si l'on étudie les différentes lois d'échantillonnage aléatoire possibles on constate qu'il faut dans chaque cas extraire un élément parmi n . Nous sommes alors confrontés à un problème de comptage de graines, une à une.

Cependant, nous devons aussi prendre en compte les contraintes du cahier des charges pour mettre en oeuvre un système de dénombrement des particules. Ainsi, la procédure définie doit pouvoir traiter rapidement des populations de 3.000 à 4.000 éléments, afin de respecter les cadences préconisées. D'autre part, le principe de contrôle doit s'adapter à différentes sortes de semences.

Dans de telles conditions, il n'est pas possible de préparer chaque lot en séparant bien les grains les uns des autres pour faciliter le comptage ultérieur. Il nous faut donc étudier chaque échantillon en vrac, en le faisant défiler devant un organe chargé de compter les semences une à une.

Une telle méthode présente cependant de nombreux risques d'erreur. Le principal danger est que deux ou plusieurs grains consécutifs soient considérés comme une seule particule et donc comptabilisés comme un seul élément, ce qui fausse alors toute la manipulation.

Cette situation n'est pas acceptable et il convient donc de définir un critère rigoureux, applicable à toutes les variétés, permettant pour chaque contrôle effectué, de conclure rapidement et sans ambiguïté, quant à la présence devant le capteur d'une ou plusieurs particules.

L'élaboration de ce moyen de contrôle suit une procédure en deux phases distinctes,

- analyse détaillée de chaque variété, afin de déterminer un paramètre caractéristique propre à chaque espèce.
- mise en oeuvre du critère proprement dit.

L'analyse de chaque variété consiste essentiellement à mesurer certaines grandeurs morphologiques des semences, et à traiter de manière statistique les résultats obtenus.

A l'aide de différentes études (4), (5) menées sur ce sujet, et de résultats statistiques connus (Annexe II.1.), nous pouvons conclure que le paramètre le plus représentatif de chaque variété est la longueur de chaque semence.

La mise en oeuvre d'un critère exploitant ce paramètre est alors assez aisée, dans la mesure où les grains que nous devons tester ont au moins la taille d'un grain de blé, soit 3 à 4 millimètres. Il suffit simplement de mesurer la longueur de la semence qui est devant le capteur et de la comparer à la valeur de référence établie en fonction de la longueur moyenne (Annexe II.1), pour conclure à la présence d'un ou plusieurs grains.

Ce critère permet donc de contrôler le passage des graines, une à une, devant le détecteur chargé de les comptabiliser.

Mais, comme nous l'avons établi, cette vérification n'est qu'une des opérations de l'échantillonnage. En effet, une fois que l'on mesuré la particule qui est devant le détecteur, il faut, soit l'extraire si elle vérifie le critère, soit recycler les particules accolées, qui ont mis le critère en défaut. Ces manipulations sur les semences ne s'effectuent pas de manière instantanée, mais impliquent, au contraire, des temps de réponse et d'action non négligeables. Il nous faut donc aussi introduire une condition définie par ces temps de réponse dans le critère de contrôle précédemment défini.

Ceci nous conduit donc à élaborer un nouveau critère de contrôle prenant en compte deux conditions,

- taille du grain passé devant le capteur inférieure à la valeur de référence,

- intervalle de temps séparant ce grain du dernier grain accepté, supérieur à un temps de référence calculé en fonction des temps de réponse des actionneurs chargés de manipuler les semences

(actionneur d'extraction si le grain vérifie les deux conditions, actionneur de recyclage sinon).

Le principe de fonctionnement de ce critère peut alors être résumé par le tableau suivant.

Test de validation!	Intervalle entre le	!	Intervalle entre le	!
des semences	grain mesuré et le	!	grain mesuré et le	!
	dernier grain accepté	!	dernier grain accepté	!
	suffisant	!	insuffisant	!
-----!-----!-----!				
Grain mesuré		!		!
de taille	Validation du grain	!	grain non validé	!
correcte	Extraction	!	Recyclage	!
-----!-----!-----!				
Grain mesuré		!		!
de taille	Grain non validé	!	Grain non validé	!
non correcte	Recyclage	!	Recyclage	!
(2 grains)		!		!
-----!-----!-----!				

Ce tableau fait donc apparaître les quatre cas possibles lors du contrôle du flux des semences. On constatera simplement que l'on n'effectue aucun test sur la taille minimale des semences. En effet, on considère que les grains cassés qui pourraient subsister dans le lot, après un tri initial, font partie de ce lot et doivent être traités comme tels. Cependant, au niveau du logiciel, un contrôle est assuré, afin de ne pas confondre une poussière avec un grain.

Le principe de fonctionnement du prototype est donc entièrement défini. En effet, lorsque les grains sont validés, ils sont comptabilisés et expulsés de l'organe d'échantillonnage, puis dirigés, soit vers le module de sérialisation, soit vers un bac de réception, selon la loi d'échantillonnage retenue. Si les grains sont non validés, ils sont recyclés dans le module d'échantillonnage.

Dans le module de sérialisation, on applique le même critère. Chaque grain validé est envoyé vers le module d'implantation, alors que les grains non validés sont recyclés dans le module même.

V - REALISATION MECANIQUE

V.1. Module d'échantillonnage.

Le principe de fonctionnement étant défini, il convient de s'intéresser maintenant à la réalisation mécanique des différents modules. Nous avons déjà étudié quelques réalisations permettant un échantillonnage aléatoire, et si nous avons dû les écarter, nous en retiendrons certaines options technologiques intéressantes. Pour respecter les contraintes du cahier des charges, nous avons préconisé un défilement des semences devant un organe de contrôle.

Le module d'échantillonnage se présente sous la forme d'un plateau circulaire entraîné en rotation par un moteur dont la vitesse de rotation peut être ajustée selon le type de graines à traiter (Figure II.2.). Quand le plateau tourne à une vitesse suffisante, les graines se trouvant sur celui-ci sont entraînées vers la périphérie, sous l'effet de la force centrifuge. Une ceinture extérieure, fixe, permet alors de les retenir sur le disque. Une ouverture, partiquée dans cette ceinture permet la sortie des graines vers une gouttière tangente au plateau. L'éjection des graines se produit alors sous le seul effet de leur énergie cinétique. Enfin, l'expulsion des semences hors du module d'échantillonnage est contrôlée par un jet d'air qui, lorsqu'il est activé modifie la trajectoire des particules passant dans son champ d'action, et interdit ainsi l'accès à la gouttière d'évacuation.

On obtient ainsi un système mécanique simple et fiable, qui n'utilise qu'une seule loi physique dont le contrôle est assez aisé. En effet, le module de la force centrifuge s'écrit:

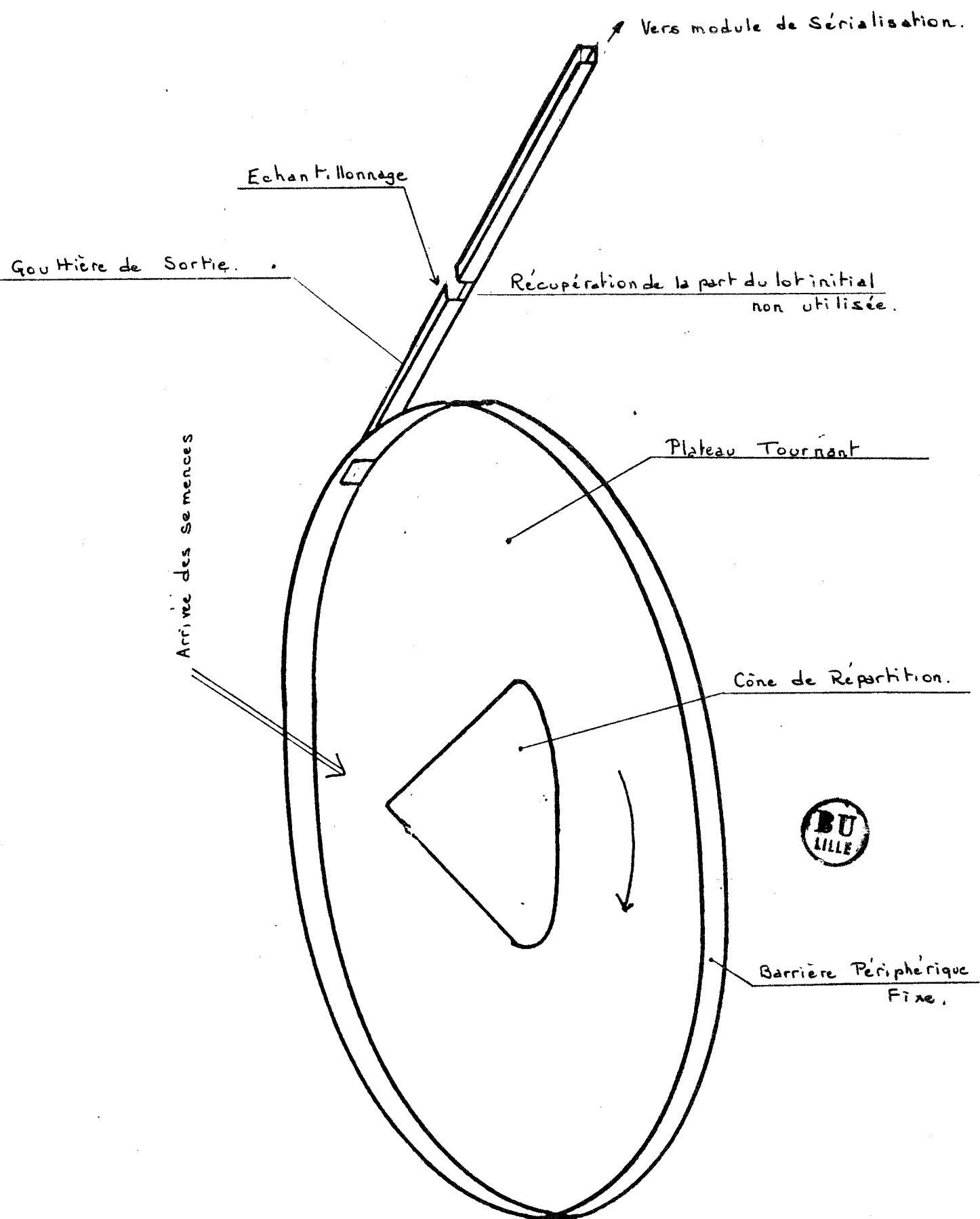
$$\underline{F = mrw^2}$$

avec: -m: masse de la particule
-r: rayon de la trajectoire suivie
par la particule à l'instant t
-w: vitesse de rotation du plateau
à l'instant t.

Cette équation met en évidence l'importance de trois paramètres sur le mouvement de la particule soumise à cette force.

Figure II.2.

Module d'échantillonnage



Si l'on étudie de manière plus précise ces paramètres, on peut noter que:

- La masse de la particule est une constante tout au long du mouvement, sur laquelle on ne peut exercer aucune influence.

Par contre, cette masse peut varier sensiblement d'une graine à l'autre.

- Le rayon de la trajectoire représente la position de la graine sur le plateau, à tout instant. Il varie donc pendant le mouvement jusqu'à ce que l'on ait atteint une position d'équilibre.

On ne peut pas intervenir directement sur cette valeur pour réguler le module de la force centrifuge. La seule donnée que l'on puisse fixer dans ce cas est le rayon maximal de trajectoire, qui correspond au rayon du plateau du module d'échantillonnage. Pour des raisons d'encombrement et de difficulté de réalisation, nous avons été conduit à choisir un rayon de plateau de 0,25 m.

- La vitesse de rotation du plateau reste le seul paramètre sur lequel nous puissions agir pour contrôler le mouvement des graines. Mais cette régulation n'est pas simple car de nombreuses conditions, parfois contradictoires interviennent.

Ainsi, il convient de définir une vitesse de rotation suffisante pour entraîner les graines vers la périphérie du plateau, mais cette vitesse ne doit pas être trop importante, afin que le choc des semences sur la ceinture périphérique ne soit pas trop violent. Si l'on veut appliquer ces conditions au cas de la force centrifuge, on constate alors qu'il est impossible de conserver une vitesse de rotation constante tout au long du mouvement d'une graine.

En effet, lorsque la graine se trouve près du centre du plateau, au début de son déplacement, il faut une vitesse de rotation élevée pour la déplacer vers l'extérieur. Mais, quand la particule se rapproche de la périphérie, cette vitesse de rotation n'a plus besoin d'être aussi importante pour produire la même force, puisque le rayon de la trajectoire est beaucoup plus important. On le voit donc, la meilleure solution serait donc de pouvoir réguler la vitesse de rotation en fonction de la position de chaque semence sur le plateau, ce qui est malheureusement impossible si l'on veut respecter les cadences de production demandées.

D'autre part, la masse des particules n'est pas constante, même au sein d'un même échantillon. Ainsi, une graine plus légère que la moyenne nécessitera une vitesse de rotation plus élevée pour être soumise à une force centrifuge équivalente à celle appliquée sur une particule

dont la masse serait plus importante.

On le voit donc, le problème de la régulation de vitesse n'a pas de solution a priori simple. En effet, la meilleure solution serait de pouvoir faire varier continuellement la vitesse de rotation pour chaque semence, afin de lui appliquer la force centrifuge juste nécessaire pour la conduire vers la périphérie du plateau. Cette méthode impliquerait alors qu'il n'y ait qu'une semence sur le plateau à chaque instant, ce qui est totalement impossible du fait des cadences à respecter.

Il nous faut donc sélectionner une vitesse de rotation constante pour chaque variété de semences à traiter, en établissant un compromis entre les valeurs extrêmes des vitesses requises. Le problème principal se pose lorsque les semences se trouvent près du centre du plateau du module d'échantillonnage. Pour lever cette difficulté, on pourrait bien sûr envisager d'injecter directement les particules à la périphérie du plateau. Mais cette solution présente un inconvénient majeur. En appliquant une telle procédure on risque, en effet, d'envoyer les semences par paquet dans le module. Il faudrait alors plusieurs rotations pour que les graines se séparent et respectent le critère posé.

Pour lever ce défaut, il faut alors préparer chaque échantillon, afin d'injecter les grains les uns après les autres, et c'est justement le problème que nous essayons de résoudre.

Nous sommes donc contraint d'alimenter le module en semences par le centre du plateau, afin de bénéficier au maximum de l'action de la force centrifuge, pour séparer rapidement les semences.

Seule une modification de l'ensemble mécanique peut donc apporter une réponse satisfaisante au problème posé. C'est pourquoi, nous planterons un cône au centre du plateau, et solidaire de la partie tournante. En effet, dans ce cas, les particules arrivant au centre du plateau glissent, sous l'action de leur propre masse, le long d'une des directrices du cône, et se retrouvent à une certaine distance du centre sans que l'on ait à intervenir sur la vitesse de rotation. La force centrifuge peut alors intervenir et conduire les semences vers la périphérie, avec une rotation instantanée acceptable.

De plus, ce cône permet une répartition aléatoire des graines sur le plateau.

La sérialisation des semences s'effectue alors en contrôlant le flux de celles-ci le long de la ceinture périphérique fixe. Cette opération de surveillance est réalisée à l'aide de capteurs et actionneurs qui permettent la mise en oeuvre du critère que nous avons établi.

A la sortie de cette machine, on obtient un flux de graines circulant l'une derrière l'autre, à une cadence très élevée. C'est au niveau de la gouttière de sortie que l'on effectue le premier échantillonnage, selon le principe que nous avons précédemment défini. Certaines semences sont déviées vers l'organe de sérialisation, selon une loi programmée, les autres sont recueillies dans un bac, et peuvent alors servir à un nouveau test, si cela s'avère nécessaire.

On obtient ainsi un premier échantillonnage, qui permet de recevoir dans le second module de la machine, une population de semences représentative du lot initial, et dont le nombre est voisin de celui recherché.

V.2. Module de sérialisation.

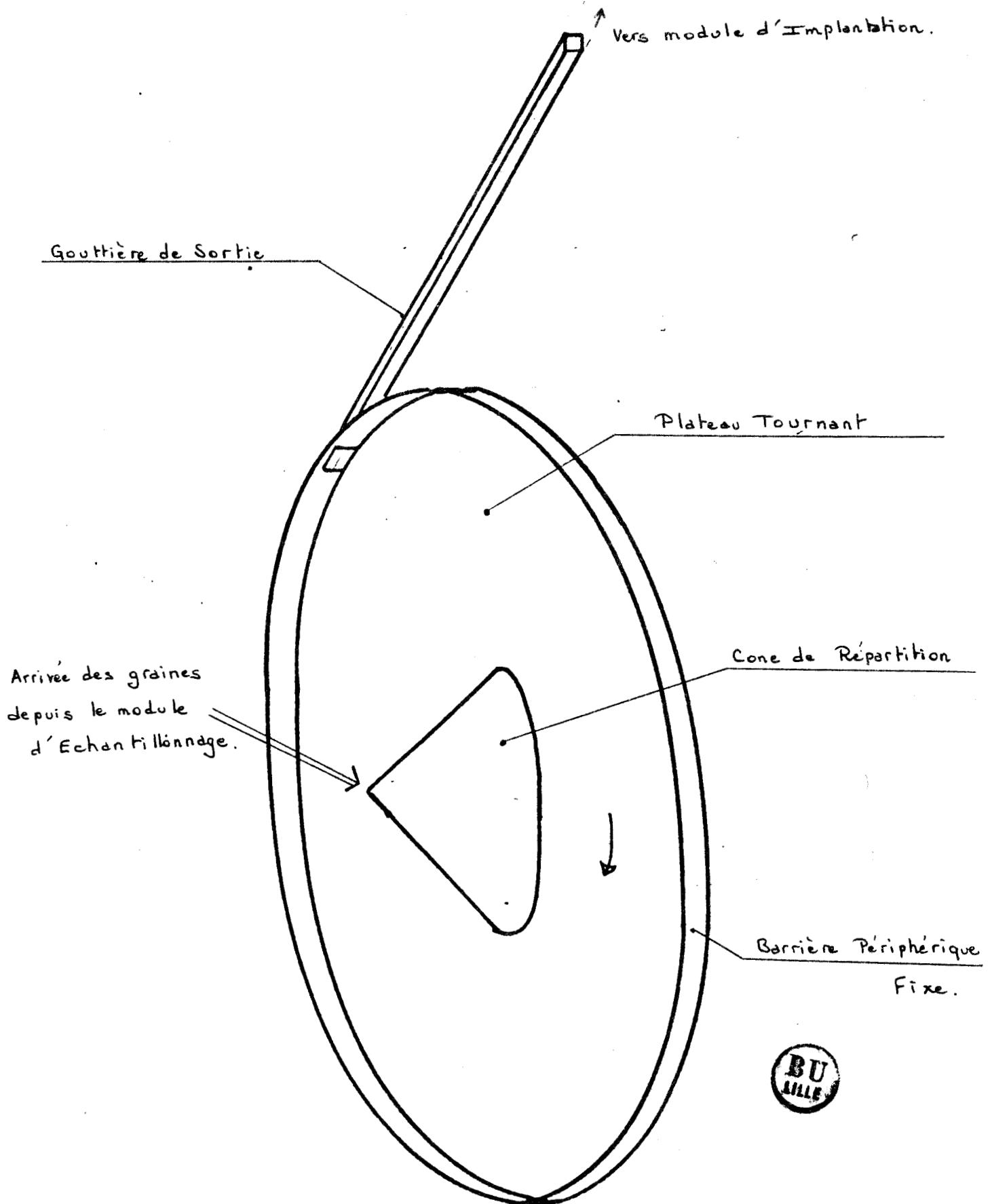
La fonction de ce module est de réceptionner les semences extraites par échantillonnage, d'en compter exactement 200 ou 400 selon les types de tests, et de les présenter une à une au module d'implantation. L'importance de cet organe est liée au fait qu'il faut ne planter qu'une et une seule graine à chaque emplacement, et ne mettre que 50 grains par bac.

Sur le plan mécanique, cette machine se présente exactement comme la précédente (Figure II.3.). La seule différence apparaît au niveau de la gouttière de sortie. En effet, celle-ci est directement liée à l'organe de dépose. La sortie des graines du plateau est alors conditionnée par deux paramètres:

- Présence d'un grain et d'un seul à l'entrée de la gouttière de sortie, c'est à dire, respect du critère que nous avons déjà vu,
- Organe de dépose prêt à recevoir une nouvelle graine.

Figure II.3.

Module de sérialisation



On obtient ainsi un module de sérialisation des semences, qui permet de contrôler le nombre exact de graines implantées. Les grains restant dans la machine après le comptage des 200 ou 400 particules désirées sont éjectées et rejoignent le reste du lot initial qui n'a pas été utilisé.

V.3. Organe de dépose.

La dépose des semences une à une est une opération très précise qui nécessite un matériel fiable. De plus, cette implantation doit se faire de façon très rapide, pour ne pas ralentir les cadences de travail.

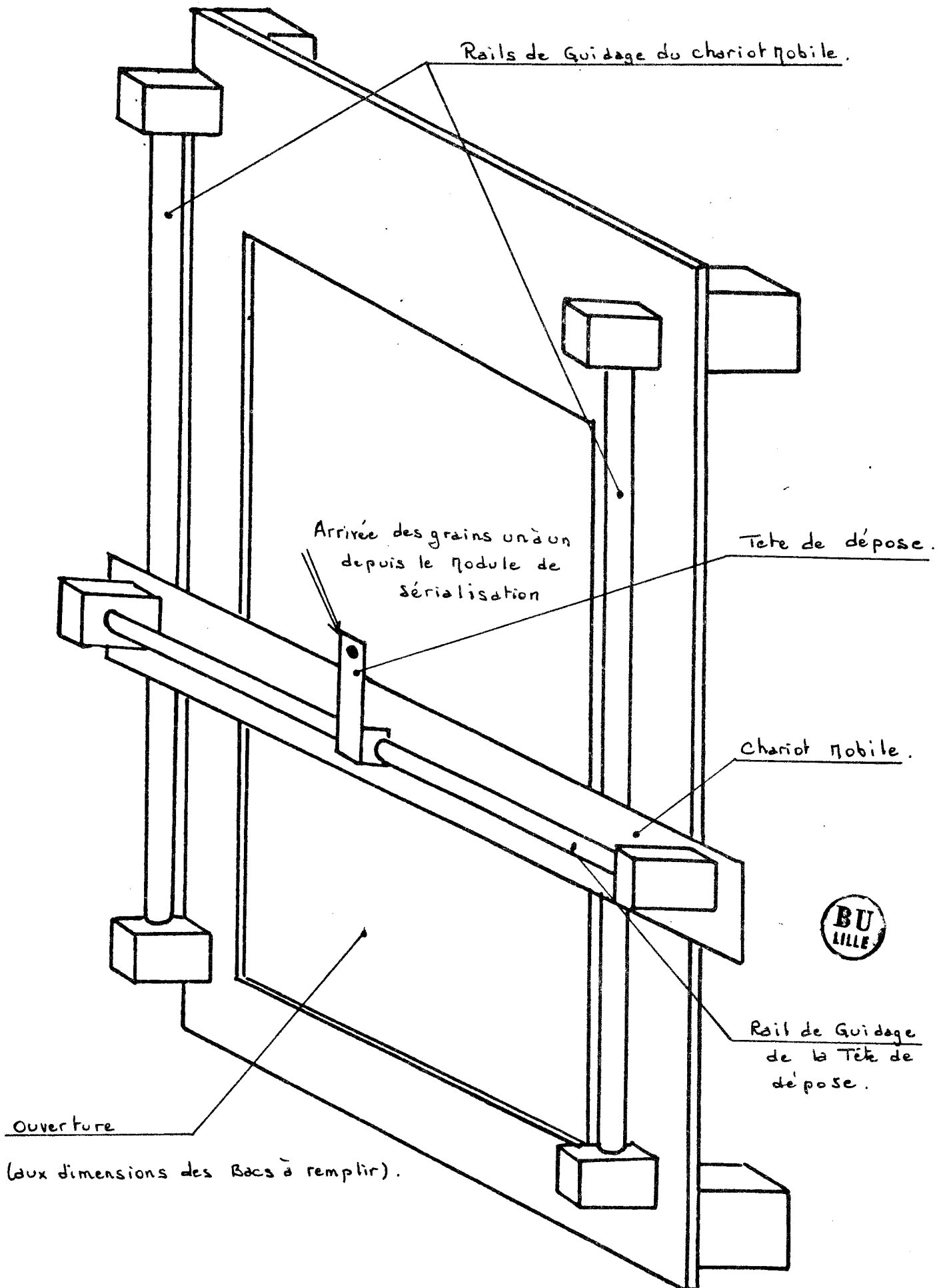
Les bacs de germination sont de forme rectangulaire, et il convient d'y planter 50 graines, en 10 rangées de 5 particules chaque. Cette manipulation doit, de plus, éviter que les semences ne se déplacent au cours de leur implantation, ce qui nuirait à la qualité du test. Il faut donc réduire la hauteur de chute des particules à leur arrivée dans le bac. Il convient donc de prévoir éventuellement une translation verticale du bac, pour placer plus précisément les semences, si l'expérience montrait qu'elles tendaient à rebondir au contact du substrat. Le mouvement d'ensemble du module de dépose s'effectue alors selon deux translations dans deux directions perpendiculaires dans le plan, pour atteindre les 50 emplacements de germination, et accessoirement d'une translation verticale, si cela s'avère nécessaire (Figure II.4.).

Cet ensemble mécanique est appelé à évoluer dans une atmosphère très poussiéreuse, -poussières dues au substrat, poussières issues de la manipulation des semences-. Il est donc intéressant de définir un organe comportant un minimum de capteurs, afin de minimiser les erreurs dues à des informations provenant de détecteurs sales ou endommagés.

L'emploi d'un système d'asservissements se trouve donc compromis. En effet, dans un tel cas, il faudrait employer un asservissement de position, avec capteur, pour atteindre la place exactement prévue, et pour optimiser le déplacement, il conviendrait d'y adjoindre un asservissement de vitesse. Un tel ensemble alourdirait alors fortement la structure, surtout pour la mise au point, et le contrôle qui devrait alors être effectuée par le processeur.

Figure II.1.

Module de Dépose



Pour s'affranchir de toutes ces difficultés, l'utilisation de moteurs pas à pas est préconisée. Il suffit alors de mémoriser les 50 positions à atteindre, et de programmer le nombre de pas nécessaires pour passer de l'une à l'autre. En contrôlant le positionnement du bac de germination au début de chaque séquence, on assure par deux translations un placement correct et répétitif des 50 grains dans chaque bac.

Le principe du mouvement étant défini, il reste à préciser la forme du module d'implantation, et le moyen de transformer la rotation du moteur pas à pas en une translation précise.

Ce module se présente sous la forme d'une plaque métallique rectangulaire percée d'une large ouverture, sous laquelle les bacs de mise en germination viennent se placer. Sur cette plaque sont placés deux chariots mobiles, chacun suivant une direction. Le guidage des chariots se fait au moyen de douilles à billes coulissant sur des arbres fixes. On obtient ainsi une structure légère, avec peu de frottements, et donc très rapide dans ses mouvements.

L'utilisation de moteurs pas à pas pour déplacer les chariots étant admise, il convient d'étudier les diverses méthodes permettant de transformer une rotation en translation, avec un glissement le plus faible possible. Parmi les différents possibilités, nous pouvons citer:

- La vis sans fin. C'est le modèle le plus répandu.

La robustesse en fait un élément de longue durée de vie. Mais, l'usure progressive de la vis crée des jeux de fonctionnement qu'il faut sans cesse rattraper, au moyen de mécanismes lourds. Ce système nuit alors à la vitesse d'exécution. Les moteurs doivent être surdimensionnés, ce qui alourdit encore l'ensemble de la structure.

- Les vis à billes. Cette technique nouvelle associe les avantages de la vis sans fin et des douilles ou roulements à billes. On obtient ainsi un système très performant quant à la précision et à la vitesse de déplacement. Mais cette méthode reste encore très coûteuse et peu répandue, en dehors des robots.

- Les courroies ou chaînes. Du fait de la diversité des types de courroies, de nombreux compromis entre la vitesse d'utilisation et la puissance transmissible sont possibles. Les courroies permettent d'atteindre de grandes vitesses, et les chaînes transmettent de fortes puissances. Enfin, le risque de glissement des courroies peut être

minimisé par l'emploi de courroies crantées. Le principal inconvénient des chaînes dans le cas qui nous intéresse est lié à l'entretien indispensable de ces transmissions. Il faut, en effet, procéder à un graissage régulier, et cette graisse a le défaut de retenir les poussières, ce qui est très gênant pour le bon fonctionnement du module.

Pour effectuer un positionnement précis et nécessitant peu d'entretien, nous avons donc choisi la solution de la transmission par courroies crantées, sur lesquelles viennent se fixer les chariots à déplacer. Ceux-ci peuvent ainsi être déplacés à grande vitesse, tout en maintenant une bonne précision, puisqu'il n'y a pas de glissement. Il suffit alors de compter le nombre de pas effectués pour obtenir immédiatement la position du tube de dépose. La précision du positionnement est alors fonction du nombre de pas par tour du moteur, et de la qualité de la réalisation mécanique de l'ensemble.

L'autre intérêt de la transmission par courroie est la possibilité de ne perdre qu'une faible partie de l'énergie fournie par le moteur, ce qui est appréciable dans le cas du mouvement du chariot portant un moteur. Le guidage des parties mobiles est assuré au moyen de douilles à billes coulissant sur des rails. On obtient ainsi une grande rigidité de l'ensemble, et donc une meilleure précision dans la reproduction des positions d'implantation. De plus, les douilles à billes introduisent très peu de frottements, et ne nuisent donc pas à la vitesse de déplacement.

Ce choix technologique permet donc d'obtenir un ensemble robuste et fiable, qui peut effectuer les opérations répétitives d'implantation de semences dans les bacs à une cadence élevée et dans une atmosphère poussiéreuse.

VI - CONCLUSION

Comme nous l'avons mis en évidence dans le principe de fonctionnement, la bonne marche du prototype de mise en germination repose sur deux éléments clés, la mécanique, que nous venons d'étudier précisément, et les capteurs et actionneurs que nous allons aborder dans le prochain chapitre.

CHAPITRE III

INSTRUMENTATION DE LA CHAÎNE

DE MISE EN GERMINATION

I - INTRODUCTION

Au delà de la conception mécanique, le bon fonctionnement de l'ensemble automatisé est entièrement dépendant de la nature et de la qualité des informations émises ou reçues, concernant le déroulement des diverses phases, ainsi que du traitement de ces données.

Le problème se trouve donc structuré en différents niveaux:

- Choix des informations nécessaires au bon fonctionnement de chaque module.
- Façon de saisir ces informations, définition des capteurs nécessaires.
- Traitement des informations reçues, et émission des ordres d'action en découlant.
- Choix des actionneurs.

II - CHOIX DES INFORMATIONS NECESSAIRES

Le prototype mécanique que nous avons défini est constitué de trois sous-ensembles relativement indépendants quant à leur fonctionnement. Les graines transitent d'un module à l'autre, et de ce fait, il est indispensable de connaître continuellement l'état de chaque machine, et de détecter ainsi d'éventuelles pannes.

Cependant, les informations les plus importantes à saisir sont celles qui permettent la régulation du flux de semences à travers l'ensemble du prototype.

On constate alors qu'il existe de très nombreuses possibilités pour saisir ces données, que ce soit au niveau de la technologie mise en oeuvre ou dans le positionnement géographique des capteurs. Il convient donc de bien définir les informations strictement nécessaires, afin de ne pas alourdir inutilement le processus de commande par un traitement de données redondantes.

Dans un premier temps, il convient donc de définir le plus précisément possible les données nécessaires et suffisantes assurant un fonctionnement correct du prototype. Ces informations peuvent être regroupées en deux grandes familles.

- Mesures de grains et d'intervalles entre deux grains consécutifs. C'est même l'information la plus importante, puisque c'est sur la faculté d'effectuer cette mesure correctement que repose le principe de fonctionnement du prototype, ainsi que nous l'avons défini dans le chapitre précédent.

- Contrôles des flux à travers les différents modules.

Le type de données nécessaires étant défini, nous pouvons maintenant étudier le positionnement des capteurs qui devront saisir ces informations.

Pour effectuer le contrôle du flux de semences à travers les différents modules, l'implantation géographique des capteurs ne nécessite pas de précision particulière. En effet, pour les modules d'échantillonnage et de sérialisation, il suffit de vérifier que les graines circulent effectivement sur le plateau et dans la gouttière les conduisant vers le module suivant. Ainsi, en installant deux organes de contrôle par module, l'un à la périphérie du plateau en rotation et l'autre en sortie de gouttière, nous obtenons les données suffisantes pour vérifier le bon cheminement des semences à travers chaque module. Le contrôle du flux peut alors, pour chaque module, être résumé par le diagramme suivant.

	Capteur à la périphérie du plateau tournant		
	!	!	!
	! excité	! non excité	!
-----	!-----	!-----	!-----
Capteur en sortie	!	! Test si fin de lot!	
de gouttière	! Fonctionnement	! Sinon, panne	!
excité	! Correct	!	!
-----	!-----	!-----	!-----
Capteur en sortie	!	! Test si fin de lot!	
de gouttière	! Test en cours	! Sinon, panne	!
non excité	! ou, panne capteur !		!
	! capteur mesure	!	!
-----	!-----	!-----	!-----

On constate cependant que dans un certain nombre de cas, plusieurs solutions sont envisageables. L'incertitude concernant la raison probable de chaque situation ne peut être levée que par le programme, et sera donc étudiée dans le prochain chapitre.

Si l'implantation géographique des capteurs chargés de contrôler le flux de semences ne nécessite que peu de précautions, il n'en n'est pas de même pour le capteur chargé, dans chaque module, d'effectuer les mesure des grains et intervalles.

En effet, le principe de fonctionnement que nous avons établi, chapitre II, implique que l'on puisse évacuer les graines considérées comme bonnes, et recycler celles qui sont définies comme non conformes (grains trop proches ou consécutifs). Or, les particules contrôlées ne sont pas statiques, et sous l'action de la force centrifuge, elles se déplacent vers l'extérieur où elles rencontrent la barrière périphérique. On constate alors que dans la plupart des cas, les semences restent les unes derrière les autres, mais les intervalles qui les séparent évoluent dans le temps. Ainsi, une mesure considérée comme bonne peut se modifier au cours du trajet de la graine. Il faut donc impérativement, pour minimiser ce phénomène, placer le capteur de mesure très près de la gouttière de sortie. On peut définir la distance optimale entre le point de mesure et la sortie du plateau. En effet, cette distance est seulement fonction du temps de réponse de l'actionneur déviant les grains et de la distance que parcourt la semence pendant ce temps, donc de la vitesse de rotation du plateau, si l'on néglige les phénomènes de frottements et de choc. Ainsi, pour une rotation moyenne de 5 tours par seconde, ce qui correspond aux valeurs utilisées pendant les différents essais, une graine parcourt environ 8 cm en 10 millisecondes.

On peut donc définir précisément la position du capteur devant mesurer les grains et intervalles dès que l'on connaît le temps de réponse des actionneurs servant à contrôler la sortie des grains sérialisés.

Pour le module d'implantation des semences dans les bacs, nous avons défini un ensemble mécanique qui ne nécessite pas de capteur pour contrôler le positionnement correct de l'organe de dépose. Il est cependant important de pouvoir déterminer que le grain à planter est effectivement implanté, avant de gagner la place suivante. Il convient donc de prévoir un capteur en sortie du tube de dépose, afin de contrôler le passage de la semence à planter.

D'autre part, il est aussi important de vérifier qu'un bac de germination se trouve en bonne place, sous l'organe de dépose, avant d'effectuer une implantation de semence. Cette information est surtout à considérer dans le cas du début de remplissage d'un bac. Au stade du prototype actuel, la position de ce capteur n'a que peu d'importance, mais dans le cas d'une éventuelle mécanisation de l'aménagement des bacs, cette fonction devra être étudiée soigneusement.

Nous venons donc d'analyser les informations nécessaires au bon fonctionnement du prototype. Nous avons défini précisément les implantations des différents capteurs, quand cela s'est avéré important. Il convient donc, maintenant, d'étudier les matériels possibles pour saisir ces données dans de bonnes conditions.

III - DEFINITION DES CAPTEURS

Les fonctions à remplir par les différents capteurs sont bien définies, mais il convient d'ajouter à celles-ci les contraintes du cahier des charges.

En effet, il est impératif de ne pas abîmer les graines. Seule une détection à distance est alors envisageable, autant pour le contrôle du flux que pour la mesure des semences.

Parmi les capteurs permettant d'atteindre cet objectif, les détecteurs optiques sont les plus faciles d'emploi, et une vaste gamme est offerte sur le marché.

Cependant, du fait de cette diversité de matériel proposé, il nous faut définir très précisément, dans chaque cas, la nature des signaux dont nous avons besoin pour pouvoir contrôler correctement le processus.

Le fonctionnement des détecteurs optiques repose sur le principe de l'émission-réception d'un faisceau lumineux. On compare ensuite l'énergie lumineuse émise et l'énergie reçue, et on élabore alors un signal de réponse sous forme électrique.

Ce procédé a entraîné le développement de deux familles de capteurs optiques.

- les barrières optiques
- les capteurs à réflexion directe.

III.1. Les barrières optiques. (figure III.2.)

Les barrières optiques se présentent sous la forme d'un émetteur de lumière, et d'un récepteur lié rigidement à l'émetteur, afin de conserver l'alignement des cellules émettrices et réceptrices. Tant que rien n'obture le faisceau émis, celui-ci est intégralement reçu, aux pertes de propagation près, par le récepteur. La différence entre l'énergie émise et reçue est négligeable, et l'on émet un signal de 0 Volt vers le calculateur.

Par contre, si une particule coupe le faisceau émis, le récepteur n'enregistre plus qu'une faible portion de l'énergie émise.

La différence entre les deux énergies est alors importante, et l'on émet alors un signal correspondant au maximum de l'échelle possible.

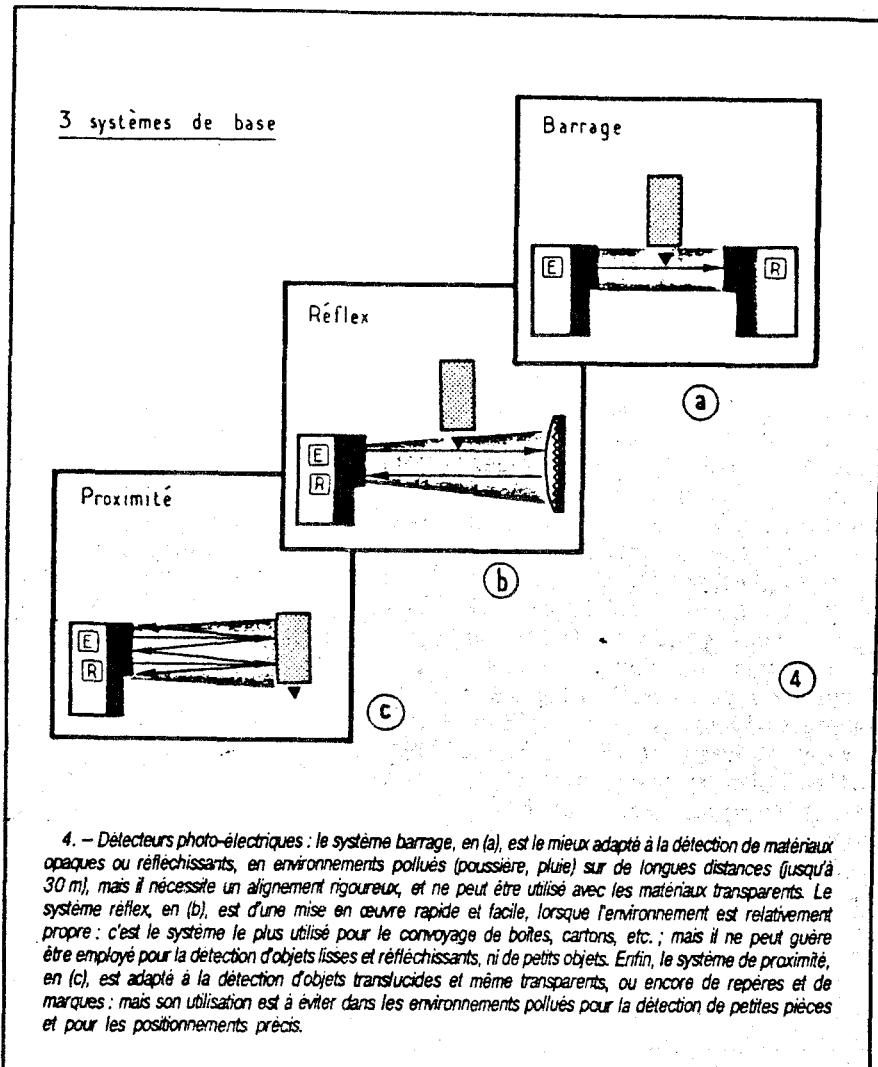
Ces barrières optiques ont pour principale qualité une très grande sensibilité, qui leur permet de détecter aisément les petites graines qui n'occulent que partiellement le faisceau.

Mais ces capteurs présentent le défaut majeur d'être encombrants. En effet, ils comportent deux éléments liés rigidement, et leur implantation n'est donc pas très aisée.

III.2. Les capteurs à réflexion directe. (figure III.2.)

Contrairement aux barrières optiques, ces capteurs ne sont constitués que d'un seul élément assurant les fonctions d'émission et de réception de l'énergie lumineuse. L'utilisation de ces détecteurs peut se faire de deux manières.

Figure III.2. Principe de fonctionnement des barrières optiques



On peut employer un réflecteur placé face au détecteur. On se retrouve alors dans un cas de fonctionnement similaire à celui obtenu avec les barrières optiques, avec les mêmes difficultés d'implantation.

C'est pourquoi nous leur préférons les capteurs à réflexion directe seuls. Dans ce cas, c'est l'objet à détecter qui sert de réflecteur de l'énergie lumineuse. Tant que rien n'occulte le faisceau incident, celui-ci se propage et le récepteur n'est pas excité. La différence entre énergie émise et reçue est maximale, et un signal proche du niveau maximum de la tension de sortie est émis. Dès qu'une particule intercepte le faisceau émis, elle en absorbe une partie, et en réfléchit une partie vers le capteur. La partie réceptrice de celui-ci est alors excitée, et un signal proche du niveau minimum de tension est émis par le capteur.

Ces capteurs sont donc très aisés à implanter et à utiliser. Mais cette facilité d'emploi est obtenue au prix d'une baisse importante de la sensibilité. Cet inconvénient n'est pas négligeable dans la mesure où nous devons étudier des graines dont les teintes sont très différentes, du noir pour l'avoine au blanc pour le haricot, et qu'il n'est bien sûr pas question de modifier constamment les réglages du capteur pour adapter la saisie d'informations au type de graines testé. Cependant, cette difficulté peut être levée en utilisant des détecteurs dont le faisceau incident est très concentré. On minimise ainsi les pertes d'énergie par dispersion, et l'on peut dans tous les cas de semences obtenir un signal exploitable, et correspondant à l'état vrai du récepteur.

Nous avons ainsi précisé le type de capteurs que nous recherchons pour effectuer la saisie des informations qui nous sont nécessaires. Nous pouvons maintenant préciser les détecteurs que nous allons utiliser dans chacun des deux cas qui nous intéressent.

III.3. Capteurs pour le contrôle du flux de semences.

Le contrôle du flux des semences à travers les différents modules consiste surtout à vérifier la bonne circulation des graines d'un sous ensemble vers le suivant.

C'est donc principalement une information de passage que nous désirons recueillir. Il nous faut donc relever les changements

d'état du détecteur. Ceux-ci se produisent chaque fois que le capteur passe de l'état repos à l'état excité, c'est à dire quand une graine entre dans son champ de détection, et chaque fois qu'il passe de l'état excité à l'état repos, quand une particule cesse d'occulter le faisceau émis. On va donc privilégier la portée de détection plutôt que la vitesse de mesure dans les caractéristiques de ce type de capteur, afin de pouvoir aussi détecter les semences passant loin de l'organe de contrôle. C'est pourquoi nous avons choisi des émetteurs-récepteurs à fibres optiques. Ils présentent, en effet, un certain nombre de qualités qui rendent leur emploi aisé dans le cas du contrôle de flux.

D'une part, l'utilisation de fibres optiques permet de séparer la partie saisie des informations, située à l'extrémité des fibres elles mêmes, de la partie traitement et mise en forme des signaux réalisée par l'étage amplificateur. Comme l'atténuation du faisceau lumineux pendant son trajet dans la fibre est très faible, on peut aisément dissocier ces deux aspects de l'acquisition des données, et ainsi limiter l'encombrement du capteur et atteindre des points difficiles d'accès.

D'autre part, la portée de ce type de détecteur est directement liée au diamètre des fibres utilisées. En effet, la quantité de lumière émise est seulement fonction de la diode émettrice implantée dans l'amplificateur. On minimise ainsi la dispersion de lumière en employant des fibres de très faible diamètre, qui concentrent le rayon incident. Dans le cas de notre réalisation, et afin de pouvoir détecter tous les types de semences, nous utiliserons les plus petits diamètres possibles, c'est-à-dire 3,5 mm.

Mais, en contrepartie de ces qualités, ces capteurs ont un temps de réponse moyen élevé, de l'ordre de 30 ms. Ceci veut dire qu'avec ce type de détecteur, on ne peut effectuer une mesure que toutes les 30 ms. Cette possibilité n'est acceptable que pour contrôler le bon écoulement des semences d'un module vers l'autre, mais ne permet en aucun cas de pouvoir mesurer les particules une à une.

Les caractéristiques techniques de ces émetteurs-récepteurs de lumière à fibres optiques, faciles à mettre en place pour effectuer le contrôle du passage des semences d'un module vers le suivant, se trouvent regroupées dans l'annexe A.1.

III.4. Capteurs pour la mesure des semences.

Ces capteurs jouent un rôle essentiel dans le bon déroulement du processus de mise en germination automatique, et il convient donc de définir très précisément les conditions de fonctionnement de ces détecteurs, ainsi que les caractéristiques nécessaires pour obtenir les informations que nous recherchons.

Tout d'abord, nous rappellerons que ces capteurs sont situés, l'un à la périphérie du plateau du module d'échantillonnage, et l'autre à la périphérie du plateau du module de sérialisation. Selon le principe de fonctionnement que nous avons établi, ces détecteurs doivent permettre la validation ou non des graines passant dans leur champ de contrôle. Pour effectuer cette validation, nous avons élaboré deux critères, l'un portant sur la longueur de la semence, et l'autre sur l'intervalle séparant la particule de sa suivante. Il nous faut donc des éléments capables de saisir ces données, sachant que, de plus, les grains circulent à vitesse élevée, puisqu'il faut pouvoir traiter complètement un échantillon de 3.000 à 5.000 graines en 4 minutes environ. Nous avons vu que pour suivre de telles cadences, il fallait que les plateaux des modules de sérialisation et d'échantillonnage tournent à une vitesse de l'ordre de 5 tours par seconde. Si l'on néglige les frottements et glissements des particules sur les plateaux, et l'expérience confirme cette hypothèse, on conclut que les graines se déplacent environ à une vitesse de 8 mm/ms. Or, la taille des semences que nous traitons s'étage, selon les espèces, de 5 à 15 mm, si bien qu'une particule occulte un faisceau ponctuel pendant un temps qui varie entre 0,8 et 2 ms. Il faudra donc utiliser un capteur permettant des mesures à une cadence très élevée.

D'autre part, nous avons aussi décidé d'employer des éléments de type émetteurs-récepteurs de lumière, pour les raisons que nous avons précisées précédemment. C'est pourquoi nous avons choisi d'utiliser des lecteurs de repères colorés pour effectuer la mesure des grains et intervalles.

Le lecteur de repères colorés repose sur le même principe de fonctionnement que les barrières à fibres optiques, avec cependant quelques différences au niveau de l'émission de lumière et du traitement

du signal reçu.

En effet, ce type de capteur est réalisé selon un procédé qui sépare nettement les trois fonctions principales de ce matériel, l'émission de lumière, l'élaboration du signal et l'amplification de ce signal, en vue de son exploitation ultérieure.

Tout d'abord, l'émission de lumière est ici réalisée par une ampoule à filament. Ce système présente ainsi l'avantage d'une maintenance aisée, puisque le changement d'une ampoule défectueuse ne nécessite pas de matériel particulier.

Ensuite, l'élaboration du signal se fait en utilisant deux cellules photoélectriques, l'une en réception, qui reçoit la fraction de lumière réfléchie par la particule à mesurer, et l'autre en comparaison, qui est directement éclairée par l'ampoule, et qui sert donc de référence.

Enfin, les signaux reçus par les cellules sont envoyés dans l'étage amplificateur qui effectue d'abord une comparaison entre ces signaux, afin d'établir si l'on est en présence d'une particule ou non. Si un élément se trouve devant le capteur, la cellule de réception est excitée et émet donc un signal. Si rien n'occulte le faisceau incident, la cellule de réception ne perçoit aucun signal, et n'émet donc aucun signal.

A l'issue de cette comparaison entre signaux, l'étage amplificateur élabore un signal électrique sur l'échelle 0 à 5 Volts, le 0 Volt correspondant à l'absence d'élément, et le 5 Volts à la présence d'une particule devant le capteur.

La conception de cet étage amplificateur permet d'atteindre des fréquences de mesure de 10 kHz, c'est à dire que l'on peut effectuer une nouvelle saisie d'information toutes les 0,1 ms, ce qui justifie l'utilisation de ces lecteurs de repères colorés pour mesurer les graines à tester.

Mais, à côté de ces qualités, ces capteurs présentent aussi quelques particularités qui rendent leur emploi délicat.

Dans un premier temps, ces capteurs demandent l'emploi de deux sources de tension distinctes, l'une pour l'alimentation de la lampe, et l'autre pour l'étage amplificateur.

Dans un second temps, les détecteurs se présentent sous la forme d'un ensemble compact, regroupant les trois fonctions principales,

éclairage, saisie et mise en forme du signal. Cette présentation est donc relativement encombrante, ce qui est gênant dans le cas d'une implantation précise du lecteur de repères colorés en des endroits d'accès difficile.

Enfin, nous avons déjà établi que la vitesse de traitement des informations se fait souvent au détriment de la distance de mesure. Comme nous devons traiter des graines dont la couleur varie fortement, il est indispensable de pouvoir bénéficier de la sensibilité maximale délivrée par le capteur. Dans le cas du lecteur de repères, cette sensibilité est directement fonction de la lentille frontale utilisée. Cette lentille a pour rôle de concentrer le faisceau lumineux émis par l'ampoule. Ainsi, lorsqu'une particule coupe le rayon lumineux, elle reçoit une grande quantité de lumière et peut donc en réfléchir une bonne partie, ce qui améliore la mesure.

C'est pour ces raisons que nous avons employé une lentille de distance focale 12 mm. Ceci signifie que la distance entre le capteur et l'élément à mesurer doit au maximum être de 12 mm si l'on veut être sûr d'effectuer une mesure correcte.

Cependant, avec une telle lentille, la dimension de la tache de lumière est de l'ordre de 1,5 mm de diamètre, à 12 mm du capteur. Il faut donc soigner le positionnement du détecteur, afin que celui-ci puisse contrôler tous les types de graines, des plus petites aux plus grosses, sans nécessiter un réglage de position à chaque nouveau lot.

Nous avons donc défini un type de capteur permettant d'effectuer la mesure des grains et intervalles à des cadences très élevées. Mais, ce lecteur de repères colorés nécessite certaines précautions pour assurer un bon fonctionnement, et l'implantation de ce détecteur doit être très précise.

Les caractéristiques techniques et géométriques de ces capteurs se trouvent regroupées dans l'annexe A.2.

IV - TRAITEMENT DES INFORMATIONS

Les informations saisies par les différents capteurs que nous venons d'étudier sont envoyées vers le calculateur chargé de gérer l'ensemble du système.

Ce module informatique de commande joue donc un rôle essentiel dans le bon fonctionnement du prototype. Il doit, en effet, intégrer toutes les fonctions de commande et de contrôle du processus, et aussi assurer le lien entre l'automate de mise en germination et l'environnement.

Comme tout ensemble informatique, ce système est formé de deux parties distinctes, le matériel, que nous allons étudier, et le logiciel, qui fera l'objet du prochain chapitre.

Le matériel informatique.

La définition du matériel informatique repose sur un certain nombre de critères, qui sont soit issus du cahier des charges, soit liés à la conception proprement dite de l'automatisme.

Ainsi, le cahier des charges impose trois conditions principales.

Tout d'abord, le système utilisé doit permettre à des personnes non spécialistes en informatique de piloter correctement le prototype. Il convient donc de définir un matériel capable de supporter, d'une part, un langage assurant la commande du processus proprement dit, et d'autre part un langage évolué, pour faciliter le dialogue entre l'opérateur et le processus.

Ensuite, le matériel utilisé doit être standard, afin de faciliter la maintenance, et de permettre d'éventuels développements. Parmi ces développements, la possibilité de connecter l'automate avec un autre ordinateur est à envisager. Il faut donc s'assurer que le système choisi peut supporter et gérer une telle liaison.

Cependant, en plus de ces contraintes du cahier des charges, il convient aussi d'étudier très précisément les besoins en matériel que le processus nécessite pour fonctionner de manière correcte.

La configuration que nous devons utiliser se compose principalement de deux sous-ensembles distincts, l'un servant à saisir et transmettre des données, et l'autre effectuant le traitement de ces données. C'est ce module de traitement de données que nous allons d'abord étudier, puisqu'il définit aussi le mode de transmission des informations à travers les différents circuits, et influe donc sur le choix des interfaces d'entrée-sortie.

IV.1. Module de traitement des informations.

Les contraintes que nous avons précédemment établies permettent de préciser un certain nombre des qualités nécessaires à ce module. Cependant, un des principaux besoins est la capacité à dialoguer rapidement, et sans difficultés, avec les modules mécaniques. Il nous faut donc un système pouvant supporter un nombre important d'entrées sorties, sans pour autant créer de blocage du processus.

C'est pourquoi notre choix s'est arrêté sur un système MOSTEK construit autour d'un micro-processeur Z.80, et utilisant un bus de transmission de données de type S.T.D.

Cette configuration présente certaines caractéristiques qui permettent de répondre aux besoins que nous avons établis.

Tout d'abord, le micro-processeur Z.80 est un processeur 8 bits qui permet un adressage de 64 Koctets de mémoire vive de manière directe. La fréquence de l'horloge interne de ce système est de 4 MHz, ce qui lui confère une vitesse de traitement amplement suffisante.

Le processeur Z.80 possède un langage d'assemblage très évolué adapté à la commande des processus industriels. De plus ce système supporte des circuits d'interruptions facilement programmables, tant pour les interruptions extérieures, que pour celles issues du circuit d'horloge interne.

Ensuite, le bus de transmission de données de type S.T.D. est très répandu en informatique 8 bits, ce qui permet de trouver un vaste choix de cartes, en particulier pour les entrées sorties. On peut ainsi configurer le système d'une façon correspondant exactement aux besoins que nous avons établis.

Enfin, ce système informatique utilise un système d'exploitation de type CP/M. Ce système permet l'emploi de nombreux

langages évolués. Il suffit en effet, d'employer la disquette supportant les utilitaires de ce langage pour pouvoir directement programmer dans celui-ci.

Le système de traitement des informations étant défini, nous allons pouvoir préciser la définition du module d'acquisition des données.

IV.2. Modules d'entrées-sorties.

La définition du module d'interface, qui permet la transmission des informations entre le processeur et les modules mécaniques, revêt une grande importance. Il convient en effet, d'utiliser un système fiable, rapide, en particulier dans le cas des capteurs chargés de mesurer les graines, et insensible aux parasites. De plus, pour optimiser le fonctionnement du processus, nous avons choisi d'employer une programmation faisant appel aux interruptions sur certaines entrées. Il faut donc une interface capable de supporter une telle utilisation, au moins dans le cas de l'acquisition des données.

Enfin, il est intéressant de prévoir un système modulable, afin de pouvoir éventuellement ajouter des entrées ou des sorties sans devoir systématiquement reconfigurer l'ensemble du processeur.

Ces considérations nous ont amené à définir deux interfaces distinctes, l'une pour les entrées et l'autre pour les sorties. Les différences entre ces deux systèmes reposent sur le type de matériel utilisé. Le principe de saisie ou de transmission des données est par contre le même dans les deux cas. Il utilise deux éléments distincts ayant un rôle bien précis,

- d'une part, un panneau, directement relié aux capteurs ou actionneurs. Ce panneau reçoit ou transmet les signaux électriques à ces organes, et surtout, il assure un filtrage et une mise en forme correcte de ces signaux.

- d'autre part, une carte d'interface proprement dite, qui assure la liaison entre les signaux extérieurs et le bus de données du micro-processeur.

La liaison entre les panneaux et les cartes d'interface se fait par l'intermédiaire d'un câble blindé, comportant un fil par entrée ou sortie. Le rôle de la carte d'interface est donc aussi de transformer la liaison fil à fil provenant des panneaux en une suite de signaux codés envoyés sur le bus de données du système informatique, et directement exploitables par celui-ci.

L'utilisation d'une telle procédure présente certains avantages. En séparant la partie acquisition des informations, par les panneaux, de la partie mise en forme par les cartes, elle permet de minimiser les risques de transmission de données erronées.

En effet, les panneaux reçoivent ou transmettent des signaux électriques sous forme de tensions continues, et se situant dans les gammes 0 - 5 V, 0 - 12 V et 0 - 24 V. Pour limiter les problèmes d'atténuation du signal, il convient donc de placer les panneaux le plus près possible des capteurs ou actionneurs. Cette solution est aisément mise en oeuvre du fait de la modularité de l'interface.

L'autre avantage de cette procédure repose sur le fait que chaque entrée ou sortie est connectée directement à un relais. Ce relais joue un double rôle. D'une part, il assure l'isolation de l'entrée ou la sortie par rapport aux autres entrées-sorties, et d'autre part, il assure la conversion du signal en un signal électrique toujours, mais calibré sur la tension 0 - 5 V. Ce signal peut ensuite être aisément transmis vers le calculateur par le câble blindé.

Le principe des interfaces d'entrée-sortie étant maintenant défini, nous pouvons aborder plus précisément les éléments constitutifs de chacune d'entre elles.

IV.2.1. Module d'entrée.

Cette interface a pour rôle de collecter les informations provenant des capteurs et de les transmettre au calculateur sous une forme exploitable par celui-ci. De plus, pour des raisons de programmation cette interface doit aussi pouvoir supporter des interruptions.

Ces considérations nous ont donc amené à utiliser une interface

batie autour d'une carte de type P.I.O. (Parallel Input Output). Cette carte peut supporter jusqu'à 32 entrées parallèles, et surtout elle permet l'emploi d'interruptions hiérarchisées en quatre niveaux. La mise en oeuvre informatique de cette carte est aisée, chaque entrée figure un bit, et les bits sont regroupés sous la forme de 4 octets, formant ainsi 4 ports. Il suffit alors de déclarer chaque port selon l'adresse définie par le constructeur pour pouvoir accéder aux données que la carte a collectées. De même, chaque bit peut être déclaré comme bit d'interruption uniquement par programme. Dans ce cas, il faut savoir que l'ordre de priorité de ces interruptions est lié aux ports, et non aux bits, c'est à dire que chaque bit d'un même port, déclaré comme interruption a la même priorité. Pour éviter les conflits, il n'est donc possible de n'avoir qu'un bit d'interruption par port, mais cela est amplement suffisant pour notre application.

Le panneau d'entrée utilisé avec ce type de carte est un panneau standard, regroupant 16 entrées, sous la forme de deux octets. Pour chaque bit d'entrée, on peut placer un relais standard isolé opto. Le choix des relais d'entrée est uniquement fonction de la tension d'entrée. Cette tension définit aussi les vitesses d'enclenchement et de déclenchement des relais. Les caractéristiques des relais employés sont précisées dans l'annexe A.3.

L'interface d'entrée est donc parfaitement définie. Elle se présente sous la forme d'une carte P.I.O. pouvant gérer jusqu'à deux panneaux standard de 16 entrées chacun, et acceptant jusqu'à quatre niveaux d'interruptions hiérarchisées.

Les caractéristiques techniques de cette interface sont réunies dans l'annexe B.2.

IV.2.2. Module de sortie.

La définition de cette interface repose sur des critères différents de ceux conduisant au choix d'une interface d'entrée. En effet, dans le cas des sorties, l'emploi d'interruptions n'est pas nécessaire, mais par contre, il convient de prévoir la possibilité d'adjoindre de nombreuses sorties, sans nécessiter de profondes

modifications de la configuration du système.

C'est donc essentiellement cette considération qui nous a guidé dans le choix d'une interface construite autour d'une carte D.I.O.B.

Cette carte présente la particularité de pouvoir gérer jusqu'à 64 panneaux, comportant chacun deux ports de 8 bits. Ce système permet donc d'utiliser 1024 sorties au maximum.

Cependant, l'emploi d'une telle interface nécessite une configuration particulière de la mémoire vive de l'ordinateur. En effet, la carte D.I.O.B. puise directement en mémoire les informations qu'elle envoie vers les ports de sortie. La programmation des sorties est de ce fait simplifiée, puisque le processeur n'a qu'à écrire en mémoire les données nécessaires. Mais il faut aussi que la carte d'interface puisse lire ces données et les envoyer vers les ports. Il faut donc prévoir une zone particulière, accessible par le processeur et par la carte D.I.O.B.

Pour des raisons de simplifications, le constructeur a décidé de réserver une zone de 2 Koctets de mémoire pour ces sorties, et cet espace débute à une adresse précise également fixée par le constructeur.

Lorsque les informations sont saisies par la carte d'interface elles sont envoyées, sous la forme de signaux électriques vers le panneau concerné. Dans le cas de l'emploi de plusieurs panneaux de sortie, ceux-ci sont montés en série, les uns derrière les autres.

Comme dans le cas des entrées, les signaux de commande élaborés à partir des informations contenues en mémoire sont des tensions électriques de 0 ou 5 Volts. Ils sont envoyés sur l'entrée d'un relais isolé opto, qui le cas échéant s'enclenche et délivre le signal permettant la commande de l'actionneur correspondant.

Cette interface de sortie présente donc l'avantage d'offrir la possibilité de connecter de nombreuses sorties sur le processeur. La programmation de ces sorties est aisée, puisque, pour le processeur, elles sont vues comme des bits de mots mémoire. Il suffit simplement de déclarer la carte d'interface en début de programme pour pouvoir accéder à cette zone mémoire, et gérer ainsi jusqu'à 1024 sorties.

On peut donc très aisément ajouter des sorties au système. La seule difficulté qui pourrait survenir, viendrait de l'adjonction d'un panneau qui n'aurait pas été défini. Mais, même dans ce cas, la déclaration d'un nouveau panneau ne présente pas de difficulté sur le plan de la programmation.

La configuration du système informatique nécessaire pour assurer le fonctionnement du prototype selon les critères retenus est donc parfaitement définie. Elle se compose principalement de

- un système à microprocesseur Z.80, avec 64 Koctets de mémoire vive, chargé de gérer le fonctionnement du processus,
- une interface d'entrée, construite autour d'une carte P.I.O., supportant 32 entrées tout ou rien et jusqu'à 4 niveaux d'interruptions hiérarchisées,
- une interface de sortie, construite autour d'une carte D.I.O.B., pouvant gérer jusqu'à 1024 sorties tout ou rien.

On constate donc que cette configuration permet de gérer de nombreuses entrées-sorties, mais uniquement en tout ou rien. Il faut cependant noter que l'implantation d'entrées-sorties analogiques est tout à fait possible. Le système MOSTEX permet, en effet, d'ajouter jusqu'à 4 cartes en plus des cartes indispensables au fonctionnement du processeur. Deux des emplacements sont occupés par les cartes P.I.O. et D.I.O.B. Il reste donc deux autres emplacements, où l'on peut introduire des cartes analogiques.

Dans l'état actuel du développement du prototype, l'emploi de telles cartes ne s'est pas avéré nécessaire, et leur implantation, tant matérielle que logicielle n'a pas été réalisée.

Nous avons donc défini les organes permettant de collecter les informations concernant le déroulement du processus. Nous avons aussi établi le matériel informatique nécessaire au traitement de ces données. Il reste donc maintenant à étudier les éléments à employer pour réaliser les actions indispensables au bon déroulement de la mise en germination automatique.

V - DEFINITION DES ACTIONNEURS

A l'issue du traitement numérique des informations que le processeur reçoit des différents capteurs, celui-ci élabore un certain nombre d'ordres d'actions à effectuer pour réaliser le processus de mise en germination automatique. Les actions ainsi déclenchées sont de deux types, selon qu'elles influent directement sur les semences, ou qu'elles agissent sur le fonctionnement mécanique d'un des trois modules composant le prototype. Dans la suite de ce chapitre nous distinguerons d'une part les organes agissant directement sur les graines, que nous nommerons actionneurs, et d'autre part, les éléments permettant d'accomplir des mouvements des modules mécaniques, et qui sont des moteurs.

La définition des effecteurs de ces deux catégories repose sur des critères très différents, et nous allons donc étudier séparément chacune de ces deux familles.

V.1. Définition des actionneurs.

Le rôle de ces éléments est prépondérant dans le bon déroulement des opérations de mise en germination.

En effet, ces actionneurs interviennent à la sortie des modules d'échantillonnage et de sérialisation pour autoriser ou non la sortie des grains vers le module suivant, selon que le critère de sélection (présence d'un seul grain et intervalle le séparant de la particule suivante assez long) est respecté ou non. Ils doivent alors, soit modifier la trajectoire d'un grain refusé pour interdire sa sortie, soit accélérer l'éjection vers le module suivant, si le grain est accepté.

Un autre de ces actionneurs sert à réaliser l'échantillonnage. Placé dans la gouttière de sortie de l'échantillonneur, il doit, soit dévier le grain vers le module de sérialisation, soit le laisser se diriger vers le bac de récupération, selon la loi d'échantillonnage définie.

Enfin, un dernier actionneur est situé dans la gouttière de sortie du sérialisateur, afin de bloquer éventuellement une particule si l'organe de dépose n'est pas prêt à la recevoir.

On constate donc bien que ces actionneurs jouent un rôle important dans le bon fonctionnement du processus. Leur choix est donc très important, et celui-ci est guidé par un certain nombre de critères à respecter.

Tout d'abord, ces actionneurs ne doivent pas abimer les semences au cours de leur travail. Il nous faut donc envisager des matériels n'intervenant pas directement et brutalement sur les particules.

D'autre part, les temps de réponse de ces éléments doivent être très courts, afin de ne pas entraver la bonne marche du processus.

Enfin, ces effecteurs doivent être précis dans leur action, afin de ne pas créer de perturbations au niveau des autres graines.

La contrainte principale étant de ne pas léser les semences, nous avons choisi d'utiliser l'air comprimé pour modifier les trajectoires des particules. Ce principe de jets d'air permet de ne pas intervenir directement, et mécaniquement sur les grains, et limite donc les risques de casser ceux-ci.

L'emploi d'air comprimé étant acquis, il faut maintenant préciser les matériels à employer pour respecter les autres critères. Tout d'abord, la vitesse de réaction des actionneurs ne peut être obtenue qu'en utilisant des appareils à commande électrique, puisque les signaux provenant du processeur sont électriques. On améliore en effet les temps de réponse des organes si l'on n'a pas de conversion de signaux à effectuer. Ceci nous conduit à préconiser des électrodistributeurs d'air. On constate alors que le temps de réaction de ces organes est d'autant plus faible, sous une même pression d'utilisation, que le diamètre du tuyau de sortie du distributeur est plus faible.

Nous emploierons donc des distributeurs 2/2, c'est à dire ayant un orifice d'entrée et un de sortie, admettant des tuyaux de diamètres aux normes M5, ce qui autorise des temps de réponse de l'ordre de 10 ms sous 6 bars de pression de travail.

L'utilisation de ces tuyaux de petit diamètre présente aussi l'avantage de concentrer le flux d'air comprimé. On limite ainsi les perturbations sur les différentes graines, quand le jet d'air entre en action. Cependant, pour améliorer ce résultat, et faciliter la mise en place des actionneurs, l'implantation de régulateurs de débit, placés en amont de chaque distributeur, est nécessaire. On peut ainsi facilement ajuster le débit d'air pour chaque actionneur à la valeur juste

suffisante pour réaliser l'opération demandée: déviation ou blocage d'un grain.

Nous avons donc défini un ensemble d'actionneurs répondant aux spécifications posées. Les caractéristiques techniques des différents composants sont réunies dans l'annexe C.1.

La lecture de ces données permet de constater que tous les éléments constitutifs de ces effecteurs sont étudiés pour travailler sous une pression maximale de 10 bars. Si le prototype devait être installé dans un atelier dont la pression d'alimentation en air comprimé soit supérieure à cette valeur, il conviendrait alors de placer un autre régulateur de débit en tête d'installation, afin de ramener la pression d'air dans le circuit dans une plage acceptable, soit 0 à 10 bars.

V.2. Définition des moteurs.

Les moteurs sont des effecteurs qui n'interviennent pas directement sur les semences, mais assurent la mise en mouvement des modules mécaniques constituant le prototype. Les contraintes qui vont présider au choix de ces organes sont donc différentes, et vont porter sur les caractéristiques mécaniques, puissance et couple, que ces éléments doivent fournir.

Cependant, avant d'effectuer les calculs des couples et puissances nécessaires, il convient de noter que les moteurs utilisés sont de deux sortes,

- d'une part, les moteurs qui entraînent en rotation les plateaux des modules d'échantillonnage et de sérialisation. On utilisera dans ce cas des moteurs à courant continu.

- d'autre part, les moteurs qui permettent les mouvements du module de mise en germination, dans les deux directions du plan. Nous avons déjà vu que dans ce cas, l'emploi de moteurs pas à pas était préférable.

Nous allons donc étudier séparément chacun de ces types de moteurs, afin de déterminer le meilleur compromis entre puissance et couple, d'une part, et facilité d'implantation et d'utilisation d'autre part.

V.2.1. Définition des moteurs à courant continu.

Deux paramètres essentiels servent à la détermination de ces moteurs, le couple maximal à fournir, ou couple de démarrage, et la vitesse maximale à atteindre.

Cependant, le calcul théorique d'un moteur à courant continu s'avère extrêmement difficile (6), et il n'est pas dans notre propos d'effectuer de longs calculs. Nous recherchons simplement un organe capable d'entraîner, à une vitesse déterminée, le plateau de chaque module mécanique.

Nous allons donc, dans un premier temps, définir une plage de vitesses acceptables. A l'aide de ces valeurs, nous pourrions sélectionner différents matériels possibles, en utilisant les notices des constructeurs puis contrôler que le choix est acceptable en étudiant les valeurs de couple que ces moteurs peuvent offrir.

La vitesse maximale de rotation que nous devons envisager est liée au fait qu'il ne faut pas abîmer les semences pendant leur traitement. Dans le cas des modules d'échantillonnage et de sérialisation, cette contrainte se traduit par,

- définition d'une vitesse suffisante pour amener les graines vers le bord du plateau,
- minimisation du choc des particules contre la ceinture périphérique fixe.

A partir de ces deux critères, nous pouvons fixer, en première approximation, une vitesse de rotation souhaitable de 10 tours par seconde.

Ce premier paramètre fixé, nous pouvons arrêter un premier choix de moteur en consultant les notices techniques de constructeurs français spécialistes de ce matériel (Annexe C.2.).

Nous avons ainsi sélectionné un motoréducteur M 36-35, présentant un rapport de réduction de 1/5. Cet élément est le seul proposé qui puisse atteindre les vitesses désirées.

Il nous reste alors à étudier le couple moteur, qui figure parmi les caractéristiques du moteur, et vérifier qu'il est effectivement suffisant pour entraîner en rotation le plateau de chaque module. Pour ce faire, nous utiliserons plus particulièrement une des équations

du mouvement du moteur, applicable dans le cas le plus défavorable du fonctionnement de celui-ci, c'est-à-dire, lors du démarrage.

Cette équation peut se mettre sous la forme:

$$(E) \quad \underline{C_m - C_r = Jdw/dt}$$

avec: C_m : Couple fourni par le moteur

C_r : Couple résistant total

J : Inertie totale de la charge
à entraîner

w : Rotation instantanée.

On met ainsi en évidence le rôle important joué par la charge à entraîner, qui intervient directement par son inertie, et indirectement dans la définition du couple résistant à vaincre.

L'application numérique de cette formule est trop longue pour être présentée ici et est reportée en Annexe C.3. Nous en retiendrons simplement que le couple moteur de ce motoréducteur est très faible, si bien que le démarrage risque de présenter certaines difficultés: mise en rotation lente, voire impossible; surchauffe du moteur et détérioration rapide de celui-ci.

Pour pallier ce défaut, diverses solutions peuvent être envisagées. En effet, nous disposons de quatre paramètres influençant le démarrage du moteur:

- le moteur proprement dit.

Nous pourrions bien sûr sélectionner un moteur offrant un couple de démarrage plus important. Mais, dans la gamme des moteurs M 36-35 que nous avons retenue, l'augmentation de couple s'obtient en utilisant un réducteur plus important, ce qui ne permet plus d'atteindre les vitesses que nous préconisons. Pour conserver la plage de vitesses demandée, il faut alors définir un moteur plus encombrant et lourd, ce qui nécessite de profondes modifications dans la structure du prototype. Cette solution doit donc être considérée comme la dernière possibilité d'obtenir un démarrage dans de bonnes conditions.

- la charge à entraîner.

Il pourrait aussi être envisagé de modifier la réalisation mécanique du plateau à entraîner, afin d'en diminuer l'inertie. Mais nous avons déjà exposé que chacun des éléments employés avait un rôle important, et le choix de la matière dans laquelle ces pièces sont usinées ne peut être remis en cause pour des raisons de rigidité de l'ensemble mécanique.

- la procédure de démarrage proprement dite.

Si l'on considère l'équation (E), le seul paramètre sur lequel nous pouvons encore agir est la variation de la vitesse au cours de la phase de démarrage. En effet, le couple moteur C_m est défini par le choix du motoréducteur, et le couple résistant C_r ainsi que l'inertie sont fonction de la charge à entraîner.

A partir de ces données on peut alors établir une loi de variation de vitesse de rotation du moteur qui permet d'amener le plat à la vitesse désirée au bout d'un temps donné. Cependant, la mise en place d'une telle loi nécessite un matériel particulier. En effet, pour pouvoir correctement réguler la vitesse à tout instant, il faut disposer d'un asservissement de vitesse sur le moteur, qui permet de moduler l'intensité de commande du moteur en fonction de la vitesse de rotation. De plus, le pilotage de cet asservissement doit être effectué par le processeur, ce qui implique l'emploi d'une carte d'interface du type convertisseur numérique analogique.

On voit donc que cette solution, pour séduisante qu'elle soit, présente l'inconvénient majeur de nécessiter l'utilisation de matériel complexe et très coûteux. Un tel investissement ne se justifie pas dans la mesure où la procédure de démarrage du moteur peut n'être réalisée qu'une seule fois par jour, au début de chaque série de tests.

Il est, en effet, beaucoup plus simple de démarrer le moteur une fois et de réguler ensuite la vitesse de rotation à chaque type de semences traité. Dans ce cas, l'implantation d'un simple potentiomètre sur l'alimentation en courant du moteur suffit à assurer une régulation satisfaisante de la vitesse de rotation du moteur.

C'est donc cette solution que nous retiendrons pour effectuer la mise en rotation du moteur au début de chaque série de tests de mise en germination.

Cependant, cette méthode ne résout pas complètement le problème posé par le faible couple moteur délivré par le motoréducteur. Pour tenter de résoudre cette question, il nous reste à étudier le dernier paramètre influençant le démarrage du moteur, c'est-à-dire, la transmission du mouvement du moteur vers le plateau à entraîner.

- transmission du mouvement du moteur vers le plateau.

Du fait de la faiblesse du couple moteur disponible, convient de définir une transmission occasionnant le minimum de perte

d'énergie.

D'autre part, l'arbre de sortie du moteur est de très faible diamètre et ne permet donc pas d'entraîner directement le plateau en rotation.

C'est pourquoi nous utiliserons un système d'entraînement par poulies et courroie trapézoïdale pour limiter le glissement. Le choix du diamètre de chaque poulie repose alors sur une constatation mécanique simple. En effet, si on pose,

$$\frac{\text{diamètre de la poulie entraînée}}{\text{diamètre de la poulie menante}} = m$$

l'inertie de la partie entraînée, ramenée au moteur, est divisée par m^2 . Cependant, ce mode de transmission influe aussi fortement sur la vitesse de rotation maximale possible pour le plateau, qui est elle aussi divisée par m .

Ces considérations nous ont conduit à employer des poulies dont le rapport m soit de l'ordre de 2. Le moteur peut alors être considéré comme étant pourvu d'un réducteur 1/10, et disposant d'un couple suffisant pour entraîner le plateau en rotation. La vitesse de rotation maximale correspond aux besoins que nous avons spécifiés ce qui n'aurait pas été le cas avec le second motoréducteur possible, qui avait un rapport de réduction de 1/13 (Annexe C.2.).

Le motoréducteur M 36-35, avec rapport de réduction initial de 1/5 convient donc parfaitement aux besoins que nous avons spécifiés, sous réserve de respecter les mesures préconisées,

- emploi de deux poulies de transmission dont le rapport m soit de l'ordre de 2

- un seul démarrage par série de tests pour éviter toute surchauffe et détérioration rapide du moteur.

V.2.2. Définition des moteurs pas à pas.

La détermination des moteurs pas à pas suit une démarche similaire à celle des moteurs à courant continu. Deux paramètres guident aussi notre choix, le couple et le nombre de pas par tour effectués par le moteur.

Comme dans le cas précédent, le calcul théorique de ces moteurs est long et fastidieux. Aussi allons-nous, de nouveau, fixer l'un des paramètres, puis vérifier que le matériel ainsi défini peut supporter les conditions de fonctionnement demandées.

Tout d'abord, il convient de définir le type de moteurs que nous allons utiliser. Il existe, en effet, différentes technologies pour réaliser de tels éléments, et chaque technique présente des caractéristiques propres (7). Il nous faut donc préciser les contraintes auxquelles ces moteurs seront soumis.

Comme nous l'avons établi au chapitre II, ces moteurs servent au positionnement de l'organe de dépose du module de mise en germination. Un des moteurs, placé sur le chariot mobile, assure le mouvement de la tête d'implantation qui permet la dépose du grain à planter, tandis que l'autre moteur, placé sur le bâti du module, déplace le chariot mobile de rang en rang. Il nous faut donc définir des organes légers, en particulier pour le moteur embarqué, puissants, puisque chaque moteur devra déplacer une charge, et précis. Cette notion de précision recouvre deux aspects, d'une part précision géographique, car la combinaison des mouvements des deux moteurs doit toujours conduire à l'emplacement préalablement défini, et d'autre part, précision statique, c'est-à-dire que les moteurs doivent pouvoir rester en équilibre stable dans la position qu'ils ont atteinte, même en l'absence de courant de commande.

Ces considérations nous ont conduit à préconiser l'emploi de moteurs pas à pas à aimant permanent. Ceux-ci sont, en effet, très répandus sur le marché actuel, ce qui offre une vaste gamme de produits, et permet de nombreux compromis entre poids et puissance. De plus, ce type de moteur assure le maintien d'une position d'équilibre stable sans courant, sous l'action donc de ce cas d'un couple de maintien.

Cependant, au delà de la technique de construction des moteurs d'autres facteurs jouent aussi un rôle important. Ainsi, le nombre de pas par tour influe sur la précision de positionnement, la vitesse de déplacement et la valeur du couple utile, mais aussi sur le prix des moteurs. L'étude de ces différents éléments nous a conduit à élaborer un compromis entre prix et performances, et à choisir, a priori, des moteurs à aimant permanent et 48 pas par tour.

Ce paramètre étant fixé, nous pouvons suivre un raisonnement similaire à celui établi pour définir les moteurs à courant continu. En utilisant de nouveau l'équation (E) de l'Annexe C.3., nous pouvons élaborer la loi de variation du couple nécessaire pour chaque moteur (Annexe C.4.). En comparant cette courbe couple-vitesse avec les caractéristiques des différents moteurs (Annexe C.5.), nous pouvons préciser notre choix.

Cependant, cette étude fait aussi apparaître le rôle important joué par l'alimentation des moteurs. Le choix entre une commande à tension constante et une commande à courant constant dépend essentiellement de l'ensemble dans lequel ces moteurs doivent s'intégrer.

Ainsi, dans le cas du prototype de mise en germination automatique, nous utilisons surtout des signaux électriques sous forme de tensions, et nous préférons donc des alimentations à tension constante. Dans ce cas, les cartes de commande des moteurs pas à pas peuvent être directement connectées sur l'interface de sortie du calculateur.

Chaque carte nécessite alors trois informations, sous la forme tout ou rien avec des tensions de 0 à 5 Volts, pour assurer le fonctionnement des moteurs. L'alimentation en puissance, 12 ou 24 Volts, est faite directement sur la carte, indépendamment du système informatique.

Les trois informations nécessaires sont:

- Mise sous tension ou hors tension.

Il est, en effet, inutile de maintenir le moteur sous tension lorsque celui-ci ne fonctionne pas, puisque la présence d'un couple de maintien à l'arrêt garantit la conservation de la position acquise.

- sens de rotation.

Cette donnée permet de changer le sens de rotation du moteur par programmation, sans intervenir sur les connexions. Le fonctionnement en aller et retour se trouve ainsi grandement simplifié.

- commande proprement dite.

Le calculateur, utilisé comme générateur de signaux externe, émet sur cette ligne les signaux carrés nécessaires aux mouvements du moteur. L'emploi du calculateur comme oscillateur externe permet une grande souplesse dans la programmation du nombre de pas et de la fréquence d'émission de ces pas.

Ces deux données sont très importantes pour la précision des déplacements de chaque moteur. En effet, aucun des moteurs utilisés n'est équipé de codeur permettant la détection de chaque pas effectué, et nous avons décidé d'employer des moteurs pas à pas pour éviter l'implantation de capteurs contrôlant les mouvements. Il faut donc que chaque impulsion de commande émise par l'oscillateur se traduise effectivement par un pas effectué par le moteur.

Ces contraintes nous ont donc conduit à adopter une commande en "start-stop", c'est-à-dire avec une fréquence telle qu'aucun pas ne soit perdu. Le calcul de cette fréquence s'effectue à l'aide des courbes couple-fréquence fournies par le constructeur (Annexe C.5.).

Les moteurs pas à pas sont donc maintenant entièrement définis puisque l'on connaît les références des organes à utiliser, les cartes d'alimentation nécessaires, et nous avons aussi précisé le nombre d'informations indispensables au bon fonctionnement des moteurs, ainsi que le mode de commande de ceux-ci.

VI - CONCLUSION - SYNOPTIQUE

Tous les éléments constituant le prototype sont maintenant entièrement définis. La construction mécanique a fait l'objet du Chapitre II, et nous venons d'établir les spécifications des capteurs et actionneurs permettant le bon déroulement du processus.

Le module informatique gérant l'ensemble du système a aussi été configuré, avec en particulier ses interfaces d'entrée et de sortie.

Avant d'aborder l'étude des logiciels de commande, il convient cependant de préciser l'organisation de ce système. Il est, en effet, particulièrement important de bien définir l'adresse exacte de chaque branchement de capteur et d'actionneur, afin de pouvoir ensuite établir les programmes chargés de saisir et traiter les informations provenant de l'extérieur.

C'est pourquoi nous avons résumé l'ensemble des données concernant les capteurs et actionneurs que nous avons établies dans le présent chapitre (nombre de commandes, nature des signaux) sous la forme de synoptiques.

La figure III.5 représente l'architecture générale du prototype.

Les figures III.6 et III.7 précisent les implantations géographiques des différents capteurs et actionneurs sur les modules d'échantillonnage et de mise en germination. Le positionnement de ces organes est identique sur le module de sérialisation et sur le module d'échantillonnage. Il n'a donc pas été représenté.

Enfin, les tableaux III.8 et III.9 résument l'ensemble des entrées et sorties nécessaires au bon fonctionnement du processus. Dans ces tableaux sont aussi rappelées les valeurs des tensions de commande, et nous avons aussi précisé l'adresse de ces sorties sur les interfaces du processeur.

Figure III.5.
Schéma de principe de l'ensemble mécanique

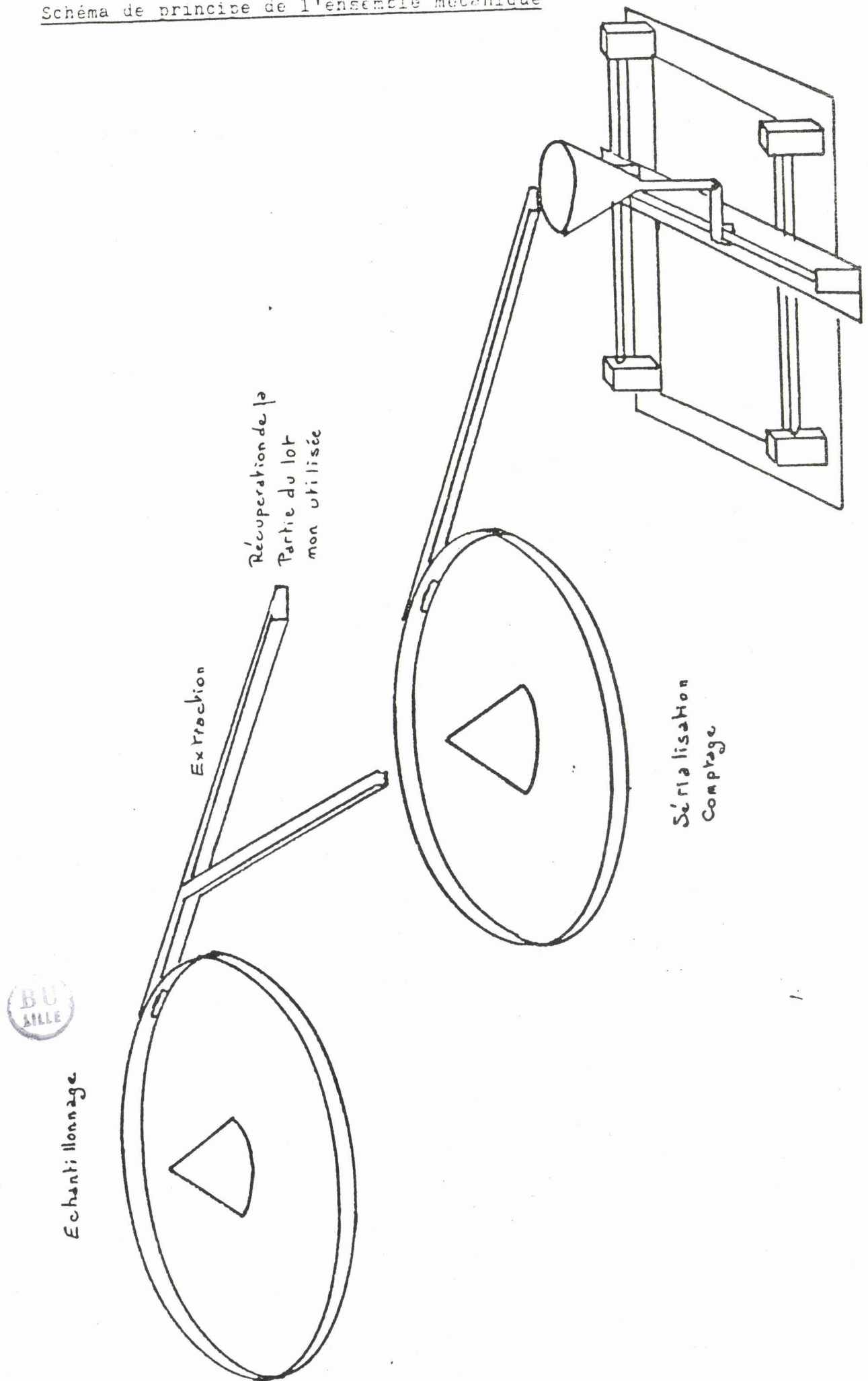


Figure III.6. Implantation des capteurs sur le module d'échantillonnage

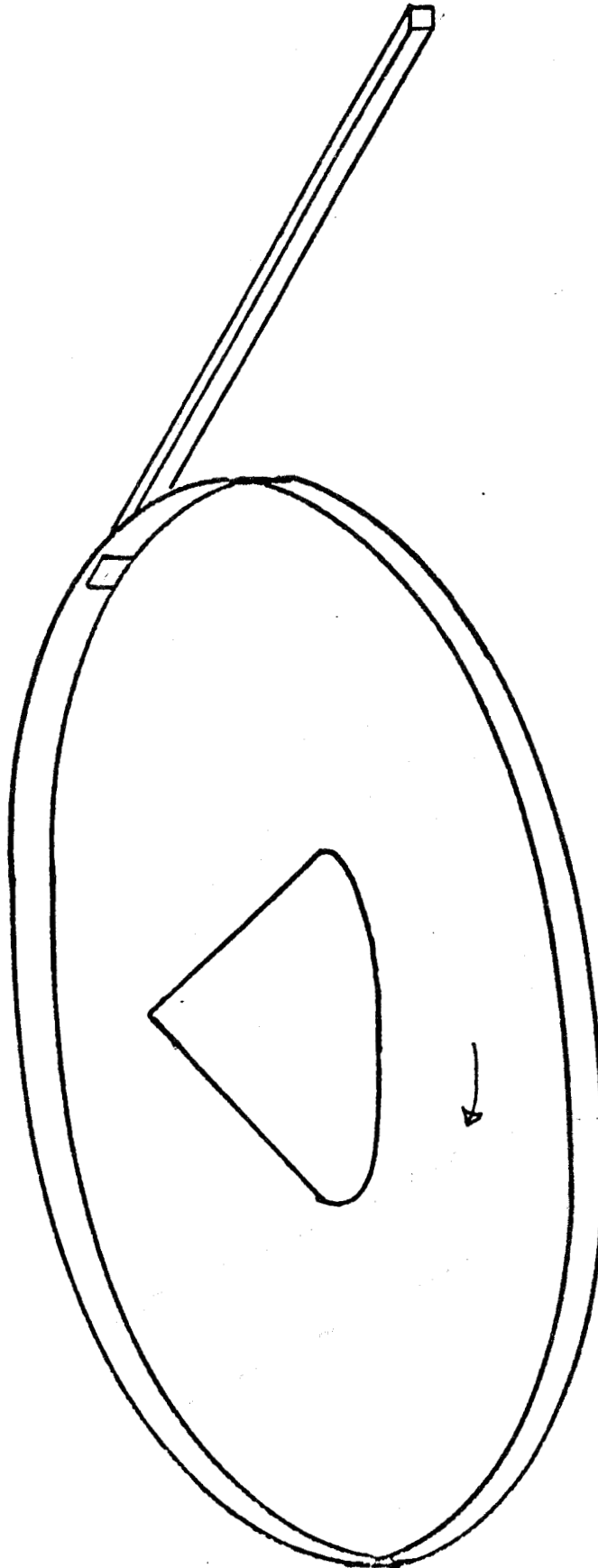


Figure III.7. Implantation des capteurs sur le module de dépose.

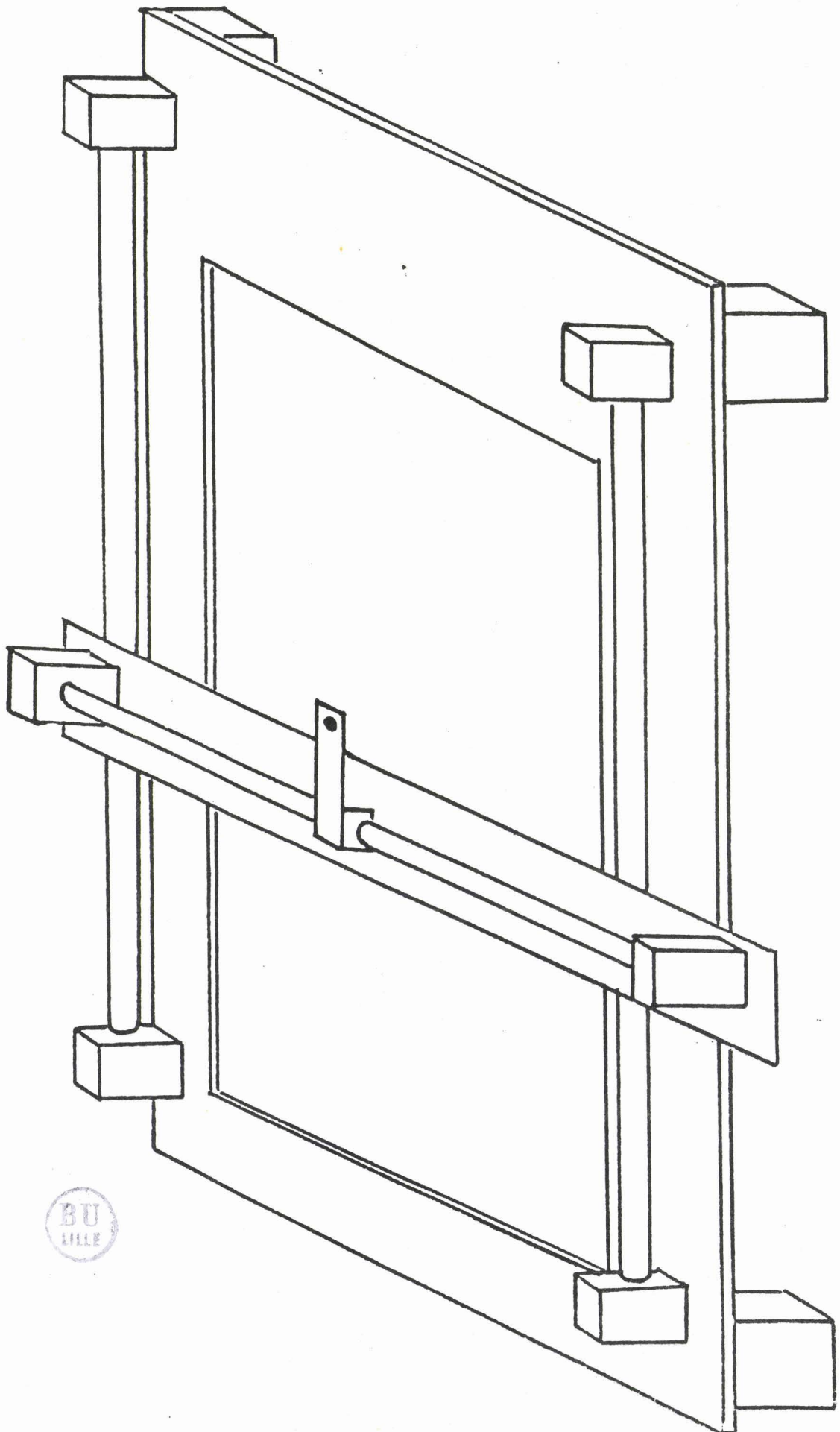


FIGURE III.8: Récapitulatif des entrées nécessaires.

TYPE ELEMENT	FONCTION	REFERENCE	SIGNAL
Fibre optique	contrôle grain planté	E.1	0, +24 V
Lecteur de repères colorés	mesure des grains dans l'échantillonneur	E.2	0, +15 V
Fibre optique	controle de présence de grains dans l'échant.	E.3	0, +24 V
Lecteur de repères colorés	mesure des grains dans le sérialisateur	E.4	0, +15 V
Fibre optique	grain sorti de l'échantillonneur	E.5	0, +24 V
Fibre optique	présence d'un bac de germination	E.6	0, +24 V



FIGURE III.9: Récapitulatif des sorties nécessaires.

TYPE ELEMENT	FONCTION	REFERENCE	SIGNAL
Moteur pas à pas	Marche-Arret Moteur	S.1	0, +24 V
	Sens rotation Moteur	S.3	0, + 5 V
	Impulsion Moteur	S.5	0, + 5 V
Moteur pas à pas	Marche-Arret Moteur	S.2	0, +24 V
	Sens rotation Moteur	S.4	0, + 5 V
	Impulsion Moteur	S.6	0, + 5 V
Electrodistributeur	Air séparation	S.7	0, +12 V
	Echantillonneur		
Electrodistributeur	Air expulsion	S.8	0, +12 V
	Echantillonneur		
Electrodistributeur	Air échantillonnage	S.9	0, +12 V
Electrodistributeur	Air séparation	S.10	0, +12 V
	Sérialisateur		
Electrodistributeur	Air expulsion	S.11	
	Sérialisateur		
Electrodistributeur	Blocage grain Sortie	S.12	0, +12 V
	Sérialisateur		



CHAPITRE IV

COMMANDE DU PROTOTYPE DE MISE EN GERMINATION .

I - INTRODUCTION

Les tableaux présentés dans le chapitre précédent permettent de constater que le processeur doit gérer un nombre important d'entrées et de sorties. De plus, un certain nombre de paramètres caractéristiques des échantillons traités doit être introduit par un opérateur lors de chaque test, ce qui nécessite un dialogue entre l'ensemble informatique et l'environnement. Enfin, l'édition des résultats des tests et l'envoi d'un compte rendu des essais effectués vers l'ordinateur central du G.E.V.E.S. doivent aussi être envisagés.

On voit donc apparaître trois parties distinctes dans la commande informatique du processus:

- la gestion des entrées-sorties, assurant les différentes phases des tests de mise en germination; échantillonnage, sérialisation et implantation des grains dans les bacs.
- le dialogue entre l'opérateur et le système informatique pour introduire les paramètres nécessaires au bon déroulement des tests de mise en germination.
- la liaison entre l'ensemble informatique de commande du processus de mise en germination et l'ordinateur central du G.E.V.E.S.

Dans le présent chapitre, nous n'aborderons pas l'étude de la liaison entre les deux ordinateurs. Celle-ci, en effet, fait appel à des protocoles parfaitement définis et connus dont l'implantation ne présente aucune difficulté. Il suffit d'écrire les procédures nécessaires et de réaliser le câblage entre les deux calculateurs, en utilisant la sortie série du système MOSTEK.

Par contre, le dialogue opérateur-processeur et la gestion des entrées-sorties sont spécifiques de cette réalisation et doivent donc être étudiés précisément.

II - DIALOGUE OPERATEUR-PROCESSEUR

Le système doit permettre à l'opérateur, non spécialiste en informatique, d'introduire les paramètres nécessaires au bon déroulement du test de mise en germination. En effet, un certain nombre de réglages sont liés à la variété traitée et ne peuvent donc être pré-programmés.

Il convient donc, dans un premier temps, de déterminer quels sont les paramètres importants pour chaque espèce soumise au test de germination. La seconde phase de développement de cette interface homme-machine consistera en l'écriture proprement dite de ce programme, en respectant les contraintes de clarté et de facilité d'emploi.

II.1. Définition des paramètres caractéristiques des semences.

La définition des paramètres caractéristiques nécessaires au bon déroulement des tests de mise en germination repose essentiellement sur le principe de fonctionnement établi pour le prototype.

Ainsi, dans les précédents chapitres, avons nous précisé que l'échantillonnage des semences s'effectuerait en contrôlant principalement la longueur des particules, pour extraire séquentiellement un grain tous les n , afin d'obtenir un sous ensemble représentatif de la population initiale. La valeur de n est alors uniquement fonction du nombre de grains dans le lot initial et du nombre de bacs à remplir, chaque bac contenant exactement 50 semences.

Ce rappel du mode de fonctionnement fait clairement apparaître les données essentielles pour assurer le déroulement correct du test de mise en germination automatique, à savoir:

- la longueur moyenne des semences
- le nombre moyen de grains dans la population initiale: P
- Le nombre de bacs à remplir: B

La longueur moyenne des semences sert essentiellement de référence lors du test de comparaison. On pourra ainsi conclure, en comparant la longueur mesurée avec la valeur de référence, que l'on est en présence d'une particule ou de plusieurs consécutives.

Le nombre moyen de grains dans la population initiale n'a pas besoin d'être très précis. Il permet, en donnant une valeur approchée

de calculer une période d'échantillonnage représentatif.

Le nombre de bacs à remplir est la seconde valeur nécessaire à l'établissement de la loi d'échantillonnage retenue, qui est la plus simple possible: on compte les graines sortant du module d'échantillonnage une à une, et on en dévie une toutes les n . La valeur de n est déterminée par l'équation (N):

$$(N): \quad n = \frac{P}{E \cdot s}$$

avec: P: Taille moyenne de l'échantillon initial

E: Nombre de bacs à remplir

s: Nombre de grains par bac.

La valeur de s devrait être théoriquement 50, puisqu'il faut déposer exactement 50 particules par bac. Mais, comme le nombre de graines dans la population initiale ne peut être qu'approximée, il convient de se garantir d'un éventuel manque de grains en fin de test, ce qui serait très pénalisant pour la vitesse d'exécution des essais. C'est pourquoi nous préférons donner à s la valeur de 55, ce qui permet de tenir compte d'un écart maximum de 10% sur l'estimation de P , et limite considérablement le risque de manque de particules. Si, en fin de test, il reste quelques graines non utilisées, la vidange de la machine peut se faire très aisément, en arrêtant le contrôle de la taille des semences et en les expulsant par la gouttière de sortie, après avoir placé un bac de réception des graines non utilisées en sortie de la machine.

Nous avons ainsi défini les trois paramètres fondamentaux pour le bon déroulement des tests de mise en germination automatique. Cependant, pour faciliter l'édition des comptes-rendus de tests et pour améliorer le contrôle du déroulement des essais, il est souhaitable de mémoriser un autre paramètre: le nom générique des semences. On minimise ainsi les risques d'erreur lors de la réalisation des essais, puisque l'opérateur doit introduire le nom de la variété à traiter, puis ses paramètres caractéristiques.

Les informations à fournir à l'ordinateur pour assurer un bon déroulement des tests de mise en germination sont maintenant définies, il convient donc d'étudier précisément l'élaboration du programme d'interface entre l'opérateur et le processeur.

II.2. Dialogue opérateur-processeur.

Le rôle essentiel de ce programme est de permettre à un opérateur, non nécessairement spécialiste en informatique, de communiquer à l'ensemble de commande du prototype les paramètres indispensables au bon déroulement des tests de mise en germination.

Ce programme doit donc vérifier un certain nombre de conditions pour être exploité sans erreur. Il convient alors d'établir un dialogue clair, complet et concis. Ces contraintes conduisent à étudier l'élaboration de ce programme sous deux aspects; d'une part, définition du langage de programmation, et d'autre part, réalisation du dialogue proprement dit.

II.2.1. Définition du langage de programmation.

Le choix du langage de programmation est guidé par deux impératifs; facilité de programmation et de lecture, et possibilité d'établir un dialogue clair et précis avec l'opérateur, tout en conservant une bonne précision dans l'introduction des paramètres.

Pour répondre à ces contraintes, nous avons décidé d'écrire ce programme d'interface en BASIC. Ce langage possède, en effet, certaines particularités qui rendent son emploi particulièrement indiqué dans le cas de notre réalisation.

Tout d'abord, le BASIC permet l'édition très simple de messages en français, ce qui facilite la compréhension des différentes instructions d'introduction des données à partir du clavier. De plus, on peut très aisément programmer des messages de la longueur désirée, ce qui évite d'avoir recours à des abréviations qui peuvent être source d'incompréhension, et donc d'erreur.

D'autre part, les réponses demandées à l'opérateur peuvent être introduites en langage courant, sans utiliser de codes complexes. Dans le cas des paramètres chiffrés (taille d'un grain, population moyenne initiale et nombre de bacs à remplir), la traduction des valeurs en un code compréhensible par le processeur se fait automatiquement. Par contre, pour l'introduction du nom des semences, il nous a fallu réaliser une routine de transcription, afin que l'utilisateur puisse introduire ce nom en français. On minimise ainsi considérablement les risques d'introduction de données erronées.

De plus, le BASIC permet un accès aisé à des emplacements mémoire de l'ordinateur, ce qui simplifie le passage des paramètres, traduits en code informatique, vers un autre langage assurant la commande du prototype proprement dit. En effet, le principal défaut du BASIC est une certaine lenteur dans l'exécution des programmes écrits dans ce langage. Cet inconvénient le rend donc impropre à la commande du processus de mise en germination automatique, et nécessite donc l'emploi d'un autre langage, plus orienté vers la commande de processus. Il convient alors de définir dès le début des procédures de passage de paramètres d'un langage à l'autre. Avec le BASIC, ce travail est simplifié par le fait que l'on peut écrire les données dans des emplacements mémoire prédéfinis. Il suffit alors que le programme de commande du processus vienne lire ces emplacements de mémoire pour accéder aux données nécessaires.

Cependant, la lenteur d'exécution des programmes en BASIC n'est pas un handicap dans le cadre du dialogue opérateur-processeur, dans la mesure où le temps de traitement des informations reçues n'a ici qu'une importance relative.

Enfin, le BASIC, grâce à l'essor de la micro-informatique personnelle, est actuellement le langage le plus répandu, ce qui facilite d'autant la maintenance et la compréhension du programme.

Le choix du langage de programmation étant précisé, nous pouvons maintenant nous intéresser aux procédures d'acquisition des paramètres, et donc à l'écriture du programme proprement dit.

II.2.2. Introduction des paramètres.

Nous avons établi qu'il était nécessaire d'introduire quatre paramètres, le nom de la variété, la population moyenne initiale, la taille moyenne d'un grain et le nombre de bacs à remplir.

On constate rapidement que ces données peuvent être classées en deux familles distinctes:

- d'une part les données relatives à la variété testée
- d'autre part, le paramètre dépendant du test effectué, c'est-à-dire le nombre de bacs à remplir.

Cette classification va nous permettre de faciliter le travail de l'opérateur chargé d'introduire ces paramètres. En effet, si l'on étudie attentivement les tests effectués par le G.E.V.E.S. on constate que la majorité de ceux-ci ont trait à un nombre restreint de variétés. Il paraît alors intéressant de répertorier les espèces les plus souvent mises en germination, et de préprogrammer leurs caractéristiques. Il suffit ensuite de proposer à l'utilisateur un menu reprenant les noms des variétés déjà enregistrées, et de lui demander de taper le nom des semences à tester. Le chargement des données se fera automatiquement, et il suffira ensuite d'introduire le nombre de bacs à remplir pour que le test puisse débuter. Nous avons ainsi retenu 17 variétés dont les caractéristiques préprogrammées se trouvent regroupées dans le tableau 4.1. présenté page suivante.

Cependant, l'opérateur peut devoir tester d'autres variétés, ou bien effectuer des essais avec une espèce déjà programmée mais avec des données différentes (par exemple, population initiale différente de la valeur définie). Il convient donc d'établir aussi une procédure d'introduction manuelle des différentes données. Celle-ci est assez simple, pour chaque variété un message en langage clair s'affiche et demande à l'utilisateur d'introduire un paramètre. Après la frappe de cette donnée, une procédure de contrôle débute et joue un double rôle. D'une part, elle vérifie que la réponse introduite correspond effectivement à la question posée (par exemple; taille d'un grain comprise en 5 et 50 millimètres), et d'autre part, que ce paramètre, en particulier dans le cas du nom générique de la variété, ne correspond pas déjà à une espèce mémorisée. Si la réponse n'est pas satisfaisante, un message s'inscrit indiquant l'origine de l'erreur et la procédure d'introduction est automatiquement renouvelée, jusqu'à ce que la routine de contrôle ne soit plus en défaut. La seule difficulté que pose cette phase d'introduction survient lors de l'initialisation d'un test concernant une variété inscrite dans le menu mais dont on veut modifier une des caractéristiques. Il appartient, alors, dans ce cas à l'opérateur, de donner un nouveau nom à l'espèce à tester afin d'éviter toute confusion avec le type de semences déjà mis en mémoire.

Les données caractéristiques des semences étant introduites, il reste à définir le nombre de bacs à remplir. Pour cette donnée, il est évident qu'il n'est pas possible de préprogrammer la valeur du paramètre. Il faut donc demander à l'opérateur de sélectionner lui-même le nombre de bacs, en introduisant une valeur comprise entre 1 et 9. Si la réponse

Tableau IV.1. Caractéristiques des variétés mémorisées.

! Nom générique de la variété !	! Population moyenne !	! Taille d'un grain !
! Avoine !	! 1.200 grains !	! 15 mm !
! Blé !	! 1.200 grains !	! 15 mm !
! Cardon !	! 1.300 grains !	! 10 mm !
! Haricot !	! 1.300 grains !	! 15 mm !
! Lentille !	! 2.000 grains !	! 5 mm !
! Lupin !	! 1.300 grains !	! 13 mm !
! Mais !	! 1.300 grains !	! 15 mm !
! Orge !	! 1.200 grains !	! 15 mm !
! Pois !	! 1.300 grains !	! 10 mm !
! Riz !	! 1.900 grains !	! 15 mm !
! Sainfoin !	! 1.900 grains !	! 7 mm !
! Seigle !	! 1.200 grains !	! 15 mm !
! Soja !	! 2.500 grains !	! 8 mm !
! Sorgho !	! 1.300 grains !	! 5 mm !
! Tournesol !	! 1.300 grains !	! 13 mm !
! Triticale !	! 1.200 grains !	! 15 mm !
! Vesce !	! 1.500 grains !	! 5 mm !

fait recommencer la procédure d'introduction du nombre de bacs à remplir.

Lorsque tous les paramètres ont été introduits et contrôlés, une procédure de traitement est lancée afin d'extraire de ceux-ci les données nécessaires au bon fonctionnement du processus. En effet, il faut convertir la longueur des grains, donnée en mm, en une grandeur compatible avec la méthode de mesure utilisée sur le prototype. Cette conversion est simple à réaliser car on affecte à chaque longueur possible une valeur de référence exprimée dans l'unité de mesure retenue. Cette unité est fonction de la technique retenue pour mesurer effectivement chaque grain, et que nous préciserons plus loin, dans le cadre de la définition des programmes de commande.

D'autre part, il faut aussi définir la période d'échantillonnage. Nous avons vu précédemment que cette période pouvait être calculée par la relation (N), qui fait intervenir la population initiale estimée, le nombre de grains par bac et le nombre de bacs à remplir. Cependant, le résultat obtenu directement à partir de cette équation n'est pas exploitable dans la plupart des cas, car il n'est pas entier. Cet inconvénient pourrait être levé en prenant la partie entière du résultat, mais cette méthode n'est pas satisfaisante car elle crée de gros problèmes dans certains cas. Ainsi, si l'on fait l'approximation de 2,9 par 2, le nombre de grains extraits par échantillonnage sera trop important par rapport aux besoins, et l'on risque d'introduire des aléas de fonctionnement dans la suite du processus. On ne peut donc retenir cette solution. D'autre part, l'étude cas par cas de chaque valeur, afin de déterminer la valeur d'échantillonnage convenant le mieux, n'est pas possible pour des raisons d'encombrement mémoire et de temps de calcul.

C'est pourquoi nous avons décidé de raisonner en établissant des classes d'échantillonnage. Il suffit alors de comparer la valeur de la période d'échantillonnage calculée par la relation (N) avec chacune des bornes définissant les classes. Lorsque l'on a trouvé entre quelles valeurs se trouvait la période calculée, on peut charger comme période d'échantillonnage effective la valeur de référence de cette classe.

On réduit ainsi considérablement les temps de calcul et le nombre de valeurs de référence à stocker en mémoire, pour obtenir une valeur de période d'échantillonnage directement exploitable par le calculateur. Il reste alors simplement à définir les classes et les périodes de référence.

II.2.3. Définition des classes d'échantillonnage.

Dans la mesure où ce programme doit pouvoir accepter tous les types de semences, et non seulement celles déjà mémorisées, il convient de définir ces classes pour tous les cas envisageables.

La méthode de définition de ces classes repose essentiellement sur l'emploi de la relation (N), faisant intervenir la population initiale moyenne, le nombre de bacs à remplir et le nombre de grains par bac. Nous avons vu que pour des raisons de sécurité, il était préférable de faire tous les calculs initiaux avec 55 grains par bac.

Pour les deux autres paramètres, on peut fixer une plage de valeurs envisageables. Ainsi, l'expérience montre que la population initiale estimée des variétés soumises au test de germination varie entre 1.200 et 5.000 pour les cas exceptionnels. Quant au nombre de bacs à remplir, il peut varier de 1 à 9, avec une très grande majorité des cas concernant le remplissage de deux, quatre ou huit bacs, ce qui correspond à des essais normalisés.

C'est donc à partir de ces valeurs que nous allons élaborer les différentes classes d'échantillonnage.

Ce travail s'effectue en appliquant la relation (N) à un certain nombre de valeurs caractéristiques de la population initiale et aux différentes possibilités de remplissage de bacs. On peut ainsi dresser un tableau des périodes d'échantillonnage calculées dans chaque cas (Tableau IV.2.).

L'analyse de ces résultats conduisant à l'élaboration des différentes classes se fait en respectant trois critères:

- d'une part minimisation du nombre de classes
- d'autre part, définition de classes représentatives, permettant essentiellement de ne pas extraire trop de semences dans les cas limites,
- définition d'une période d'échantillonnage facilement exploitable.

La construction des classes à l'aide de ces trois contraintes est très difficile, et ne peut se faire que par approximations successives. Cependant, pour faciliter l'élaboration des résultats, nous privilégierons les cas les plus fréquents, sur lesquels nous essaierons de centrer les classes (populations de 1.200 à 2.000 graines et remplissage de 2, 4 ou 8 bacs).

A l'aide de ces éléments nous avons établi quinze classes dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau IV.3.

Tableau IV.2. Calcul des classes d'échantillonnage.

Population \ Nombre Bacs	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.200	21,82	10,9	7,27	5,45	4,36	3,6	3,12	2,7	2,43
1.300	23,64	11,82	7,88	5,91	4,73	3,9	3,38	2,9	2,63
1.400	25,45	12,73	8,48	6,36	5,09	4,2	3,64	3,2	2,83
1.500	27,27	13,64	9,09	6,82	5,45	4,6	3,9	3,4	3,03
1.750	31,82	15,91	10,61	7,95	6,36	5,3	4,55	4,0	3,54
2.000	36,36	18,18	12,12	9,09	7,27	6,1	5,19	4,6	4,04
2.200	40	20	13,33	10	8	6,7	5,71	5	4,45
2.400	43,64	21,82	14,55	10,91	8,28	7,2	6,23	5,5	4,85
2.600	47,27	23,64	15,76	11,82	9,45	7,9	6,75	5,9	5,25
2.800	50,91	25,45	16,97	12,73	10,18	8,5	7,27	6,4	5,66
3.000	54,55	27,27	18,18	13,64	10,91	9,1	7,79	6,8	6,06
3.250	59,09	29,55	19,70	14,77	11,82	9,9	8,44	7,4	6,57
3.500	63,64	31,82	21,21	15,91	12,73	10,6	9,09	8	7,07
3.750	68,18	34,09	22,73	17,05	13,64	11,4	9,74	8,5	7,58
4.000	72,73	36,36	24,24	18,18	14,55	12,1	10,39	9,1	8,1
4.250	77,27	38,64	25,76	19,32	15,45	12,9	11,04	9,7	8,6
4.500	81,81	40,91	27,3	20,5	16,4	13,6	11,69	10,2	9,1
4.750	86,4	43,2	28,8	21,6	17,3	14,4	12,34	10,8	9,6
5.000	90,9	45,5	30,3	22,7	18,2	15,2	13,0	11,4	10,1

A l'aide de ces éléments nous avons établi quinze classes, dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau IV.3.

Ce tableau donne, dans chaque cas, un certain nombre d'informations relatives à la classe ainsi définie. On retrouve en effet:

- la période d'échantillonnage retenue.

Nous avons cherché à établir pour chaque classe une période entière pour des questions de facilité de mise en oeuvre. Cependant, il existe un cas où cette méthode n'a pu être appliquée (Classe A). Pour réaliser cet échantillonnage exceptionnel de 2,5, nous avons décidé d'extraire une graine sur deux, puis une sur trois et de poursuivre ainsi l'échantillonnage.

- les bornes de chaque classe.

Ces valeurs permettent de définir l'appartenance d'un échantillon à une classe. Pour ce faire, il suffit de calculer la période théorique par la relation (N) et de comparer celle-ci avec les bornes.

- les populations maximales et minimales extraites.

Ces valeurs sont données à titre indicatif, mais elles permettent de contrôler la validité des classes définies. On constate ainsi que la plupart des cas conduisant à l'extraction de plus de 61 grain par bec correspond à des essais non standard.

L'ensemble de ces informations constitue l'ossature du programme de définition des périodes d'échantillonnage convenant le mieux à chaque essai. Ce programme est très simple, puisqu'il calcule, à partir des paramètres fournis par l'opérateur, et de l'équation (N), la période d'échantillonnage théorique. Ensuite, il effectue les comparaisons entre cette valeur et les bornes des différentes classes, afin de déterminer à quelle classe la variété à tester appartient. Quand la classe est définie, le programme charge automatiquement en mémoire la période d'échantillonnage retenue.

On obtient ainsi une valeur d'échantillonnage facilement exploitable par le processeur, avec une méthode applicable à toutes les espèces susceptibles d'être testées. De plus, ce programme est court à exécuter et ne nécessite que peu de place en mémoire.

Tableau IV.3. Définition des classes d'échantillonnage.

Classe	Période	borne inf.	borne sup.	nombre mini de grains pris	nombre maxi de grains pris
A	2.5	2.4	2.95	53,3 grains/bac	60 grains/bac
B	3	2.95	3.8	51.9 grains/bac	66.7 grains/bac
C	4	3.8	4.8	53.6 grains/bac	61 grains/bac
D	5	4.8	5.9	53.3 grains/bac	62.8 grains/bac
E	6	5.9	6.8	54.2 grains/bac	61.9 grains/bac
F	7	6.8	7.85	53.6 grains/bac	61.2 grains/bac
G	8	7.85	8.9	54.2 grains/bac	59 grains/bac
H	9	8.9	10	55.6 grains/bac	60.1 grains/bac
I	10	10	11.5	55 grains/bac	62.5 grains/bac
J	12	11.5	14.5	53.6 grains/bac	62.5 grains/bac
K	15	14.5	17.5	52.8 grains/bac	63.3 grains/bac
L	18	17.5	22.5	55.6 grains/bac	66.6 grains/bac
M	23	22.5	29.5	54.4 grains/bac	68.8 grains/bac
N	30	29.5	40	54.2 grains/bac	70 grains/bac
P	42	40		dernière classe définie	



A l'aide de ces éléments nous avons établi quinze classes, dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau IV.3.

Ce tableau donne, dans chaque cas, un certain nombre d'informations relatives à la classe ainsi définie. On retrouve en effet:

- la période d'échantillonnage retenue.

Nous avons cherché à établir pour chaque classe une période entière pour des questions de facilité de mise en oeuvre. Cependant, il existe un cas où cette méthode n'a pu être appliquée (Classe A). Pour réaliser cet échantillonnage exceptionnel de 2,5, nous avons décidé d'extraire une graine sur deux, puis une sur trois et de poursuivre ainsi l'échantillonnage.

- les bornes de chaque classe.

Ces valeurs permettent de définir l'appartenance d'un échantillon à une classe. Pour ce faire, il suffit de calculer la période théorique par la relation (N) et de comparer celle-ci avec les bornes.

- les populations maximales et minimales extraites.

Ces valeurs sont données à titre indicatif, mais elles permettent de contrôler la validité des classes définies. On constate ainsi que la plupart des cas conduisant à l'extraction de plus de 61 grains par bac correspond à des essais non standard.

L'ensemble de ces informations constitue l'ossature du programme de définition des périodes d'échantillonnage convenant le mieux à chaque essai. Ce programme est très simple, puisqu'il calcule, à partir des paramètres fournis par l'opérateur, et de l'équation (N), la période d'échantillonnage théorique. Ensuite, il effectue les comparaisons entre cette valeur et les bornes des différentes classes, afin de déterminer à quelle classe la variété à tester appartient. Quand la classe est définie, le programme charge automatiquement en mémoire la période d'échantillonnage retenue.

On obtient ainsi une valeur d'échantillonnage facilement exploitable par le processeur, avec une méthode applicable à toutes les espèces susceptibles d'être testées. De plus, ce programme est court à exécuter et ne nécessite que peu de place en mémoire.

Tableau IV.3. Définition des classes d'échantillonnage.

Classe	Période	borne inf.	borne sup.	nombre mini de grains pris	nombre maxi de grains pris
A	2.5	2.4	2.95	53,3 grains/bac	60 grains/bac
B	3	2.95	3.8	51.9 grains/bac	66.7 grains/bac
C	4	3.8	4.8	53.6 grains/bac	61 grains/bac
D	5	4.8	5.9	53.3 grains/bac	62.8 grains/bac
E	6	5.9	6.8	54.2 grains/bac	61.9 grains/bac
F	7	6.8	7.85	53.6 grains/bac	61.2 grains/bac
G	8	7.85	8.9	54.2 grains/bac	59 grains/bac
H	9	8.9	10	55.6 grains/bac	60.1 grains/bac
I	10	10	11.5	55 grains/bac	62.5 grains/bac
J	12	11.5	14.5	53.6 grains/bac	62.5 grains/bac
K	15	14.5	17.5	52.8 grains/bac	63.3 grains/bac
L	18	17.5	22.5	55.6 grains/bac	66.6 grains/bac
M	23	22.5	29.5	54.4 grains/bac	68.8 grains/bac
N	30	29.5	40	54.2 grains/bac	70 grains/bac
P	42	40		dernière classe définie	

II.3. Conclusion.

Le programme de dialogue opérateur-processeur est maintenant totalement défini. Il permet à un utilisateur, non spécialisé en informatique, d'introduire les différents paramètres caractéristiques de la variété à tester. Ce chargement de données se fait de façon très simple, en suivant les instructions s'affichant sur l'écran. Ce travail est rendu plus aisé par l'existence d'un menu regroupant les variétés les plus souvent testées, pour lesquelles les paramètres se chargent automatiquement, quand l'espèce est sélectionnée. Il existe aussi une procédure manuelle permettant de procéder à des tests de variétés rares.

Lorsque les données ont été introduites et contrôlées, une routine est déclenchée qui permet de transcrire ces valeurs en des informations directement exploitables par le processeur chargé de piloter le processus. Ces paramètres sont rangés dans des emplacements mémoire précis, auxquels le processeur peut facilement accéder, afin de les transmettre au programme de commande du processus.

Le listing complet de ce programme, écrit en langage BASIC, se trouve présenté en Annexe P, sous le nom de LANCER.BAS.

Quand le dialogue opérateur-processeur est achevé, après l'introduction, le contrôle et la traduction des différentes informations, le test de mise en germination automatique peut débuter. Nous allons donc maintenant étudier plus précisément le programme de commande et de contrôle de ce processus.

III - COMMANDE DU PROCESSUS DE MISE EN GERMINATION AUTOMATIQUE

La commande du processus peut se résumer en trois phases distinctes;

- acquisition des informations provenant des différents capteurs,
- traitement de ces données, en exploitant les paramètres introduits par l'opérateur pendant l'exécution du programme de dialogue opérateur-processeur,
- utilisation des résultats de ce traitement pour activer les effecteurs nécessaires au bon déroulement du test.

Cependant, la complexité de cette commande repose principalement sur le nombre important d'informations qu'il convient de traiter en temps réel. Ainsi, nous avons établi au chapitre III que le nombre de capteurs nécessaires au bon fonctionnement du prototype était de 6, (tableau III.8), et le nombre d'actionneurs de 12 (tableau III.9).

Pour que le test de mise en germination automatique se déroule sans erreur, il faut pouvoir prendre en compte chaque entrée au moment où celle-ci varie. Comme chaque information reçue doit subir un traitement avant de déclencher une action, on constate la difficulté qu'il y a d'écrire les programmes de commande.

Pour résoudre ce problème, il convient essentiellement de définir une méthodologie de programmation permettant de prendre en compte toutes les contraintes que nous venons d'établir, auxquelles il faut aussi ajouter les besoins spécifiés par le cahier des charges concernant la vitesse de réalisation de chaque test.

Cependant, la définition d'une méthode de programmation nécessite préalablement le choix d'un langage de programmation approprié, et c'est donc cette question que nous allons tout d'abord étudier.

III.1. Choix d'un langage de programmation.

Le choix d'un langage de programmation de la commande du processus est guidé par un certain nombre de critères, dont le plus important est la vitesse de traitement des informations reçues. Cette notion recouvre plusieurs aspects distincts. Tout d'abord, comme nous avons plusieurs entrées, et qu'elles sont toutes regroupées sur le même port, donc dans le même mot, il faut disposer d'un langage permettant d'accéder directement à chaque bit d'entrée, sans devoir effectuer un traitement préliminaire au niveau de l'octet représentant l'état des capteurs. La première conclusion que nous pouvons donc tirer est que nous devons disposer d'un langage que l'on pourrait qualifier "d'orienté bit", et non mot comme la plupart des langages évolués.

D'autre part, une fois l'information acquise, il convient de la traiter rapidement. Un traitement rapide suppose un langage disposant de nombreuses instructions de comparaison permettant une étude rapide et approfondie de chacune des variables de l'état testé.

Enfin, les traitements effectués débouchant sur des ordres d'action envoyés vers des panneaux regroupant les sorties, on retrouve alors les mêmes conclusions que précédemment, avec un besoin d'un langage "orienté bit".

Cependant, en plus de ce principal critère de choix qu'est la vitesse d'exécution, il existe d'autres conditions, qui revêtent un caractère moins absolu.

Ainsi, pour faciliter la programmation, il semble souhaitable de disposer d'un langage permettant d'activer certains circuits internes du processeur de façon aisée, en particulier les circuits d'horloge et d'interruptions.

D'autre part, le langage de programmation retenu doit aussi permettre d'établir un dialogue aisé avec le programme d'interface homme-machine, que nous avons écrit en BASIC. Ce dialogue doit surtout autoriser un passage simple de paramètres d'un langage à l'autre.

Enfin, un dernier critère de choix est la facilité de programmation et de relecture des programmes écrits.

La définition des différentes caractéristiques nécessaires au langage de programmation que nous désirons employer montre donc que le choix de ce langage n'est guère aisé.

Cependant, pour répondre au critère principal, concernant la

vitesse d'exécution, il est clair que nous devons utiliser un langage se rapprochant le plus possible du langage primaire des microprocesseurs, c'est-à-dire le langage binaire.

Il n'est, bien sûr, pas question de programmer la commande du processus en langage binaire, car si ce langage est le plus rapide dans l'exécution des tâches, il présente de très gros inconvénients pour la programmation et la compréhension des programmes écrits.

Si l'on ne peut utiliser le langage directement compréhensible par le processeur, il faut donc se résoudre à utiliser un langage plus évolué, et donc accepter le principe d'une traduction des commandes que l'on écrit en langage binaire. Si cette traduction se fait automatiquement il ne faut cependant pas négliger le temps qu'elle nécessite et qui peut être très important.

Pour résoudre ce problème, il existe deux solutions. On peut soit utiliser un langage nécessitant peu de traduction, comme l'assembleur soit employer un langage évolué doté d'un compilateur très puissant, c'est le cas du PASCAL avec un compilateur TURBO.

Cette deuxième solution est très séduisante, car elle présente deux avantages. D'une part, elle permet une programmation aisée, puisque celle-ci se fait dans un langage très évolué, le PASCAL, ce qui permet de donner beaucoup de clarté aux programmes lors de la relecture. D'autre part, la vitesse d'exécution est très grande du fait de l'emploi d'un compilateur TURBO. Cependant, cette solution présente aussi quelques inconvénients. L'accès aux circuits logiques du processeur n'est guère aisé et nécessite souvent d'avoir recours à des routines écrites en assembleur. De même, certains tests de mots d'état ne sont possibles qu'en assembleur, ou bien obligent à un emploi de sous-programmes lourds et difficiles à mettre en place. Ces inconvénients ont été résolus récemment, mais lorsque nous avons dû décider du choix du langage de programmation, ces nouvelles versions performantes de TURBO PASCAL n'étaient pas encore disponibles, et nous avons donc écarté cette solution.

Nous avons donc décidé d'utiliser un langage assembleur Z.80 pour écrire les programmes de commande du processus. Ce langage est, bien sûr, parfaitement adapté à la commande des circuits internes du processeur puisqu'il est créé spécifiquement à cet usage. La vitesse d'exécution est élevée car l'assembleur est très proche du langage binaire. La commande bit à bit et le contrôle de chaque bit sont aussi aisés, particulièrement dans le cas du processeur Z.80 qui autorise de

très nombreuses possibilités de tests de bits d'entrée-sortie et de mots d'état du processeur. Enfin, ce langage possède plusieurs instructions de saut, conditionnel ou inconditionnel, ce qui facilite considérablement l'écriture de programmes.

Cependant, l'assembleur Z.80 possède, comme tous les langages du même type, un inconvénient majeur, qui réside dans la difficulté de lecture des programmes écrits dans ce genre de langage. En effet, les instructions de l'assembleur sont constituées de codes formés selon une syntaxe très rigoureuse et particulière.

La seule solution pour pallier cet inconvénient réside alors dans l'emploi d'un éditeur permettant de rédiger les programmes en les accompagnant de commentaires explicitant chaque instruction. Cette méthode parfois contraignante pour le programmeur permet de donner beaucoup plus de clarté aux programmes de commande, sans pénaliser la vitesse d'exécution, puisque les commentaires sont ignorés par le processeur lors du traitement de chaque instruction.

Nous obtenons ainsi un langage répondant aux principales contraintes que nous avons définies. Par sa conception, l'assembleur Z.80 permet une vitesse de traitement des informations très élevée, et autorise un accès rapide aux commandes des circuits internes du processeur. La liaison avec le programme d'introduction de paramètres, écrit en BASIC, est aussi facilitée dans la mesure où l'échange des données se fait par l'intermédiaire de la mémoire de l'ordinateur. Dans ce cas, il suffit d'écrire une routine de lecture d'emplacements mémoire, pour avoir accès à ces informations. Enfin, le principal défaut des programmes en assembleur peut être levé par l'emploi d'un éditeur de programmes permettant l'écriture de commentaires en français pour chaque instruction.

Le choix du langage étant précisé, il convient maintenant d'étudier de façon précise l'écriture de la commande du processus de mise en germination automatique.

III.2. Structure de la commande du processus.

Pour satisfaire les contraintes précédemment définies, il existe principalement trois grandes structures de définition de la commande du processus, que l'on peut intituler:

- commande consécutive
- commande simultanée ordonnée
- commande simultanée aléatoire.

a - Commande consécutive.

La commande consécutive consiste à n'effectuer qu'une action à la fois. Cette action peut être l'acquisition d'une entrée, le traitement découlant de cette acquisition, ou la commande d'une sortie. Dans le cas d'un tel pilotage, on bloque toute évolution du processus tant que l'action attendue n'est pas complètement achevée. Les trois modules mécaniques ne peuvent alors fonctionner simultanément, et le déroulement du test de mise en germination ne peut s'effectuer que selon la procédure suivante:

- 1 - Contrôle de la présence de grains dans l'échantillonneur
- 2 - Mesure de chaque grain et intervalle
- 3 - Extraction de tous les grains vérifiant le critère de sélection que nous avons établi
- 4 - Echantillonnage des grains extraits
- 5 - Mesure de chaque grain et intervalle dans le sérialisateur
- 6 - Extraction d'un grain vérifiant le critère de sélection
- 7 - Implantation du grain extrait dans le bac de germination
- 8 - Mouvement de l'organe de dépose vers la place suivante ou attente d'un nouveau bac de germination
- 9 - Retour à l'étape 6, ou début d'un nouveau test.

On constate rapidement que cette procédure est très longue à exécuter, surtout dans le cas de populations initiales nombreuses, et d'un nombre important de bacs à re-plier. Un temps très important est perdu dans l'attente d'événements, et le processeur est considérablement sous-employé. De plus, une telle commande ne permet pas de modifications ou d'ajouts aisés. Enfin, le traitement d'informations diffusées vers d'autres périphériques (édition de comptes-rendus, impression d'étiquettes)

doit être traité consécutivement à la réalisation du test. On atteint alors un temps de travail pour chaque essai qui n'est plus du tout compatible avec les exigences précédemment établies.

Cette structure de commande ne peut donc être retenue dans le cadre de notre étude, et nous allons nous orienter vers un type de programmation utilisant plus intensivement le processeur dans le contrôle des différentes opérations de mise en germination.

b - Commande simultanée ordonnée.

Nous venons de voir que, pour des raisons de temps d'exécution principalement, il n'était pas possible de faire fonctionner les trois modules mécaniques consécutivement. Nous devons donc effectuer simultanément l'échantillonnage, la sérialisation et l'implantation des grains. Cependant, nous ne disposons que d'un seul processeur pour contrôler le bon déroulement du test. Nous allons devoir développer une commande particulière, permettant une conduite simultanée des trois ensembles, sans perdre une seule information.

Dans ce cas, le concept de commande simultanée ordonnée peut apporter une solution au problème posé.

Cette méthode de programmation repose sur un constat simple et très répandu dans la réalisation de commandes d'automatismes industriels. En effet, dans la plupart des cas, on peut considérer que le processus à piloter varie très lentement par rapport au temps de traitement du processeur. Ce phénomène est particulièrement mis en évidence si l'on compare les temps de réaction des actionneurs ou des capteurs, de l'ordre de 1 milliseconde, avec la fréquence d'horloge du processeur, qui est environ 4 MHz.

De cette constatation découle la structuration de la commande en trois étapes principales:

- 1 - Acquisition des entrées
- 2 - Traitement des informations reçues
- 3 - Mise à jour des sorties,

Retour à l'étape 1, ou arrêt du programme si le test est terminé.

Ainsi programmé, le processeur effectue lors de chaque cycle une acquisition de toutes les entrées qu'il mémorise. Ensuite, il effectue le traitement de chaque information, jusqu'à la commande des sorties

nécessaires. Toutes les entrées sont ainsi étudiées consécutivement, et lorsque tous les ordres de commande ont été élaborés, ceux-ci sont envoyés en bloc vers les actionneurs, au cours de la phase de mise à jour des sorties, avant de procéder à une nouvelle lecture de l'état des entrées.

L'avantage d'une telle méthode de programmation réside essentiellement dans le fait qu'un seul processeur peut contrôler le fonctionnement simultané de plusieurs modules mécaniques. Mais cette commande ne peut pas être utilisée dans tous les cas de processus évoluant en parallèle. En effet, la mise en oeuvre d'une telle procédure implique le respect d'une règle fondamentale. Le temps de cycle programme doit impérativement être très faible devant le temps d'évolution de chacune des entrées, sinon on risque de perdre certaines informations.

Dans le cas de notre réalisation, le temps de cycle programme dépend essentiellement du temps de traitement de toutes les informations. Or celui-ci varie considérablement d'un tour à l'autre, suivant l'état des entrées, de quelques microsecondes dans le cas de l'attente de grains sur le plateau de l'échantillonneur, à plusieurs millisecondes pour le contrôle de la taille d'une semence dans le sérialisateur.

D'autre part, certaines entrées évoluent très rapidement, en particulier celles liées aux capteurs de mesure des grains et intervalles. La règle précédemment définie ne peut plus être systématiquement vérifiée, et la réalisation du programme selon le principe de la commande simultanée ordonnée ne peut donc être envisagée dans le cadre de notre étude.

Il convient donc d'étudier une autre méthode de programmation.

c - Commande simultanée aléatoire.

Le principe du fonctionnement simultané des trois modules mécaniques ne peut être remis en cause pour des raisons de rapidité d'exécution des tests de mise en germination. C'est donc la méthode de saisie des évolutions des états de chaque machine qu'il convient d'adapter aux besoins de notre réalisation. Nous avons vu que la commande ordonnée ne pouvait convenir, principalement à cause d'un manque de souplesse dans l'utilisation du processeur, puisque celui-ci ne peut pas prendre en compte une variation rapide d'une entrée.

C'est donc vers une plus grande adaptabilité de la commande aux évolutions des capteurs que nous allons orienter notre étude.

Cet objectif ne peut être atteint avec les méthodes classiques d'automatisation, et il est alors nécessaire d'avoir recours à une autre approche technologique mettant en oeuvre les interruptions programmées.

Le principe de la commande de processus par interruptions est assez simple. Le processeur est utilisé pour exécuter un programme, appelé "tâche de fond". Lorsqu'un événement extérieur, déclaré comme interruption survient, l'unité centrale suspend le traitement de la tâche de fond, dès la fin de l'instruction en cours, et entreprend l'exploitation de cette nouvelle donnée, par l'intermédiaire d'un programme d'interruption spécifique. Quand le déroulement de cette routine est achevé, le processeur reprend l'exécution de la tâche de fond, à l'instruction suivant celle où il avait été interrompu.

Cette méthode de programmation confère donc à la commande du processus une très grande souplesse dans l'acquisition des informations provenant des modules mécaniques. Cependant, la mise en oeuvre des interruptions n'est guère simple et nécessite de nombreuses précautions pour éviter un blocage du programme de commande. En effet, l'expérience montre qu'un nombre trop important d'interruptions, qui par définition surviennent de façon aléatoire, tend à désorganiser le bon déroulement du processus. Il est donc très important de bien définir le nombre juste nécessaire et la nature des interruptions que nous allons utiliser, afin de minimiser les risques de blocage. C'est cette analyse que nous allons maintenant développer.

III.3. Mise en oeuvre des interruptions.

La réalisation d'un programme de commande utilisant les interruptions est assez complexe, si l'on désire un fonctionnement optimal du processus. Il faut prendre en compte un certain nombre de contraintes, et en particulier celles issues du matériel.

En effet, pour pouvoir exploiter les possibilités offertes par les interruptions, il faut que l'unité centrale soit dotée d'un circuit spécifique permettant la mise en oeuvre et la gestion des signaux d'interruptions. Ce circuit est entièrement défini par le constructeur qui lui confère un certain nombre de propriétés, que l'utilisateur peut ensuite exploiter.

Dans le cas du micro-processeur Z.80 que nous utilisons, ces possibilités sont les suivantes;

- une ligne d'interruption non masquable, entre le circuit d'interruption et le processeur. Cette liaison permet de mettre en place une interruption de priorité maximale.
- une ligne d'interruptions masquables, entre le circuit de gestion des interruptions et le processeur. Cette liaison autorise l'utilisation d'interruptions de deux origines,
 - les interruptions d'horloge interne, au nombre de quatre, hiérarchisées en quatre niveaux,
 - les interruptions provenant des ports d'entrée hiérarchisées sur quatre niveaux.
- la hiérarchie des interruptions est définie par le matériel, quelle que soit l'origine de celles-ci.
- gestion automatique des interruptions.

Lorsqu'une interruption survient, le circuit de gestion vérifie son degré de priorité, puis selon les cas mémorise la demande d'interruption ou bien l'achemine vers le processeur. Quand l'interruption doit être servie, le processeur achève le traitement de l'instruction étudiée, range le contexte en mémoire ainsi que l'adresse de l'instruction suivante devant être effectuée, puis se déroute vers le sous-programme d'interruption. A la fin de cette routine, le contexte est restitué et le traitement de la tâche de fond reprend à l'instruction mémorisée. L'ensemble de ces traitements se fait automatiquement, sans que l'opérateur ait à intervenir.

On constate donc que ce circuit spécialisé offre de nombreuses possibilités et facilite la tâche de l'utilisateur dans la mise en oeuvre des interruptions. Il présente cependant une lacune. En effet, alors qu'il est possible d'avoir des interruptions provenant de deux origines distinctes (interruptions d'horloge et interruptions issues des ports d'entrée), seul un circuit "ou exclusif" assure la sélection entre ces deux modes d'interruptions. Aucune priorité n'est prévue. Si le risque de blocage est minime; il faudrait alors qu'une interruption d'horloge et une interruption d'entrée surviennent au même instant; il appartient néanmoins au programmeur d'éviter ces conflits possibles.

Ayant ainsi défini les possibilités offertes par le matériel, de même que ses limites, il nous reste maintenant à exploiter ces caractéristiques pour élaborer une commande du processus de mise en germination répondant aux contraintes précitées.

IV - REALISATION DE LA COMMANDE PAR INTERRUPTIONS.

La mise en oeuvre d'une commande par interruptions nécessite un certain nombre de précautions initiales, si l'on désire obtenir un déroulement correct du processus de mise en germination.

Ainsi, dans un premier temps, convient-il de définir très précisément le nombre d'interruptions que nous allons utiliser.

Cette analyse ne peut se faire qu'en étudiant très précisément la corrélation qui existe entre les entrées, les paramètres introduits par l'opérateur et les sorties.

Le tableau IV.4. présenté page suivante permet de mettre en évidence les liens existants entre ces diverses informations.

Ce tableau permet de constater que les informations d'entrée sont essentiellement de deux types,

- d'une part, les informations de contrôle (E.1, E.3, E.5 et E.6)
- d'autre part, les informations de mesure (E.2 et E.4).

Cette distinction n'est pas seulement formelle, elle recouvre aussi la nature des données à saisir.

En effet, la procédure de contrôle nécessite simplement de constater un changement d'état du capteur. Il n'est alors pas indispensable au bon déroulement du processus de détecter aussi le retour du capteur à l'état initial. C'est donc surtout une information de type impulsionnel que nous cherchons à acquérir.

Au contraire, le cas des informations de mesure est plus complexe. Il s'agit alors de mesurer la longueur des grains et intervalles entre grains. Comme l'on connaît la vitesse de rotation du plateau et que l'on peut admettre que les particules se déplacent à la même vitesse, si l'on néglige les frottements et les chocs contre la barrière latérale, on peut ramener ce contrôle de longueur à la mesure du temps d'occultation ou de non-occultation du faisceau incident du capteur.

La relation entre longueur et temps est alors:

$$L = v.t$$

avec: - L: longueur du grain ou de l'intervalle

- v: vitesse de rotation du plateau

- t: temps mesuré.

Tableau IV.4. Récapitulatif des liens entre entrées, paramètres et sorties.

Entrée	Paramètre	Sortie commandée
- E.1. Contrôle grain planté	!	! - S.1 à S.6
	!	! Commandes moteurs pas à pas
	!	! - S.12 Air de blocage d'un grain
	!	! dans le sérialisateur
- E.2. Mesure de grain dans l'échantillonneur	! Taille d'un grain	! - S.7. Air de séparation échantillonneur
	!	! <u>OU</u>
	!	! - S.8. Air expulsion échantillonneur
- E.3. Contrôle présence grains dans l'échantillonneur	!	! Débute le test
- E.4. Mesure de grain dans le sérialisateur	! Taille d'un grain	! - S.10. Air de séparation sérialisateur
	!	! <u>OU</u>
	!	! - S.11. Air expulsion sérialisateur
- E.5. Contrôle grain sorti de l'échantillonneur	! Période d'échantil.	! - S.9. Air d'échantillonnage
- E.6. Contrôle présence bac germination en position	! Nombre de bacs à remplir	!



Cette classification des entrées en deux familles permet de définir plus aisément le type d'interruptions que nous allons mettre en oeuvre pour saisir les informations nécessaires.

Ainsi, les entrées de contrôle seront connectées sur les lignes d'interruptions d'entrée, alors que les capteurs de mesure de grains et intervalles seront couplés avec des interruptions d'horloge.

Il nous reste donc à étudier précisément l'exploitation de ces interruptions, en nous intéressant particulièrement à la définition des priorités.

IV.1. Interruptions d'entrée.

Nous avons défini quatre entrées de contrôle délivrant des informations de type impulsif. Cependant, ces données ne revêtent pas toutes la même importance pour le bon déroulement du processus.

Nous allons donc analyser chacune de ces entrées afin de préciser, d'une part si il est nécessaire de la coupler à une interruption et d'autre part quelle priorité lui conférer.



Si l'on suit la chronologie de déroulement du test, nous nous intéresserons d'abord à l'entrée E.3. qui permet de détecter la présence de graines dans l'échantillonneur. Cette information conditionne tout le déroulement du test. Aussi est-il plus logique de bloquer l'évolution du processus tant que cette donnée n'est pas présente, plutôt que de la coupler à une interruption. On allège ainsi la gestion des interruptions, sans nuire aux performances puisque l'on ne peut engager aucune action tant qu'aucune graine n'est détectée sur le plateau de l'échantillonneur.

L'acquisition des informations impulsives issues des autres capteurs nécessite l'emploi des interruptions. Il convient alors de préciser les priorités que l'on peut accorder à chaque entrée.

Pour établir cette hiérarchie, différents critères sont mis en oeuvre. Dans un premier temps il faut déterminer l'importance de l'information pour le bon déroulement du test. On privilégiera ainsi les données provenant de la partie la plus en aval du processus, afin de limiter les risques d'engorgement. De plus, on prendra en compte le nombre et l'importance des traitements découlant de l'acquisition de

chaque information.

Le second critère que l'on peut utiliser est plus subjectif et consiste à estimer le délai que l'on peut tolérer entre l'instant d'acquisition d'une donnée et le début du traitement de celle-ci. Du fait de la difficulté de mettre en oeuvre une telle analyse, cet élément de choix ne peut être employé qu'en complément de la première étude.

Ces différents critères nous ont conduit à définir les ordres de priorité suivants:

- priorité maximale: entrée E.1. contrôle grain planté.

C'est l'information la plus aval du processus. Son acquisition permet de déclencher le mouvement de l'organe de dépose vers la place suivante, et le test de sélection d'un autre grain dans le sérialisateur.

- priorité intermédiaire: entrée E.5. contrôle sortie grain de l'échantillonneur.

C'est l'information qui permet d'effectuer la procédure d'échantillonnage. Elle autorise la reprise du test de sélection pour un grain suivant.

- priorité minimale: entrée E.6. contrôle présence bac de germination.

Cette information présente une importance moindre, comparativement aux deux précédentes. Elle n'influe aucunement sur la procédure d'échantillonnage, et n'interfère que peu sur la sérialisation. Enfin, le délai de réponse peut être important, car ce temps est masqué par la durée du retour du module d'implantation en position initiale.

Cette définition des priorités d'interruptions fixe aussi le câblage des compteurs d'entrée sur les différents ports. En effet, nous avons vu que la hiérarchie des priorités était fixée par le constructeur qui confère certaines propriétés à certaines adresses précises.

Ainsi, dans le cas des interruptions vectorisées que nous employons, l'ordre des priorités pour la carte P.I.O. est le suivant:

priorité maximale:	port 1.A.
	port 1.B.
	port 2.A.
↑	
priorité minimale:	port 2.B.

Sur chacun des ports, aucune priorité n'est définie entre les bits.

Ainsi, pour mettre en oeuvre trois interruptions de priorités distinctes, devons-nous utiliser trois des quatre ports disponibles. Pour simplifier la maintenance et rationaliser la structure de l'ensemble informatique, nous avons décidé de connecter chaque capteur déclenchant une interruption sur le bit 0 de chaque port.

Quant à l'entrée E.3. de contrôle de présence de graines, elle n'active pas d'interruption et peut donc être branchée sur n'importe quel bit de chaque port.

L'ensemble des entrées de type impulsif étant maintenant entièrement défini, et la connexion des capteurs afférents précisée, nous pouvons aborder l'étude de l'autre famille d'informations utilisées dans le processus; les mesures des grains et intervalles.

IV.2. Acquisition des informations de mesure.

Nous avons déjà établi que la mesure des grains et intervalles pouvait se ramener au décomptage du temps d'occultation ou de non-occultation du faisceau incident du capteur de mesure.

Dans ces conditions, il est intéressant d'exploiter les circuits d'horloge dont le processeur est pourvu. On évite ainsi d'avoir à réaliser par logiciel un compteur de temps, et surtout on libère l'unité centrale de la tâche fastidieuse de comptage.

Cependant, l'acquisition de cette information, en utilisant ces circuits spécialisés, peut se faire de deux façons:

- Acquisition par interruptions et horloge,
- Acquisition par interruption d'horloge uniquement.

a - Acquisition par interruption et horloge.

Cette méthode repose sur le principe le plus simple pour la saisie d'une donnée indiquant la durée. Elle consiste à démarrer une horloge chaque fois que le capteur de mesure change d'état.

Pour être sûr de ne perdre aucune variation du détecteur, il convient de coupler celui-ci à une ligne d'interruption. Lors du changement d'état, la routine de traitement de l'interruption est lancée et doit exécuter trois tâches importantes. Tout d'abord, elle doit arrêter l'horloge en cours, lire et sauvegarder le contenu de son registre interne, qui donne le temps écoulé depuis son lancement.

Ensuite, elle devra remettre cette horloge à l'état initial et la redémarrer pour la saisie suivante. Enfin, elle assurera le traitement de l'information reçue, c'est à dire vérifiera le critère de sélection que nous avons élaboré précédemment.

Cette méthode, simple dans la théorie, s'avère très délicate à mettre en oeuvre sur le plan informatique. Cette difficulté provient essentiellement de la définition des interruptions.

En effet, si une des raisons principales de l'emploi d'interruptions est de pouvoir répondre rapidement à un changement d'état d'un capteur, leur utilisation en "va et vient" n'est guère aisée. Ce problème est directement issu de la configuration informatique des interruptions. Lorsque l'on doit les programmer, il faut définir un certain nombre de paramètres, et en particulier le mode de déclenchement de l'interruption. L'opérateur peut choisir une activation sur le front montant ou descendant de la variation du capteur. Ainsi, dans le cas de la mise en oeuvre que nous étudions, il faudrait avoir une activation sur front montant pour lancer la mesure d'un grain, puis sur front descendant pour débiter la mesure de l'intervalle. On serait donc obligé de reconfigurer l'interruption par logiciel lors de chaque interruption, en pleine phase d'exploitation. Compte tenu des cadences de traitement auxquelles nous sommes confronté, une telle solution ne peut être envisagée sans risquer de bloquer le processus.

On pourrait alors essayer de résoudre ce problème en connectant le capteur sur deux lignes d'interruptions configurées de façons complémentaires. Mais une telle réalisation n'est pas possible avec la structure actuelle du matériel informatique, puisque l'on ne dispose plus que d'une seule ligne d'interruption hiérarchisée. Mais surtout, cette solution alourdit considérablement la commande du processus, sans accroître notablement les performances, par rapport à une solution n'utilisant que des interruptions d'horloge, ainsi que nous allons le voir.

b - Acquisition par interruptions d'horloge.

Cette méthode d'acquisition repose sur un principe totalement opposé à l'emploi habituel des interruptions.

En effet, les interruptions sont couramment utilisées pour permettre à un événement extérieur de modifier le déroulement du programme de commande. Dans le cas présent, nous générerons une

interruption à intervalles réguliers pour aller scruter l'état du capteur. L'image du temps d'occultation (ou de non occultation) est alors obtenue en incrémentant un registre du processeur d'une unité à chaque lecture, tant que le capteur ne change pas d'état, par rapport à l'acquisition précédente. Lorsque l'on détecte un changement par rapport à la saisie antérieure, il suffit de remettre le registre à zéro et de reprendre le cycle de scrutation.

Cette méthode présente de nombreux avantages. La régularité des intervalles de mesure est garantie par la fréquence de travail du processeur. Le nombre de circuits mis en oeuvre est réduit au seul circuit d'horloge. Il suffit de charger le compteur de celle-ci avec une valeur correspondant à la durée d'un intervalle entre deux mesures désirée. L'interruption est automatiquement générée quand cette valeur de consigne est atteinte, et le compteur interne est remis à zéro, sans que l'opérateur ait à intervenir. Enfin, l'acquisition des résultats est très aisée, puisque l'on peut utiliser les registres du processeur pour les stocker avant de les traiter directement par le programme assembleur.

Cette solution, bien que n'utilisant pas les interruptions de manière courante, est donc la plus appropriée pour l'acquisition des longueurs des grains et intervalles, selon le principe que nous avons établi, et nous allons donc la mettre en oeuvre pour chacun des deux capteurs devant assurer les mesures des particules, dans l'échantillonneur et le sérialisateur.

La mise en oeuvre d'une telle méthode permet donc de n'utiliser que deux des quatre horloges internes accessibles à l'opérateur. Il en reste alors deux à notre disposition, que nous pouvons employer pour soulager le processeur d'autres tâches de comptage.

IV.3. Commande de sorties par interruptions d'horloge.

Nous avons défini les modes d'acquisition des entrées, et nous pouvons encore exploiter deux circuits d'horloges internes pour piloter certaines sorties.

Si nous analysons précisément les actions à effectuer, nous constatons rapidement qu'elles peuvent, là encore, se répartir en deux catégories distinctes; d'une part les sorties entièrement dépendantes des entrées et des traitements informatiques qu'elles entraînent,

(sorties S.7. à S.12.), et d'autre part, les sorties fonctions des entrées et du temps (sorties S.1 à S.6.). Les sorties de cette deuxième famille sont les commandes des deux moteurs pas à pas que nous avons étudiés au Chapitre III. Pour mettre en oeuvre ces moteurs, nous avons choisi la commande par un oscillateur externe, en l'occurrence le processeur, pour des raisons d'unicité de commande. Nous devons donc générer les signaux nécessaires au pilotage de ces actionneurs. Pour chaque moteur, nous devons élaborer trois informations;

- la mise sous ou hors tension
- le sens de rotation
- les impulsions de commande.

Les deux premières données sont indépendantes du temps, et sont uniquement liées aux mouvements que l'on désire effectuer.

Par contre la réalisation des impulsions de commande nécessite la création de signaux parfaitement calibrés en tension et surtout en durée. Il faut, en effet, maintenir la tension de commande au niveau haut (+5 V) ou bas (0 V) pendant un certain temps, pour que l'électronique de commande des moteurs puisse la prendre en compte et déplacer le rotor d'un pas. Les temps de maintien préconisés par le constructeur sont de 150 ms au niveau +5 V et de 100 ms au niveau 0 V.

Pour dégager le processeur de cette tâche de comptage, nous avons décidé de consacrer les deux horloges disponibles à la génération de ces signaux. Ainsi, lorsque qu'un déplacement doit être effectué, le processeur génère le niveau de tension voulu (haut ou bas) et lance une horloge. Quand le temps de consigne est écoulé, une interruption est déclenchée, et le processeur commande le niveau complémentaire du précédent, et active la seconde horloge. Le cycle se poursuit ainsi jusqu'à ce que la position désirée soit atteinte.

Cette réalisation permet de produire des signaux parfaitement calibrés, sans alourdir le fonctionnement du processeur.

On peut cependant noter que nous avons choisi de générer les signaux de commande en exploitant les deux horloges, alors qu'une seule aurait pu suffire. Cette décision est guidée par le désir de réaliser une programmation simplifiée. En effet, cette méthode permet d'atteindre les valeurs de consigne préconisées par le constructeur, sans devoir à chaque interruption reprogrammer l'horloge interne, ce qui est toujours difficile en phase d'exploitation, et risque de conduire à des blocages de la commande. Cette mise en oeuvre particulière est facilitée par le fait que les mouvements que nous devons effectuer sont rectilignes, et n'impliquent qu'un seul moteur à la fois.

L'emploi de toutes les interruptions d'horloges internes est maintenant entièrement défini. Il reste à préciser les degrés de priorité que nous allons conférer à chacune d'entre elles.

La hiérarchie des interruptions d'horloge suit une procédure identique à celle que nous avons établie pour les interruptions d'entrée. Les mêmes critères peuvent donc s'appliquer, et ils conduisent à accorder une priorité plus grande aux interruptions permettant la mesure des grains et intervalles, au détriment des interruptions commandant les mouvements des moteurs pas à pas.

Entre les deux interruptions d'horloge assurant la mesure des particules, aucune hiérarchie ne peut être rationnellement établie, et même ne s'avère utile. En effet, les deux plateaux des modules mécaniques tournent à la même vitesse, et nous allons donc utiliser la même fréquence de mesure pour les deux capteurs. Il suffit alors de créer un décalage de l'origine des mesures de chaque détecteur pour avoir la certitude d'éviter tout conflit entre ces deux interruptions.

Il en va de même avec les deux autres interruptions d'horloge. Aucune hiérarchie ne s'avère nécessaire puisque les deux horloges fonctionnent consécutivement et non simultanément.

Toutes ces données nous ont conduit à définir la configuration suivante pour les circuits d'horloges internes:

Priorité maximale:	Horloge A:	mesure des grains dans l'échantillonneur
	Horloge B:	mesure des grains dans le sérialisateur
	Horloge C:	génération des signaux des moteurs pas à pas
Priorité minimale:	Horloge D:	génération des signaux moteurs pas à pas.

L'architecture globale du système est donc maintenant totalement définie. Tous les circuits d'interruptions que nous allons exploiter sont précisés, avec leur emploi et les priorités qui leur sont accordées. La configuration physique des ports d'entrée-sortie est figée et présentée dans le tableau IV.5.

Il reste alors à préciser certains aspects logiciels de cette commande, et à expliciter les tâches dévolues à chaque sous-programme d'interruption.

Tableau IV.5. Configuration physique des ports d'entrée-sortie.

- Ports d'entrée (carte P.I.O. 4 ports)

- Port 1A:

! Bit !	Capteur, fonction	!
!-----!	!-----!	!
! 0 !	Entrée E.1. contrôle grain planté.	!
! !	INTERRUPTION priorité maximale	!
! 1 !	non attribué	!
! 2 !	Entrée E.2. mesure grain dans l'échantillonneur	!
! 3 !	Entrée E.3. contrôle présence grains dans l'échantillonneur	!
! 4 !	Entrée E.4. mesure grains dans le sérialisateur	!
! 5 !	non attribué	!
! 6 !	non attribué	!
! 7 !	non attribué	!
!-----!	!-----!	!

- Port 1B:

Un seul bit est utilisé, les autres sont laissés libres.

! Bit !	Capteur, fonction	!
!-----!	!-----!	!
! 0 !	Entrée E.5. contrôle grain sorti de l'échantillonneur	!
! !	INTERRUPTION priorité médiane	!
!-----!	!-----!	!

- Port 2A:

Un seul bit est utilisé, les autres sont laissés libres.

! Bit !	Capteur, fonction	!
!-----!	!-----!	!
! 0 !	Entrée E.6. contrôle présence bac de germination	!
! !	INTERRUPTION priorité minimale	!
!-----!	!-----!	!



- Ports de sortie (carte D.I.O.B.)

- Port 1:

! Bit !	Actionneur, fonction	!
!-----!		
! 0 !	Sortie S.1. Marche/Arrêt moteur pas à pas 1	!
! 1 !	Sortie S.2. Marche/Arrêt moteur pas à pas 2	!
! 2 !	Sortie S.3. Sens rotation moteur pas à pas 1	!
! 3 !	Sortie S.4. Sens rotation moteur pas à pas 2	!
! 4 !	Sortie S.5. Commande moteur pas à pas 1	!
! 5 !	Sortie S.6. Commande moteur pas à pas 2	!
! 6 !	non attribué	!
! 7 !	non attribué	!
!-----!		

- Port 2:

! Bit !	Actionneur, fonction	!
!-----!		
! 0 !	Sortie S.7. Air de séparation échantillonneur	!
! 1 !	Sortie S.8. Air expulsion échantillonneur	!
! 2 !	Sortie S.9. Air d'échantillonnage	!
! 3 !	Sortie S.10. Air séparation sérialisateur	!
! 4 !	Sortie S.11. Air expulsion sérialisateur	!
! 5 !	Sortie S.12. Air blocage un grain dans le sérialisateur	!
! 6 !	non attribué	!
! 7 !	non attribué	!
!-----!		



V - LOGICIELS DE COMMANDE

L'objet de ce paragraphe n'est pas de présenter en détail chacun des programmes écrits pour piloter le processus, mais plutôt de préciser quelques uns des éléments du dialogue entre le processeur et les différents circuits que nous venons d'étudier.

Cette fonction "logiciel" n'est guère aisée à réaliser, du fait de la diversité des paramètres à prendre en compte. Cependant, on peut la décomposer en trois phases principales caractérisant les tâches accomplies par le processeur:

- l'initialisation du dialogue et des circuits
- la tâche de fond
- la gestion des interruptions.

V.1. Programme d'initialisation.

Cette routine joue un rôle fondamental dans le bon fonctionnement du processus, puisqu'elle assure la configuration logicielle de tous les circuits que nous mettons en oeuvre. Elle permet la pré-programmation des circuits d'horloge et des bits d'entrée déclarés comme interruptions. Elle assure le calcul de toutes les adresses des routines d'interruptions vers lesquelles le processeur devra se dérouter lors des requêtes d'interruptions.

Du fait de l'importance capitale pour le bon déroulement du processus que peuvent avoir les données traitées dans ce programme, il est préférable de suspendre l'activation d'interruptions pendant son exécution, qui ne se produit qu'une seule fois par test de mise en germination.

Quand l'initialisation de tous les circuits est achevée, et la nouvelle configuration mémorisée, la commande proprement dite du processus peut débuter, et le processeur lance la tâche de fond.

V.2. Programme de fond.

Le rôle principal de la tâche de fond est d'exécuter certains traitements annexes au processus de mise en germination, tout en

supportant les interruptions.

Dans l'état actuel du développement du prototype, c'est surtout cette fonction d'attente des interruptions qui est élaborée.

Cependant, ce programme est aussi chargé d'exécuter un certain nombre d'autres tâches, comme le contrôle de la présence de graines dans l'échantillonneur (Entrée E.3), et le retour de l'organe de dépose dans une position initiale déterminée. Ces deux conditions doivent être vérifiées pour que le test puisse démarrer.

Enfin, lorsque l'essai de mise en germination est achevé, le programme de fond a pour rôle d'assurer la vidange de tous les modules mécaniques, avant d'autoriser l'initialisation du test d'une autre variété.

V.3. Programmes d'interruption.

La mise en oeuvre d'interruptions dans une commande implique d'écrire pour chacune d'entre elles une routine assurant le traitement de cette information. Ainsi, dans le cas de la commande du prototype de mise en germination devons nous écrire 7 programmes d'interruption. Ce grand nombre de routines à élaborer ne simplifie guère la réalisation de cette commande. En effet, un certain nombre de contraintes, parfois contradictoires, sont à respecter. D'une part, il faut que le programme puisse étudier toutes les possibilités d'évolution qu'offre l'information acquise, sans en omettre aucune, et d'autre part, ce traitement doit s'effectuer très rapidement, afin que le processeur puisse ensuite soit traiter une autre interruption, soit poursuivre l'exécution de la tâche de fond.

Enfin, parallèlement, il convient d'établir des programmes minimisant les risques de conflits entre interruptions d'origines différentes. Il n'existe, malheureusement, pas de méthode permettant d'éliminer ce problème. La seule solution exploitable consiste alors à ne démasquer, à tout instant, que les interruptions strictement nécessaires au bon fonctionnement du processus.

C'est en tenant compte de ces diverses contraintes que nous avons élaboré les différentes routines de traitement des interruptions.

V.3.1. Programme d'interruption d'horloge pour la mesure des grains et intervalles.

Les deux programmes assurant la mesure des grains et intervalle intervalles sont assez similaires dans leurs déroulements, seules quelques instructions de commande diffèrent et seront explicitées séparément.

Les deux organigrammes présentés sur les tableaux IV.6 et IV.7 illustrent le fonctionnement de ces deux routines.

Les tâches principales que ces programmes doivent accomplir sont au nombre de deux. D'une part, il doivent mesurer les grains et intervalles selon le principe que nous avons établi; et lorsque cette acquisition est achevée, ils doivent aussi vérifier que les particules ainsi traitées satisfont au critère de sélection que nous avons élaboré. La validation de ce critère se fait simplement en comparant la valeur relevée avec une donnée de référence automatiquement introduite lorsque l'opérateur a sélectionné la variété à tester. Il en est de même avec la mesure des intervalles entre graines, mais dans ce cas, la référence est extrapolée à partir de la longueur de référence des grains.

Si le test n'est pas vérifié, les particules sont recyclées dans le module. Per contre, si le test est positif, les possibilités d'action diffèrent selon les modules.

Pour l'échantillonneur, les particules validées sont éjectées du module, et l'interruption permettant l'échantillonnage proprement dit est démasquée.

Pour le module de sérialisation, une autre condition vient s'ajouter à la validation du critère de sélection pour permettre la sortie d'une graine. Il faut que l'organe de dépose des semences dans le bac de germination soit prêt à recevoir la particule qui arrive. Si tel est le cas, la graine est éjectée, sinon elle est recyclée.

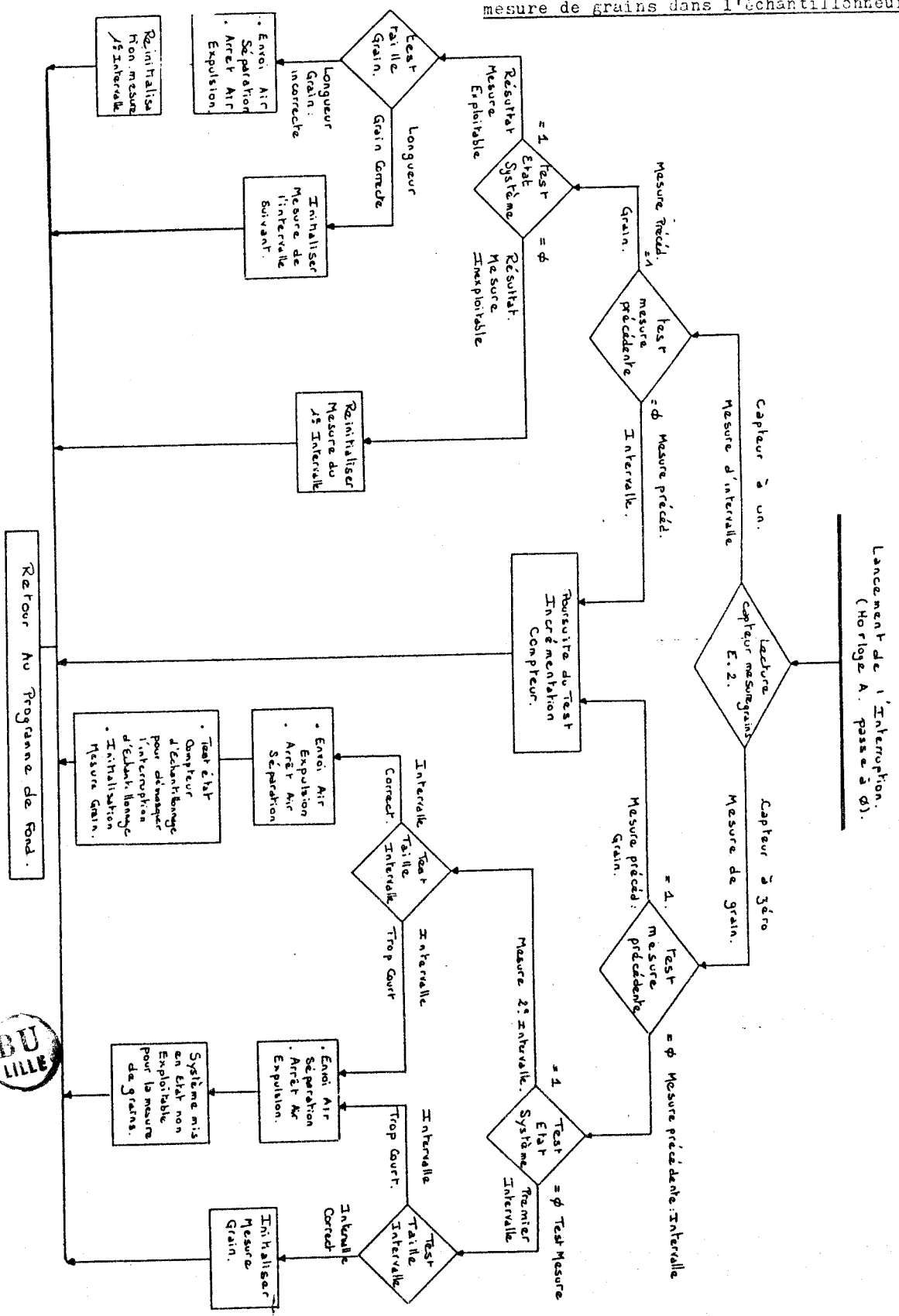
V.3.2. Programmes d'interruption d'horloge pour la génération des signaux de commande des moteurs pas à pas.

Ces deux programmes divergent sensiblement dans leur déroulement, et ne sont pas investis des mêmes fonctions.

Le premier programme (tableau IV.3), lié à l'horloge C, sert uniquement à générer une partie du signal de commande et à lancer

Tableau IV.6 : Programme d'interruption d'horloge

mesure de grains dans l'échantillonneur



Lancement de l'interruption
Horloge B passe à ϕ .

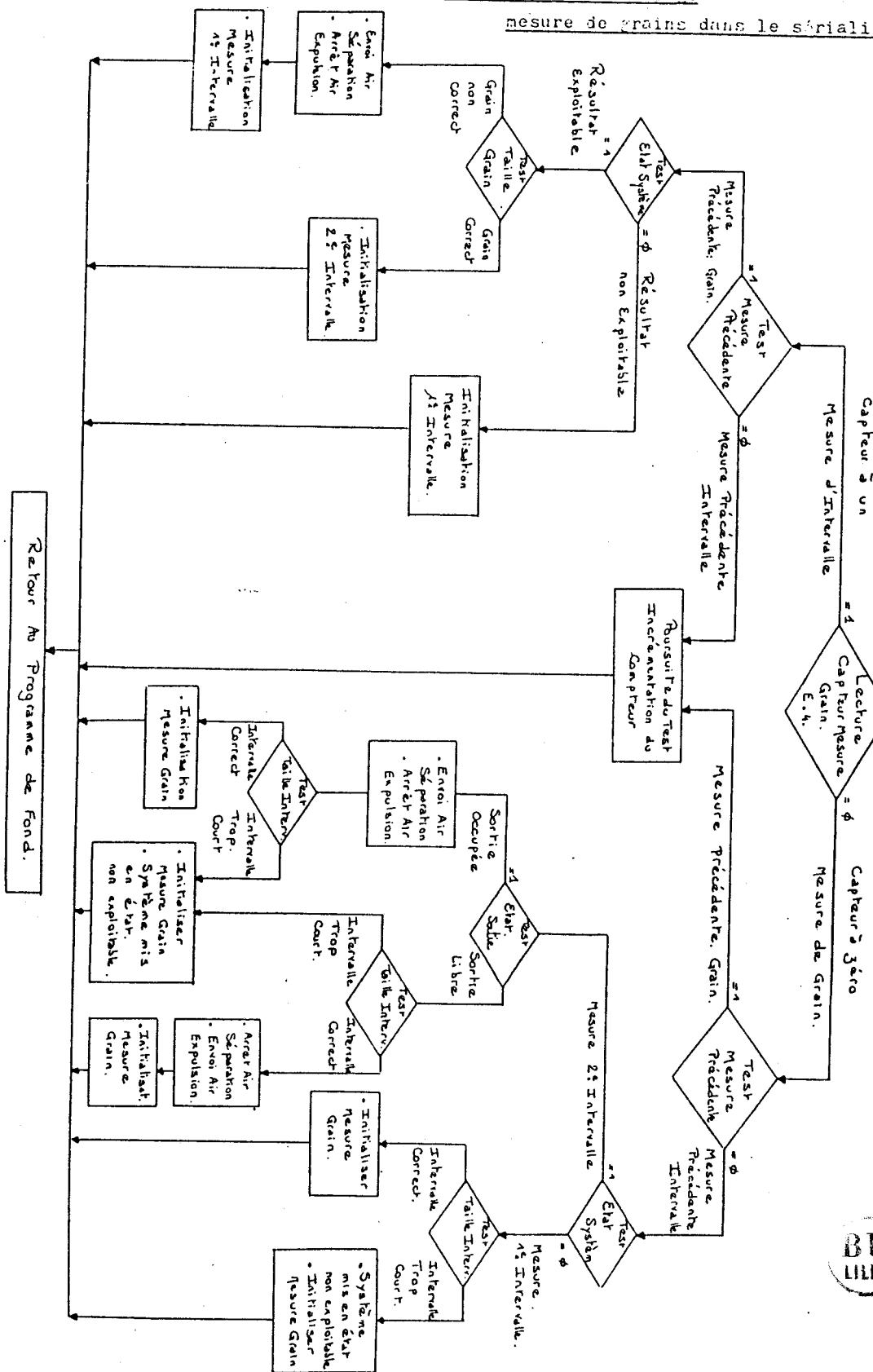
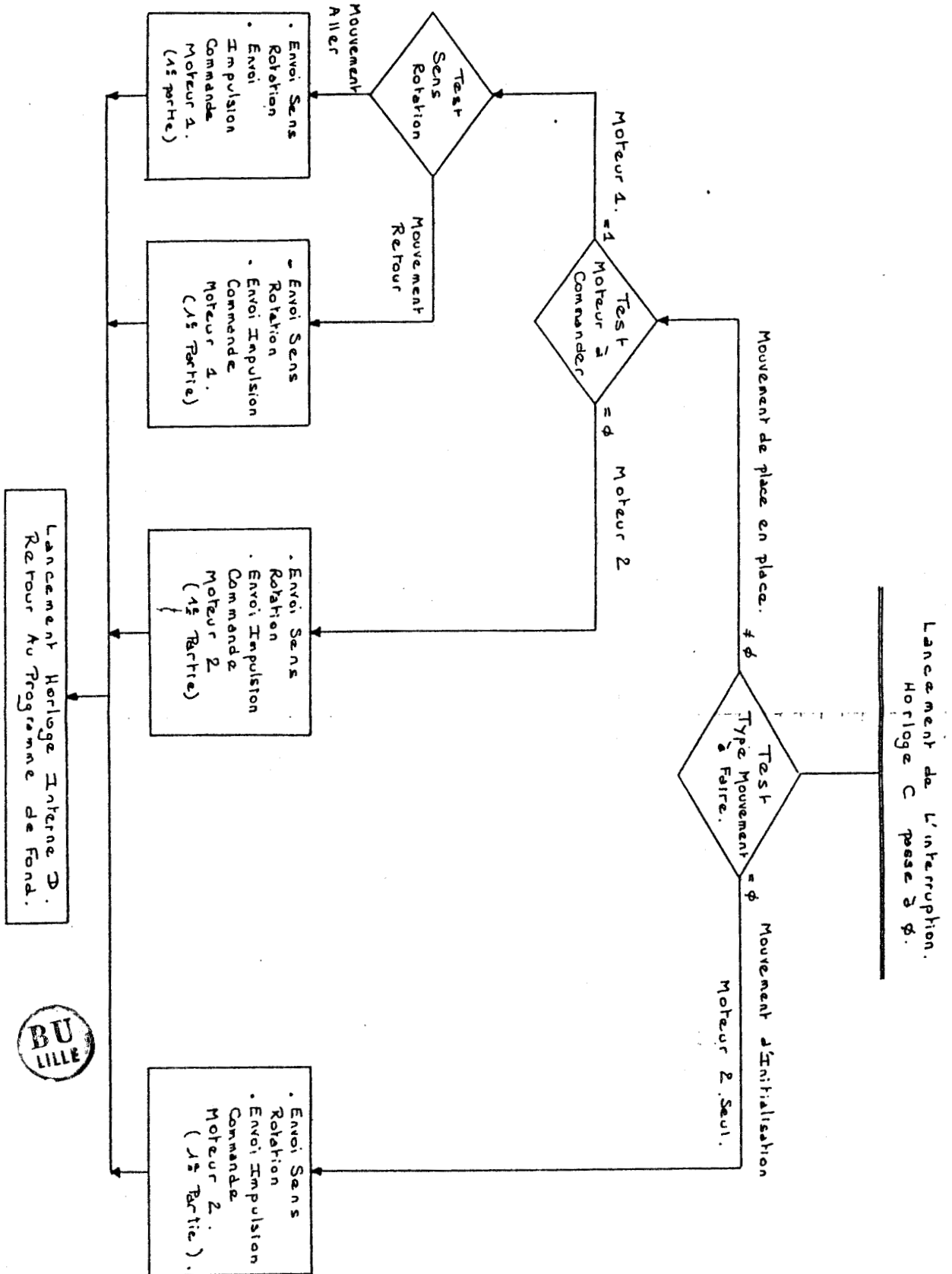


Tableau IV.8. Programme d'interruption d'horloge

Génération des signaux de commande des moteurs pas à pas.



l'autre interruption d'horloge. Quand celle-ci arrive à échéance, le second programme de génération du signal est lancé.

Cette seconde routine est plus complexe que la précédente, car elle a aussi pour fonction de contrôler la position dans laquelle se trouve le module d'implantation. En effet, nous avons décidé d'utiliser des moteurs pas à pas pour déplacer la tête de dépose des semences, pour ne pas devoir implanter de capteur de contrôle de position. Comme une certaine précision de positionnement est demandée, il convient donc de compter les pas effectués pour savoir où se trouve le module d'implantation. C'est donc cette routine qui est chargée de faire ce suivi de déplacement. Si la position visée n'est pas atteinte, la seconde partie du signal de commande est générée, et l'interruption de l'horloge précédente (horloge interne C) est démasquée, et le cycle se poursuit. Par contre, si la position est atteinte, l'interruption de plantation est démasquée, et la sortie du sérialisateur est débloquée pour permettre le passage du premier grain vérifiant le critère de sélection. De plus, les deux interruptions d'horloge interne servant à générer les signaux de commande des moteurs sont masquées.

Le déroulement de ce programme est illustré par le tableau IV.9.

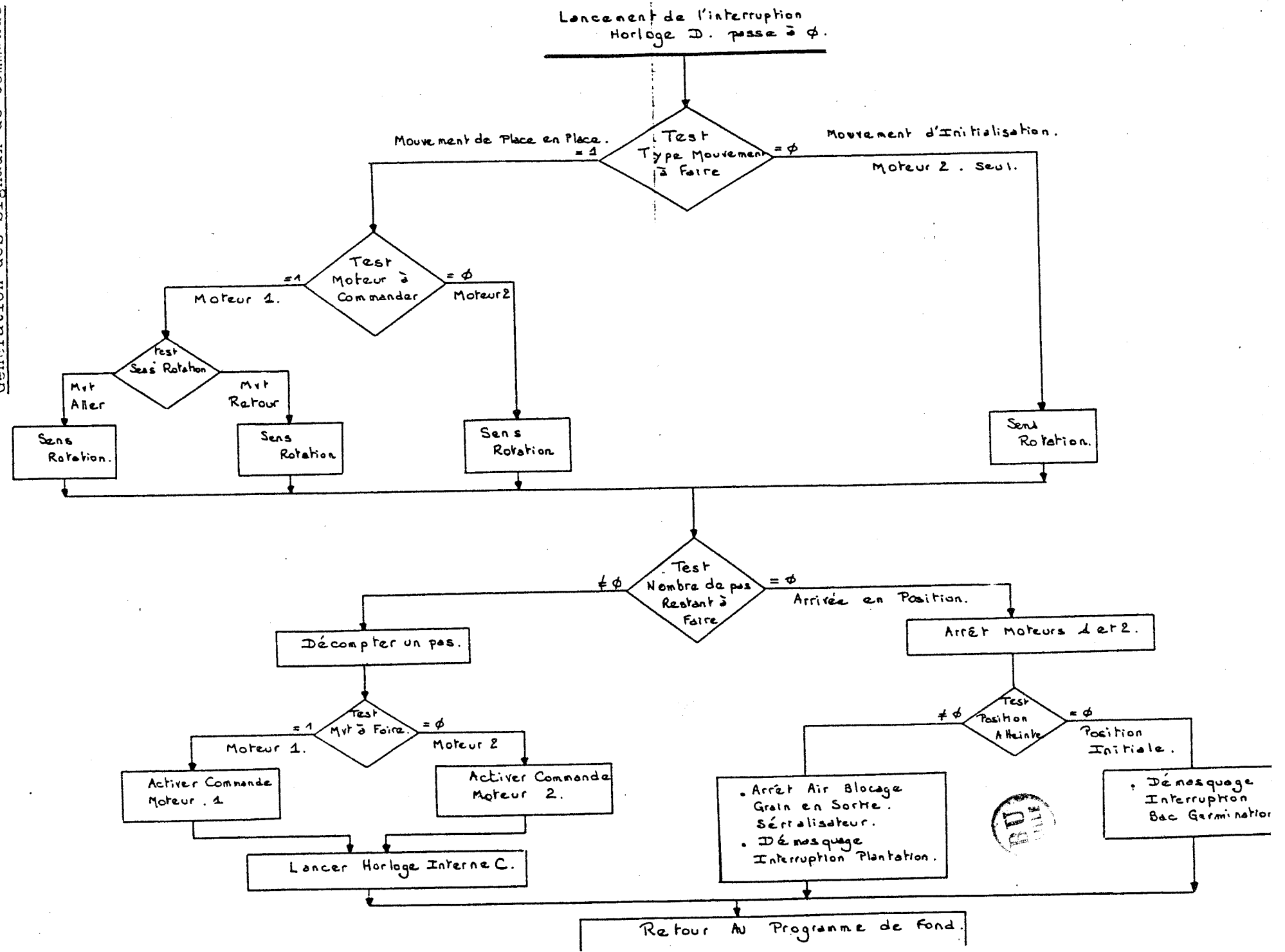
V.3.3. Programme d'interruption de plantation.

Ce programme est lancé chaque fois que l'interruption "grain planté" (Entrée E.1.) survient.

Le rôle principal de cette routine est de programmer le mouvement de l'organe de dépose vers la place suivante, après avoir bloqué la sortie du sérialisateur. La préparation du mouvement suivant à réaliser est subordonnée à la position déjà atteinte et peut conduire à deux solutions. Si la position atteinte est la dernière place du bac, le programme vérifie si il reste des bacs à remplir. Dans le cas où il ne reste plus de bac, le programme masque toutes les interruptions et permet au programme de fond de débiter la tâche de vidange des modules. Par contre si il reste un ou plusieurs bacs à remplir, la routine génère la première partie du signal de commande des moteurs pas à pas et active l'interruption d'horloge interne correspondante (horloge C). Dans le cas où la position atteinte n'est pas la dernière atteinte, le programme calcule le nombre de pas à faire et la direction du mouvement pour atteindre la place suivante. Il démasque ensuite l'horloge interne C,

Tableau IV.9: Programme d'interruption d'horloge

Génération des signaux de commande



après avoir généré le signal de commande des moteurs.

L'organigramme de ce programme est présenté tableau IV.10.

La particularité de ce programme réside principalement dans l'utilisation d'un seul registre pour mémoriser toutes les positions du module d'implantation, ainsi que le mouvement suivant à effectuer. Cette réalisation, si elle complique la mise au point du programme, permet par contre une grande sûreté dans la transmission des informations puisqu'elles sont toutes regroupées dans un même mot.

L'exploitation de ce registre est schématisée dans le tableau IV.11.

V.3.4. Programme d'interruption d'échantillonnage.

Ce programme est activé lorsque l'interruption "échantillonnage" survient, c'est à dire chaque fois qu'une particule est éjectée du module d'échantillonnage et passe devant le capteur E.5.

Le rôle de cette routine est de comptabiliser les grains sortant de l'échantillonneur et de comparer la valeur ainsi atteinte du compteur avec la valeur d'échantillonnage mémorisée. Dans le cas où les deux données sont égales, le grain est dévié vers le sérialisateur, sinon il poursuit sa route vers un bac de récupération.

Une fois ce contrôle réalisé, le programme masque sa propre interruption et rend la main au programme de fond.

Le déroulement de cette routine est illustré par l'organigramme présenté dans le tableau IV.12.

V.3.5. Programme d'interruption de présence de bac.

Ce programme est lancé lorsque la présence d'un bac de germination à remplir est détectée en position sous l'organe de dépose (Entrée E.6). Il permet simplement de débloquer la sortie du module de sérialisation, pour permettre l'implantation d'une semence, et il démasque l'interruption de plantation.

Tableau IV.10: Programme d'interruption de plantation

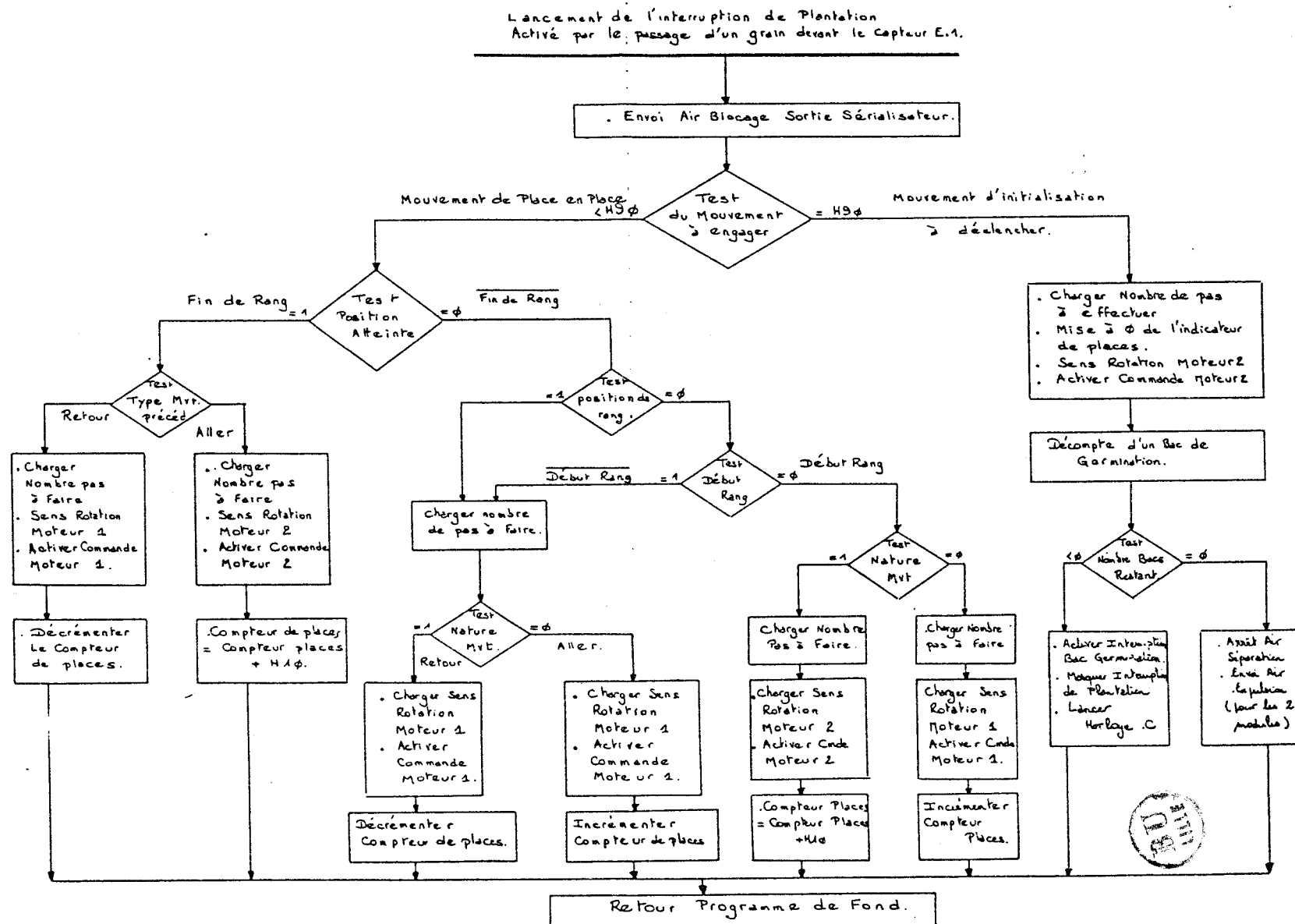
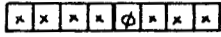


Tableau IV.11: Exploitation du registre compteur de places.

- CP: (Compteur de Places). Registre 8 Bits: 
 - 4 Bits de Poids fort. Comptage des Rangs (0 à 3)
 - 4 Bits de Poids Faible Comptage des Places par rang (0 à 4).

- Mouvement du module de dépose d'une place vers la suivante:

Réduit à l'une des trois Translations suivantes:

- Translation A: - Mouvement selon l'axe 1 (Moteur 1)
Incréméntation de CP.
- Translation B: - Mouvement selon l'axe 1 (Moteur 1).
Décréméntation de CP.
- Translation C: - Mouvement selon l'axe 2 (Moteur 2)
 $CP \leftarrow CP + 16H$.

- Schématisation de l'utilisation de CP.

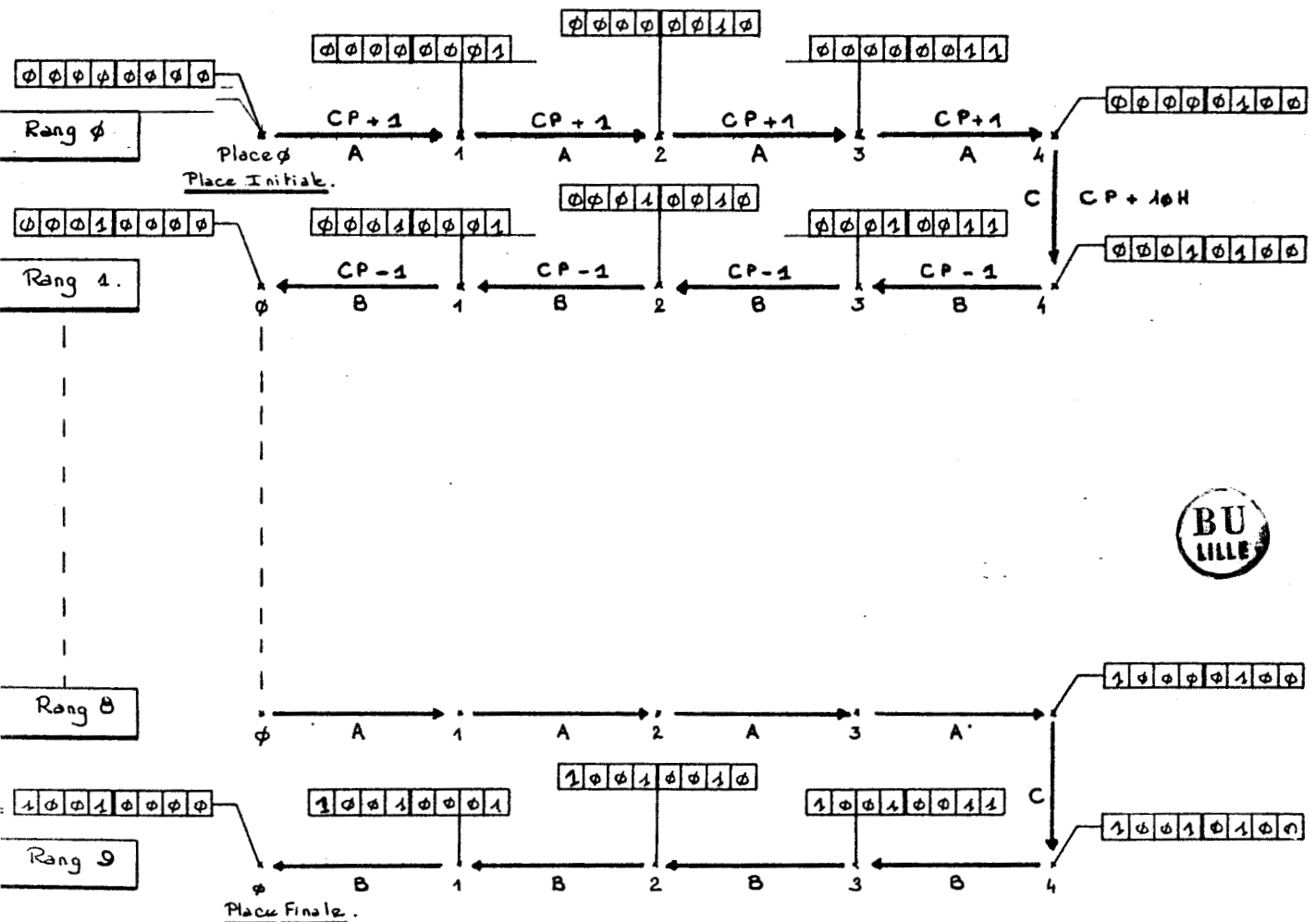
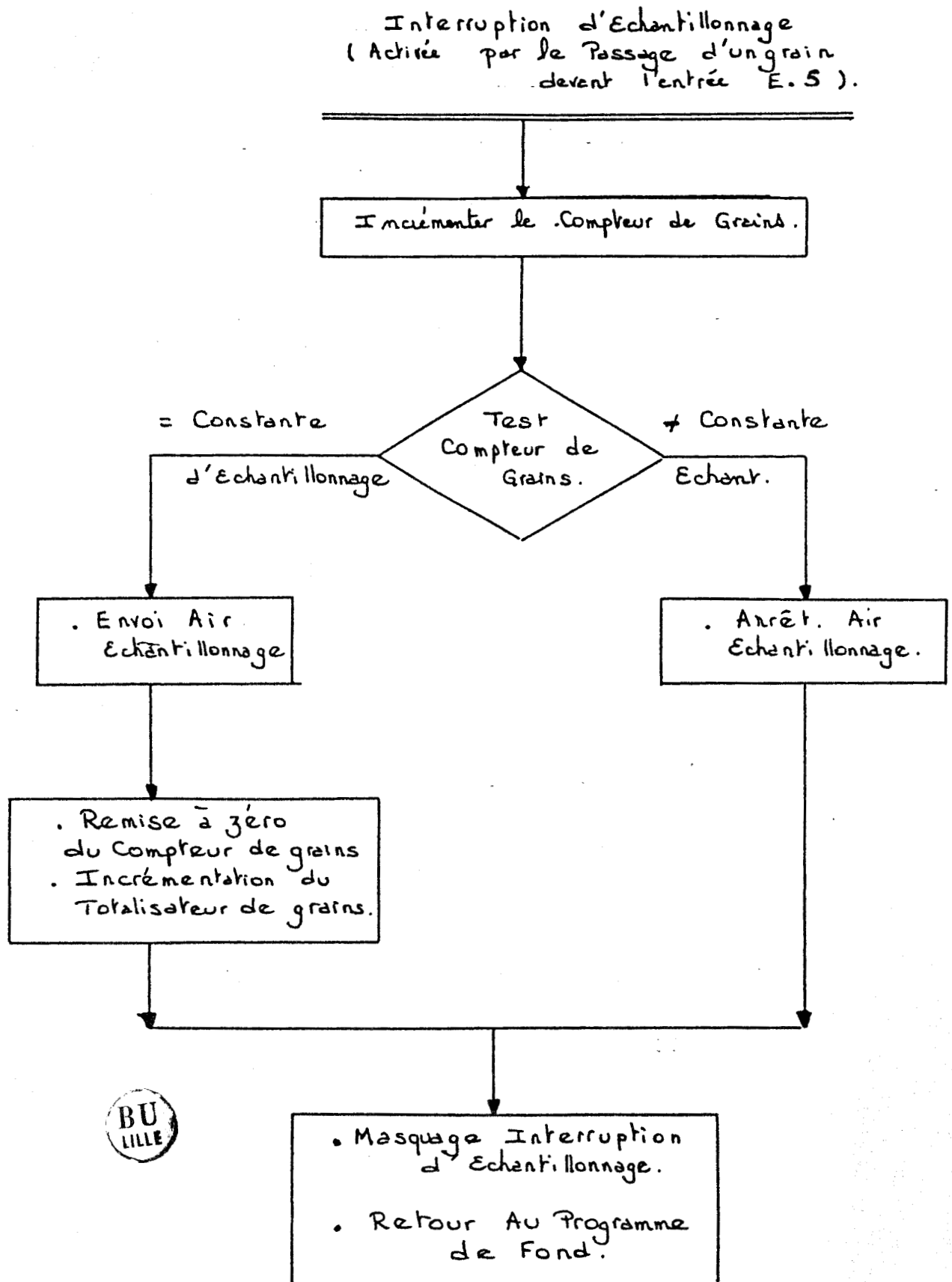


Tableau IV.12: Programme d'interruption d'échantillonnage



V.3.6. Mise en oeuvre des interruptions dans le temps.

Nous avons déjà vu que la mise en oeuvre d'une commande exploitant des interruptions posait souvent des problèmes pouvant conduire au blocage du processus. Ce phénomène est encore aggravé lorsque les interruptions proviennent de deux sources distinctes. En effet, nous avons établi, que dans ce cas, aucune hiérarchie matérielle ne pouvait être instaurée entre ces deux formes d'interruptions.

Si l'on analyse les causes les plus probables de ce blocage, on constate qu'il est en grande partie imputable au temps. En effet, du fait de leur définition même, les interruptions surviennent toujours aléatoirement, et il est donc très difficile de pouvoir maîtriser le paramètre temps.

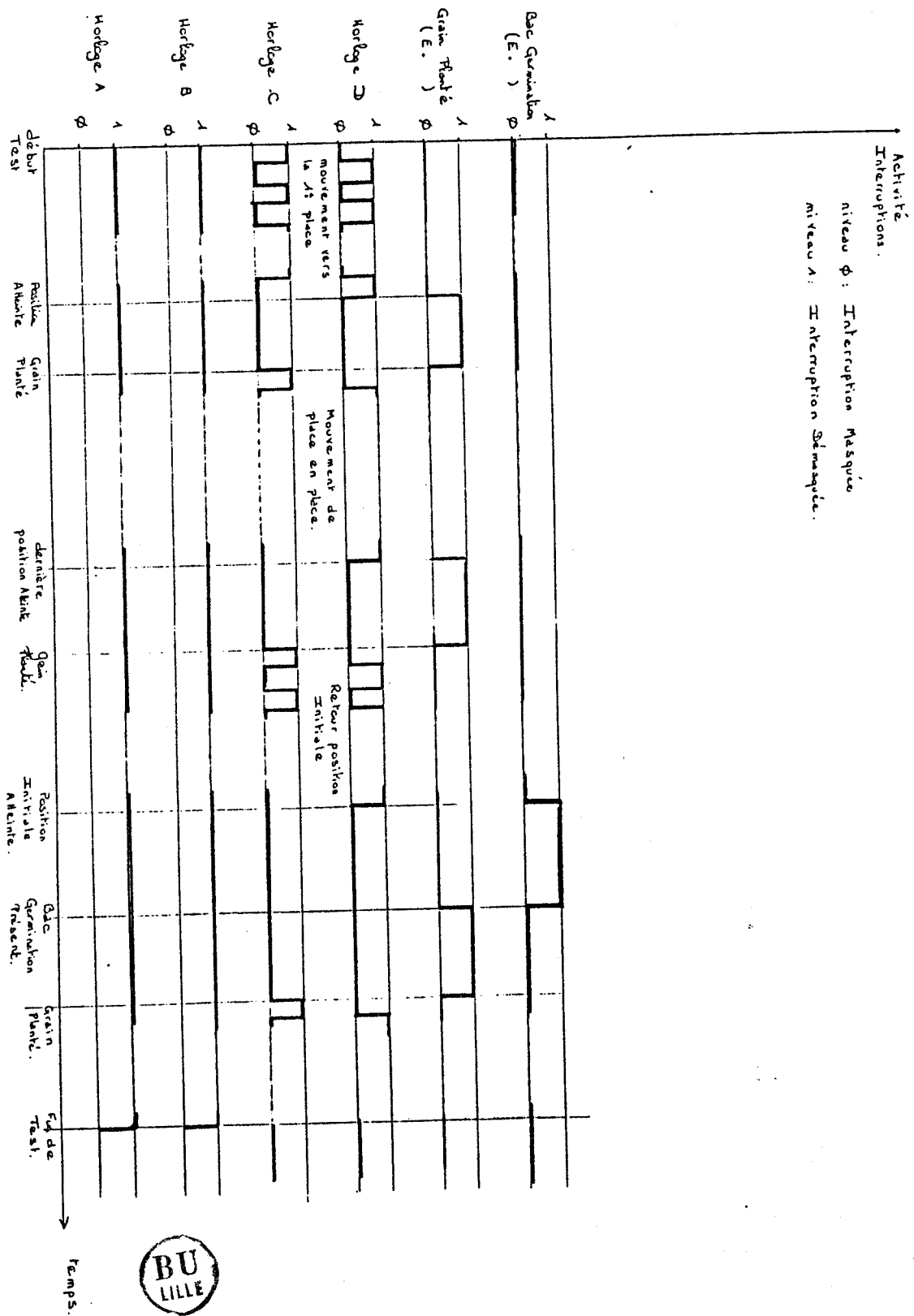
Les programmes que nous avons écrits ont été établis en prenant en compte les critères que nous avons précisés précédemment. La minimisation du temps de traitement de chaque routine a été obtenue en programmant en langage assembleur, et en interdisant à un programme d'interruption d'être lui-même interrompu. Cette méthode permet de connaître, pour chaque routine, le temps de traitement nécessaire, et surtout de maintenir cette durée constante dans tous les cas d'exécution.

Les risques de conflits sont réduits par le fait qu'à tout instant on ne démasque que les interruptions strictement nécessaires au bon fonctionnement du processus. Pour illustrer les résultats de cette méthode on peut établir le graphique représentant, à tout instant, les interruptions actives. Ce diagramme activité-temps se trouve représenté sur le tableau IV.13. Il appelle cependant certains commentaires. Tout d'abord, l'interruption d'échantillonnage n'a pu être représentée. En effet, elle est démasquée par la routine de mesure des grains dans l'échantillonneur chaque fois qu'un grain est éjecté du module d'échantillonnage, et il n'était pas possible d'introduire ce paramètre dans le graphique, sauf à le rendre illisible.

D'autre part, il convient de noter que les deux interruptions d'horloge permettant la mesure des grains ne peuvent se produire en même temps.

En conclusion, ce diagramme permet de constater que dans le cas le plus défavorable seules trois interruptions peuvent survenir

Tableau IV.13: Diagramme activité interruptions-temps.



au même instant, ce qui limite considérablement les risques de blocage de la commande du processus.

Il n'est malheureusement ~~pas~~ possible de réduire encore ce nombre d'interruptions simultanément actives en maintenant un fonctionnement en parallèle des trois modules mécaniques.

V.4. Gestion des ressources de l'ordinateur.

La réalisation de l'ensemble des programmes indispensables au bon fonctionnement de la commande du prototype entraîne l'utilisation d'un certain nombre de ressources propres au processeur; la mémoire vive et les registres internes.

Cependant, ces ressources sont limitées, et il convient donc de les gérer au mieux.

Ainsi, concernant les registres, avons nous décidé de ne dédier aucun registre interne du processeur au stockage des données nécessaires. Nous avons préféré réserver certains emplacements de mémoire pour ranger ces données. Au début de chaque programme, les informations nécessaires au déroulement de cette routine sont prises en mémoire et mises dans des registres internes, pour faciliter les traitements. En fin d'exécution, les données sont de nouveau remises en mémoire.

Cette méthode présente deux avantages importants. D'une part les registres internes du processeur sont laissés libres, et donc utilisables par tous les programmes. D'autre part, les risques d'altération des informations sont presque nuls, puisque ne sont utilisées que les informations strictement nécessaires au déroulement de la routine traitée.

Cependant, cette méthode a une influence sur la configuration de la zone mémoire du processeur. Aussi est il important d'établir un tableau représentant l'occupation de la mémoire vive par des programmes ou des données.

C'est l'objet du tableau IV.14. qui indique les adresses de début et de fin de chaque zone occupée.

Il est à noter que certaines de ces adresses sont imposées par le processeur. Il s'agit des zones réservées au système et zone protégée. De même, la portion de mémoire occupée par le programme

BASIC est automatiquement placée en tête de la mémoire disponible.

Par contre, toutes les autres adresses sont établies par le programmeur et peuvent donc être modifiées, sous réserve, dans ce cas, de contrôler la cohérence des nouvelles adresses avec les programmes qui y font référence.

Cette description de l'occupation de la mémoire vive du processeur permet aussi de constater qu'il reste encore un certain nombre d'emplacements libres, qui autorisent donc la mise en oeuvre d'autres organes (imprimante d'étiquettes, ensacheuse).

CONFIGURATION DE LA MEMOIRE CENTRALE

Adresse (Hexadecimal)	Occupation
0000H 0102H	Réserve au système d'exploitation
0103H 3FFFH	Utilitaires de service du programme BASIC
4000H 41A7H	Zone de données du programme LANCER.BAS
41A8H 5F5DH	Programme LANCER.BAS
7000H 70F0H	Programme FLANTINZ.MAC
7100H 713FH	Programme ECHANINT.MAC
7200H 7215H	Programme BACINZ.REL
7300H 737AH	Programme TIMEASNZ.REL
7400H 74DBH	Programme TIMEBINZ.REL
7600H 7652H	Programme TIMECINZ.REL
7700H	Programme TIMEDINZ.REL
	Programme INITIAL.REL
795AH	Programme PFONDZ.REL
9000H 903FH	Zone d'adresse des programmes d'interruptions
9050H 915FH	Zone de stockage des données à traiter
A800H A8FFH	Zone bloquée pour les ports de sortie (carte D.I.O.B.)
D000H FFFFH	Zone protégée Fonctionnement interne

CONFIGURATION DE LA ZONE STOCKAGE DONNEES

Adresse (Hexadécimal)	Occupation	Utilisation
9050H	non fixé	
9051H	Nombre de pas à faire pour atteindre la place suivante	Registre B
9052H	Position robot plantation	Registre C
9053H	Nombre de bacs à remplir	Registre D
9054H	non fixé	
9055H	non fixé	
9056H	Mesure grain dans le séréalisateur	Registre H
9057H	Mesure grain dans l'échantillonneur	Registre B'
9058H	non fixé	
9059H	Totalisateur de grains	Registre D'
905AH	Compteur partiel de grains	Registre E'
905BH	Totalisateur de grains	Registre H
905CH		
905FH	non fixés	



Remarque: La colonne utilisation sert uniquement à indiquer dans quel registre de travail sont placées les données lors de leur traitement par les différents programmes d'interruption.

VI - CONCLUSION

Tous les éléments constitutifs de la commande du processus de mise en germination automatique sont maintenant parfaitement définis.

Cette réalisation peut être schématisée par le tableau IV.15. qui en présente, de façon symbolique, les différents aspects.

Il reste cependant un certain nombre de paramètres à fixer précisément, avant que cette commande soit opérationnelle.

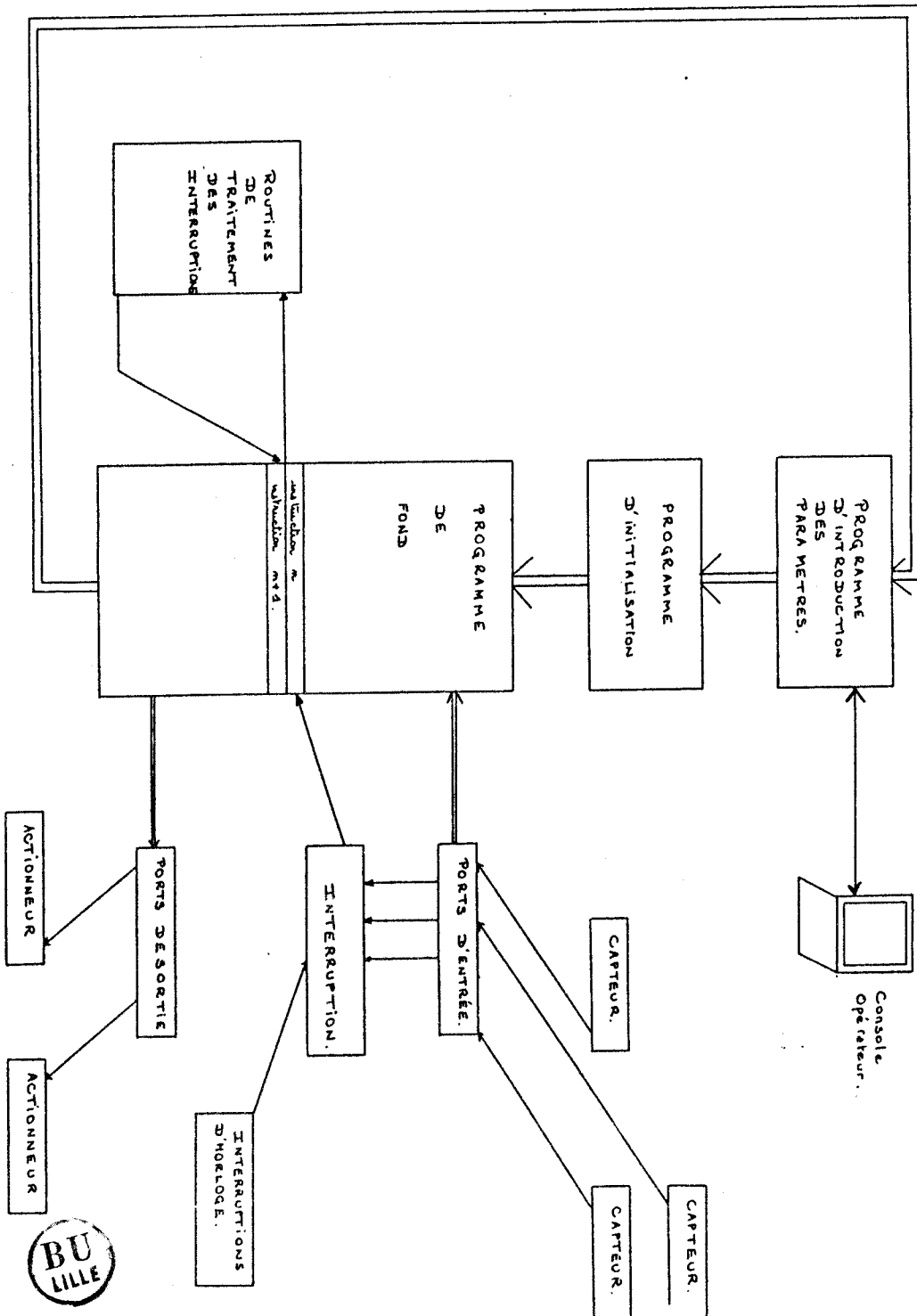
La définition de ces données, et en particulier les fréquences de travail des horloges internes chargées de générer les interruptions de mesure, ne peut se faire qu'en effectuant un certain nombre de simulations du fonctionnement. Il convient donc, dans un premier temps de connecter l'ensemble de pilotage aux différents modules mécaniques. Cette opération est assez aisée dans la mesure où les connexions des capteurs et actionneurs ont déjà été définies.

La validation "à blanc" des différents programmes constituant la commande peut alors être effectuée. Elle n'a cependant qu'une portée limitée, car elle permet juste de contrôler qu'il n'y a pas d'erreurs dans les routines de traitement des différentes informations.

Il faut donc réaliser des essais dans les conditions réelles de fonctionnement pour pouvoir déterminer tous les paramètres nécessaires.

C'est donc cette ultime phase de notre étude que nous allons aborder maintenant.

Tableau IV.15: Schéma de la structure de la commande du prototype.



CHAPITRE V

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

La mise en oeuvre des essais du prototype de mise en germination automatique permet de mettre en évidence un certain nombre de difficultés inhérentes à toute action de robotisation d'un processus manuel existant.

En effet, nous constatons que, dans la plupart des cas, l'implantation d'une commande informatique directement sur le procédé manuel s'avère impossible. Il faut alors décomposer ce procédé en tâches élémentaires, afin d'analyser en détail chaque opération en vue de son automatisation. Ce n'est que lorsque cette étude débouche sur un résultat positif que l'on peut envisager effectivement l'action de robotisation.

Cependant, comme le prouve la réalisation du prototype de mise en germination, cette action nécessite la mise en oeuvre de nombreuses technologies,

- dessin industriel pour la conception des nouveaux moyens mécaniques, si comme souvent ils n'existent pas sur le marché,
- mécanique, pour le calcul de ces mêmes moyens,
- électricité, électrotechnique et électronique, pour la définition des-différents capteurs et actionneurs
- informatique, pour assurer la commande de l'ensemble.

A la difficulté de coordonner ces différentes sciences pour former un ensemble cohérent, viennent s'ajouter, dans notre cas, des contraintes liées à la nature des éléments à traiter et aux cadences de travail à atteindre.

En effet, les semences dont nous devons automatiser la manipulation présentent certaines particularités qui rendent cette action délicate. D'une part, elles sont de dimensions réduites, quelle que soit la variété, et d'autre part, la dispersion de ces dimensions est très importante, même dans une même population.

A ces caractéristiques hétérogènes des graines à traiter, nous devons aussi ajouter que l'ensemble à réaliser doit pouvoir traiter différentes espèces.

Cependant, ces contraintes influent de façon différentes sur les techniques mises en oeuvre. Ainsi, elles n'ont que très peu d'incidence sur la commande informatique, une fois que l'on a déterminé les caractéristiques que l'on mettrait en oeuvre pour établir les critères de sélection. Leur influence est plus sensible pour la détermination des capteurs et actionneurs, qui doivent pouvoir les détecter et les diriger sans les abimer.

Mais, c'est dans le cadre de la conception et la réalisation des moyens mécaniques que ces contraintes jouent un rôle déterminant.

En effet, du fait de la très petite taille des particules, il convient de définir des ensembles mécaniques très précis et fiables. Les ajustements entre les différentes pièces constitutives de chaque machine doivent être très serrés. Il faut alors pouvoir disposer d'un atelier de mécanique doté de moyens performants (machines outils à commande numérique) et acceptant de fabriquer des prototypes.

C'est ainsi que la réalisation des trois modules mécaniques a été sous-traitée à l'Atelier de Mécanique de L'I.C.A.M. (Institut Catholique d'Arts et Métiers) à Lille. Cette mise en oeuvre a été menée à bien en deux fois. Dans un premier temps, nous avons fait usiner un premier module d'échantillonnage et l'organe de dépose, puis l'année suivante, nous avons fait réaliser un module de sérialisation.

Cette réalisation en deux temps a permis d'effectuer un certain nombre de tests concernant le comportement des semences placées sur un plateau tournant à l'aide du premier ensemble mécanique. Les conclusions que nous en avons tirées ont permis de modifier certains aspects de ce module, pour améliorer les performances. Ces modifications ont surtout porté sur la barrière-latérale permettant de contenir les graines sur le plateau, que nous avons fait réaliser en P.V.C. et non plus en aluminium. On obtient ainsi une plus grande rigidité de cette ceinture latérale, ce qui permet un meilleur guidage des semences à la périphérie des plateaux. Ce résultat apporte une meilleure qualité de mesure de la part des capteurs. En effet, la nouvelle barrière en P.V.C. permet de diminuer considérablement le phénomène de rebond des grains sur la ceinture périphérique que l'on avait pu noter sur le premier module. Les capteurs de mesure ayant une très faible portée présentaient des lacunes dans leurs détections. Ce défaut a pu être en grande partie corrigé par ces quelques améliorations.

Cependant, de très nombreuses mises au point restent à faire. En effet, si la seconde version du module d'échantillonnage permet d'apporter certaines réponses aux problèmes de réglages, l'implantation des capteurs de façon satisfaisante reste encore à mener à terme. Cette opération est délicate car, comme nous l'avons vu, nous avons été contraint d'utiliser des détecteurs de très faible portée pour assurer la mesure des graines. Cette faible portée nécessite alors une implantation très précise de ces organes. La définition de cette position

ne peut se faire que par approximations successives, et nécessite donc le recours à de nombreux essais, que nous n'avons pas eu le temps de conduire à terme. Malgré cela, les premiers résultats que nous avons obtenus permettent d'envisager une solution satisfaisante.

Lorsque cette mise en place des détecteurs aura été effectuée, pourra débiter la phase de détermination des différentes constantes nécessaires au bon déroulement des tests; constantes de temps des horloges internes pour la mesure des semences et valeurs des intervalles entre deux grains. L'obtention de ces résultats permettra alors d'établir de façon définitive le critère de sélection des particules dans l'échantillonneur et le sérialisateur, pour chaque espèce. Là encore, seuls de nombreux essais seront nécessaires pour déterminer ces paramètres.

Ce n'est donc qu'à la fin de cette phase d'optimisation que le prototype pourra être considéré comme terminé et mis en place au sein des laboratoires de l'I.N.R.A.-G.E.V.E.S.

Cependant, bien que la mise en oeuvre opérationnelle ne soit pas encore effective, nous pouvons tirer certaines conclusions.

Tout d'abord, ce projet met en évidence les difficultés d'automatisation de tout processus. Toute action de robotisation nécessite en effet l'utilisation de nombreuses compétences.

D'autre part, nous pouvons aussi constater que le développement de l'informatique industrielle et de la robotique est encore freiné par la mise au point de capteurs et actionneurs performants, en particulier dans le domaine des vitesses de transfert des informations. Cette situation s'explique certainement par le fait que, jusqu'à une période très récente, la plupart des automatismes réalisés concernaient de grosses unités de production. Les priorités qui étaient alors fixées portaient plus sur des notions de puissances transmises ou reçues, que sur les vitesses de transfert de données, car le pilotage du processus était confié à des automates relativement lents, mais bien adaptés aux atmosphères polluées dans lesquelles ils évoluaient.

L'évolution de la micro-informatique renverse aujourd'hui la tendance. Les constructeurs de matériel élaborent des micro-ordinateurs supportant bien les ambiances poussiéreuses, ainsi que le prouve notre prototype, dont le fonctionnement n'a pas été entravé par les poussières des semences au cours des tests que nous avons effectués.

Ces systèmes offrent actuellement des performances sans cesse accrues. Si le nombre d'entrées-sorties qu'ils peuvent piloter reste encore sensiblement inférieur aux capacités des automates industriels, ce phénomène devrait rapidement s'amenuiser, puisque le micro-ordinateur que nous avons exploité permettait déjà de gérer jusqu'à 1000 entrées ou sorties, elles aussi isolées électriquement.

Par contre, l'automatisation avec une commande par micro-ordinateur offre de nombreuses autres possibilités:

- gestion modulaire des entrées-sorties. C'est le concepteur du système qui définit lui-même la configuration de chaque port.
- utilisation de capacités mémoire importantes, ce qui autorise donc de nombreux stockages de données, pour effectuer certains traitements annexes (édition de journal de bord,...)
- exploitation aisée d'interruptions, ce qui facilite la mise en oeuvre des traitements annexes sus-mentionnés,
- facilité de programmation, puisque celle-ci peut s'effectuer dans différents langages évolués. La possibilité offerte de programmer en BASIC est certainement la plus intéressante actuellement car ce langage est très répandu, même parmi les non-spécialistes en informatique.

On voit donc se dessiner une nouvelle évolution dans l'automatisation de processus industriels.

D'un côté, nous avons les installations importantes, dont le pilotage nécessite de nombreuses entrées-sorties, gérant des processus évoluant lentement et ne nécessitant que peu de traitements annexes. Dans ce cas, nous préférons la mise en oeuvre d'A.P.I. Automates Programmables Industriels.

D'un autre côté, pour des processus évoluant rapidement, n'exploitant que peu d'entrées-sorties et mettant en oeuvre de nombreux traitements annexes, la commande par micro-ordinateur offre une alternative très intéressante, appelée à se développer d'une manière importante dans les prochaines années.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) J. ABONNENC
Le contrôle permanent de qualité des produits granuleux et
pulvérulents par l'échantillonnage automatique.
Journal de l'Ecole Française de Meunerie - Mars, Avril 1976 -
- (2) K. GENZKEN
Automatische Probenahme in der Muehle
Echantillonnage automatique en meunerie
Getreide, Mehl und Brot - 1978 -
- (3) A.I. ROMANOV, E.P. TIKHOMIROV, N.G. KHARLASHINA
Echantillonnage automatique dans les moulins
Pishchevaya Tekhnologiya - 1980 -
- (4) A.R. EDISON, W.R. BROGAN
Size measurement statistics of kernels of six grains
American Society of Agricultural Engineers -1972-
- (5) Document I.N.R.A.-G.E.V.E.S.
Descriptif de 17 variétés de semences - 1984 -
- (6) A. FOUILLE
Electrotechnique à l'usage des ingénieurs (Tome 2)
Collection DUNOD
- (7) C.JONET
Les moteurs pas à pas
Industries et techniques n° 392, P 125 à 135.

ANNEXES

- <u>Annexe II.1:</u>	Rappel de quelques résultats statistiques.....	135
- <u>Annexe A.1:</u>	Emetteurs-récepteurs à fibres optiques	
	- Amplificateur programmable.....	137
	- Cellules à réflexion directe.....	141
	- Barrage photoélectrique.....	143
- <u>Annexe A.2:</u>	Lecteur de repères colorés	
	- Caractéristiques techniques.....	147
- <u>Annexe A.3:</u>	Relais isolés opto	
	- Relais d'entrée courant continu.....	151
	- Relais de sortie courant continu.....	152
- <u>Annexe C.1:</u>	Actionneurs pneumatiques	
	- Electro distributeurs.....	153
	- Réducteurs de débit.....	154
- <u>Annexe C.2:</u>	Moteurs à courant continu	
	- Caractéristiques techniques.....	155
- <u>Annexe C.3:</u>	Moteurs à courant continu	
	- Eléments de calcul des moteurs.....	156
- <u>Annexe C.4:</u>	Moteurs pas à pas	
	- Calcul des moteurs pas à pas.....	157
- <u>Annexe C.5:</u>	Moteurs pas à pas	
	- Caractéristiques techniques des moteurs..	160
	- Caractéristiques techniques des commandes des moteurs.....	164

ANNEXE II.1. Rappel de quelques résultats statistiques.

La détermination d'un paramètre caractéristique de la population de semences s'appuie sur certains résultats de statistique.

Ainsi, pour chaque grandeur caractéristique d'une espèce (longueur, largeur, poids) pouvons nous calculer certaines valeurs représentatives de la population:

- la moyenne m ,

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad \text{avec: } X_i: \text{valeur de la grandeur pour chaque grain}$$

n : population

- l'écart type s ,

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - m)^2$$

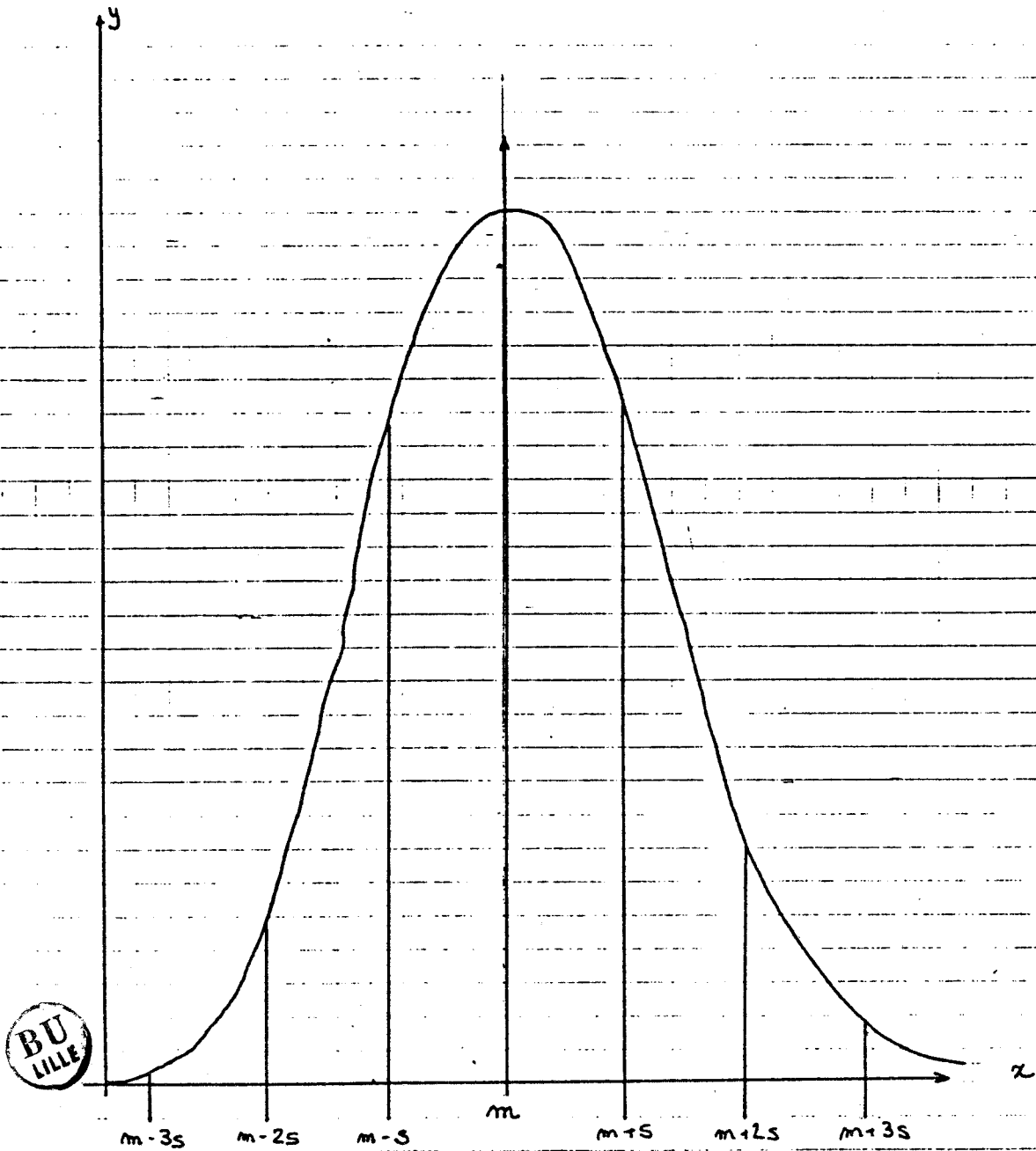
L'écart type fournit de précieuses indications sur la dispersion des valeurs relevées autour de la moyenne.

Ainsi dans le cas d'une distribution de type LAPLACE-GAUSS, centrée et normée, comme représentée sur la figure ci-jointe, pouvons nous conclure que:

- 68% de la population étudiée se trouve dans la zone délimitée par $m-s$, $m+s$
- 95% de la population étudiée se trouve dans la zone délimitée par $m-2s$, $m+2s$
- 99% de la population étudiée se trouve dans la zone délimitée par $m-3s$, $m+3s$.

Parmi les paramètres possibles, nous privilégierons donc celui présentant la plus faible dispersion mesurée par l'écart-type s , afin de faciliter la mise en oeuvre du critère de sélection, sachant que toutes les grandeurs caractéristiques des semences étudiées suivent une loi de distribution de LAPLACE-GAUSS.

Distribution de LAPLACE - GAUSS.



$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi s}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x_i - m}{s} \right)^2}$$

AMPLIFICATEUR ELECTRONIQUE

PROGRAMMABLE

ACA

POUR FONCTIONNEMENT AVEC BARRAGES INFRAROUGES
OU REFLEX SANS AMPLIFICATEUR INCORPORE

La série des amplificateurs programmables ACA permet de réaliser n'importe quelle fonction d'automatisme à partir de deux éléments.

- Une carte "mère", solidaire du boîtier débrochable, permet le fonctionnement, avec réponse instantanée d'un barrage (ou d'un réflex) infrarouge modulé.
- Une carte "fille" donnant différentes fonctions de temporisation.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

BOITIER : débrochable en makrolon teinté.

FIXATION :
Semelle métallique servant de bornier de raccordement réf. VAA 020 (fig. B) livrée avec l'ACA - 2 trous Ø 6. Entre-axes 110 mm ou, sur demande :

Semelle plastique clipsable sur rail DIN 46277/3 (symétrique) servant aussi de bornier de raccordement réf. VAA 040 (fig. A).

POIDS : 400 grammes.

ALIMENTATION : 24 volts continu.
Tension commutable 24-48 volts ou 110-220 volts alternatifs - 15 % + 10 %.

CONSOMMATION : 5,2 VA maximum.

GENERATEUR D'IMPULSIONS : pour diode électroluminescente modulée. Impulsion de 400 mA, durée 20 µs. Fréquence de récurrence 30 Hz.

AMPLIFICATEUR : pour signaux issus d'un phototransistor.

AMME DE TEMPERATURES : de 0 à 60°C.

SENSIBILITE ET TEMPORISATION ajustables par potentiomètres accessibles à la partie supérieure du boîtier (tournevis Ø 3,5 maximum).

VOYANT ANALOGIQUE : dont l'intensité diminue au fur et à mesure de l'on améliore l'alignement optique.

VISUALISATION de l'état de la sortie par voyant incorporé. Cette formation est reportée électriquement sur le bornier pour une diode électroluminescente extérieure éventuelle (à monter en série avec une résistance de 2,2 kΩ).

TEMPORISATION par carte "fille" multifonctions et multigammes programmable par micro-inverseur et shunts.

FONCTIONS REALISABLES :

- Temporisation front avant ou front arrière.
- Contrôle de défilement.
- monostable sur front avant ou sur front arrière.

Gammes de temporisations ajustables par potentiomètres

- 0,06 à 0,6 seconde
- 0,26 à 2,5 secondes
- 2 à 20 secondes
- 16 à 160 secondes.

Pour obtenir un fonctionnement instantané, ôter la carte fille et la remplacer par un strap (voir fig. C).

Sortie SUR RELAIS : unipolaire inverseur.
Puissance de coupure 5 A - 220 V (cos φ = 1).

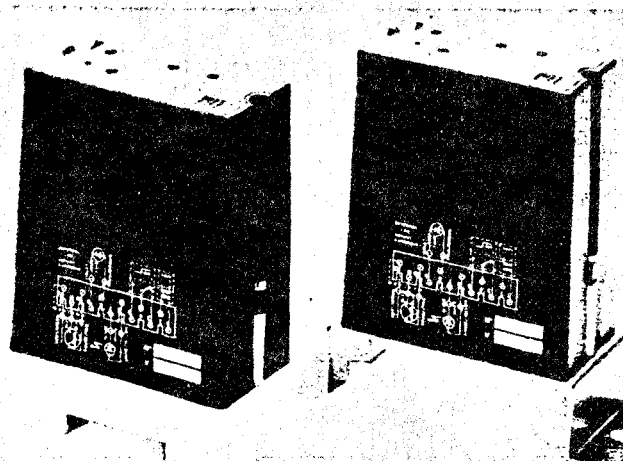


Fig. A

Fig. B

Sortie STATIQUE : transistor NPN
Vs = 24 volts continu Is = 35 mA max.
Impédance minima de la charge = 700 Ohms.

TEMPS DE REPONSE :

Sortie relais : 30 ms à la coupure du faisceau
10 ms au rétablissement du faisceau.
Sortie statique : 20 ms à la coupure du faisceau
2 ms au rétablissement du faisceau.

RACCORDEMENT : bornier à vis.

L'ENSEMBLE des éléments électroniques est solidaire du capot plastique. Pour le démonter, desserrer les deux vis situées de part et d'autre de celui-ci puis débrocher l'ensemble en le tirant.
La carte mère est fixée au boîtier par une vis cruciforme située sur le côté, à la partie supérieure.

ACA RAPIDE :

Pour les applications de comptage il existe une version rapide.

Les caractéristiques générales sont inchangées sauf :

- Générateur d'impulsions : de 110 mA, durée 10 µs, fréquence de récurrence : 7 kHz.
- Sensibilité réduite : la portée d'un capteur est environ 30 % de sa portée nominale.

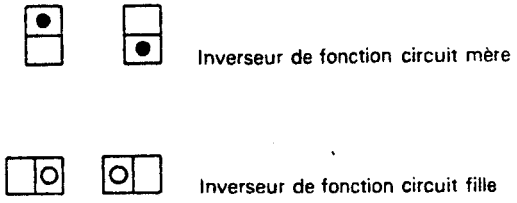
Cette version permet donc d'effectuer des comptages rapides sur de petites installations où la portée n'est pas un critère primordial. (Utilisation de lentilles additionnelles par exemple).

TEMPS DE REPONSE :

Sortie relais : 10 ms à la coupure du faisceau
2 ms au rétablissement du faisceau
Sortie statique : 0,6 ms à la coupure du faisceau
0,3 ms au rétablissement du faisceau

PROGRAMMATION

Légende :



FONCTION INSTANTANEE 010 (carte "mère" uniquement).

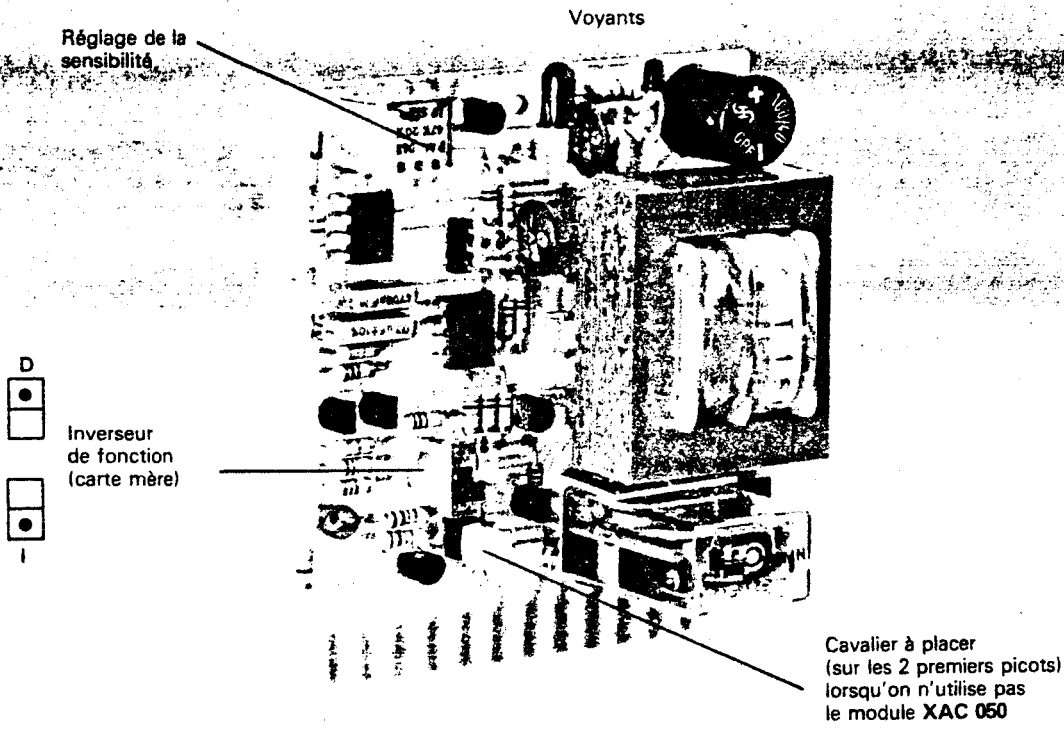


Fig. C

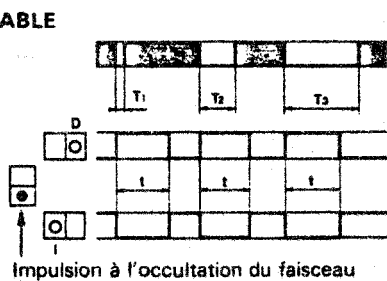
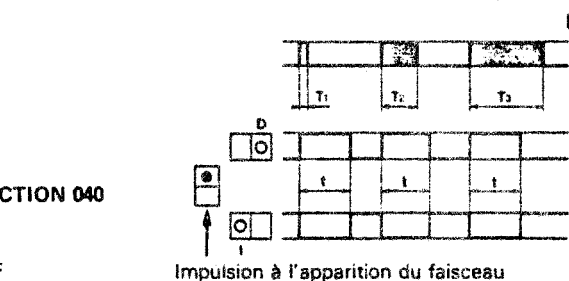
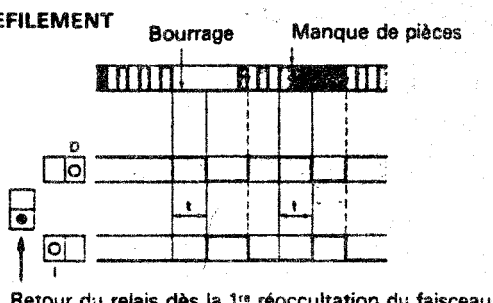
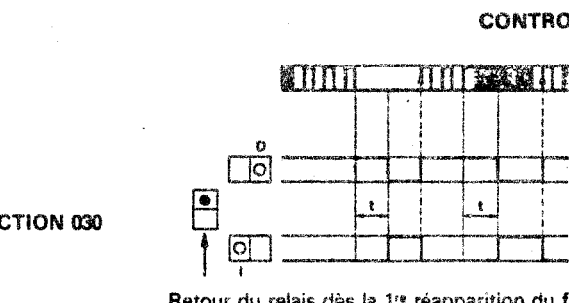
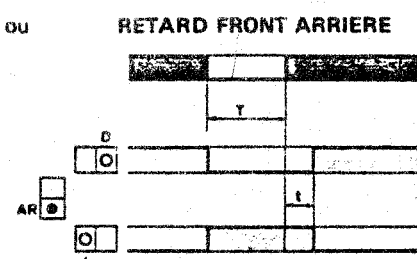
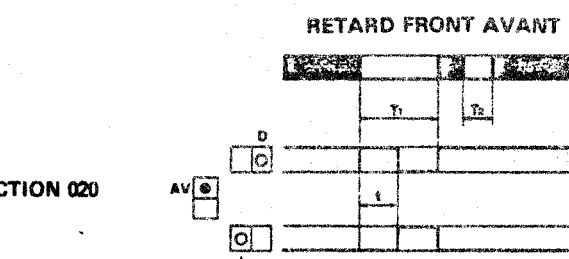
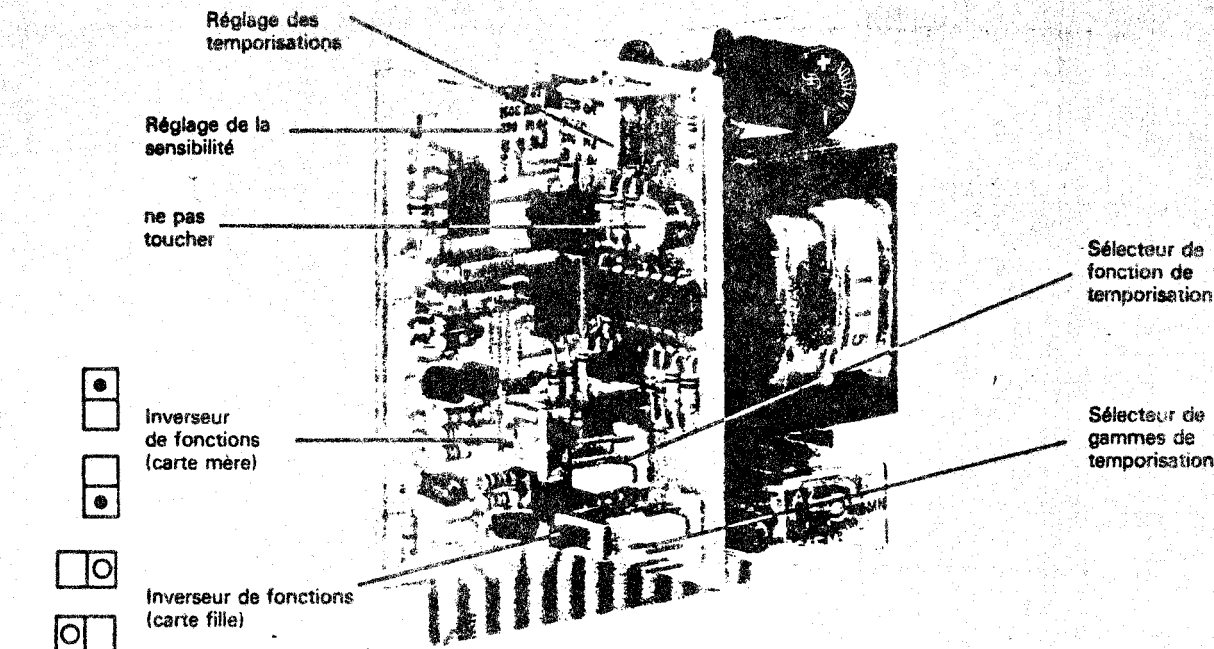
FONCTION 010 INSTANTANEE



		FAISCEAU					
		Passant					
		Occulté					
D						RELAIS	STATIQUE
						Travail	+ 24
						Repos	0
						Travail	+ 24
						Repos	0

Fig. D

CTIONS TEMPORISEES (avec module de temporisation réf. XAC 050)



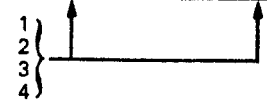
POUR PASSER COMMANDE :

Préciser :

- La référence de l'amplificateur (fonction instantanée).
- Eventuellement : module de temporisation réf. XAC 050.

Alimentation	Sortie Relais	Sortie Statique
24 volts continu	ACA .12	ACA .22
24-48 volts alternatif	ACA .1A	ACA .2A
110-220 volts alternatif	ACA .19	ACA .29

Version avec semelle
Version rapide avec semelle
Version avec support DIN
Version rapide avec support DIN



ENCOMBREMENT ET FIXATION

Modèle avec semelle

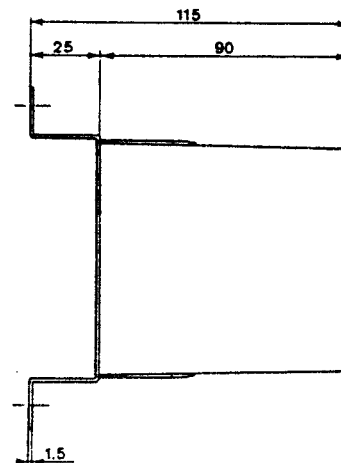
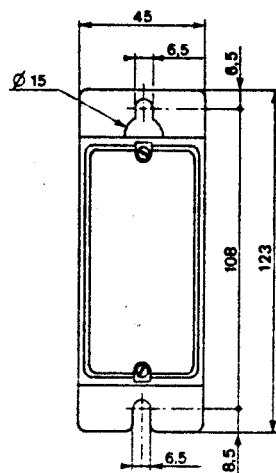


Fig. G

Modèle avec support DIN

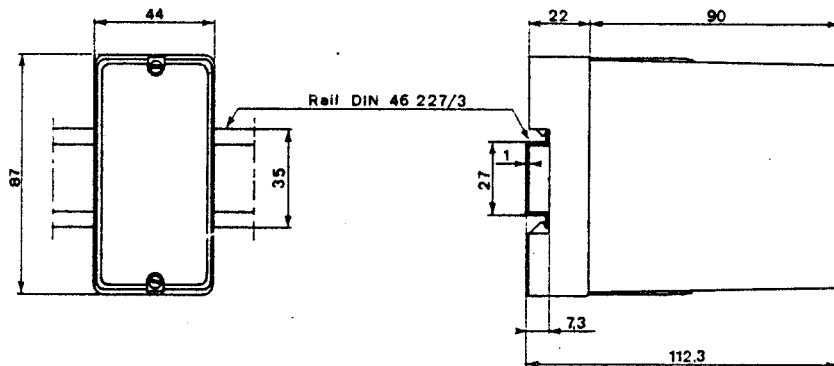
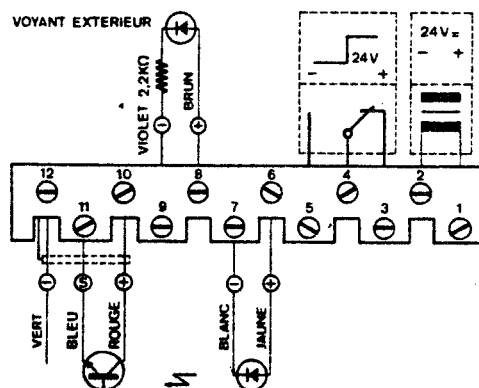


Fig. H

RACCORDEMENT



- 1 - 2 : Alimentation
- 3 - 4 - 5 : Utilisation
- 6 - 7 : Emission
- 10-11-12 : Réception

Fig. I

RACTERISTIQUES TECHNIQUES

PS : décolleté et fileté M 18 x 1 ; longueur 40 mm ; en duralumin
gé par oxydation anodique.

PS : 80 grammes avec le câble de raccordement.

CTION : par écrou et contre-écrou en nylon chargé verre se blo-
t sur le corps Ø 18 mm.

SSION : diode électroluminescente.

CEPTION : photodiode au silicium.

RANCE D'UTILISATION : fonction de la nature et de la couleur
matériau à détecter. Garantie à 0,20 m sur une feuille de papier
mat, format 21 x 29,7 cm.

: avec un matériau brillant, la surface doit être perpendiculaire à
optique.

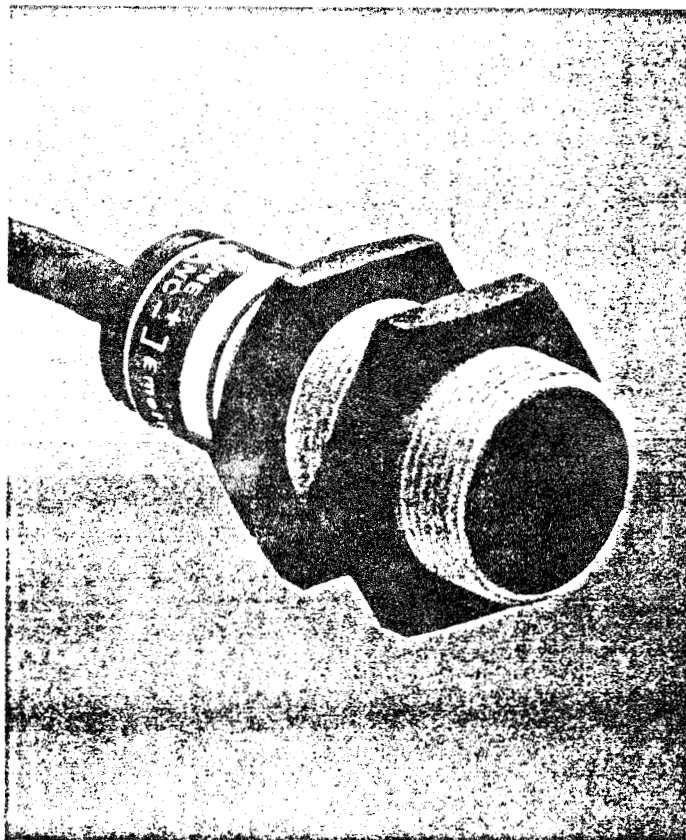
ME DE TEMPERATURES : de - 10 à + 60°C.

CORDEMENT :

ue appareil est livré avec 2 mètres de câble blindé 5 conducteurs,
AC 560. (Autres longueurs sur demande).

PLIFICATEURS CONSEILLES

illule **SBC 009** ne peut fonctionner qu'en lumière modulée.
er un amplificateur de la série **ACA** (voir NT 78 097).

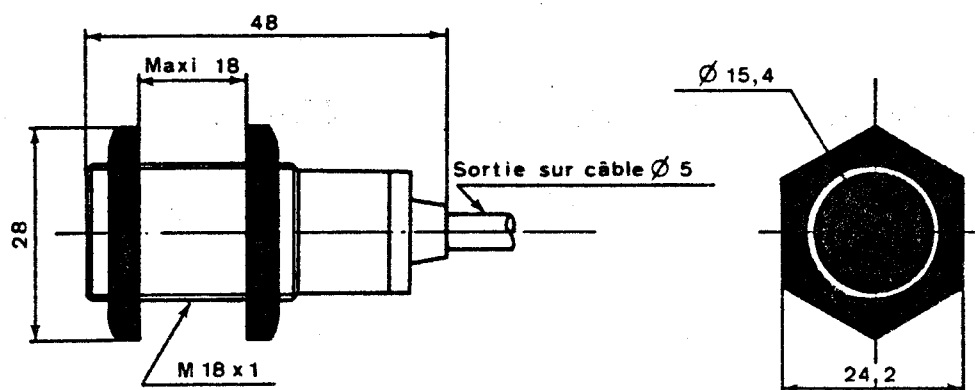


POUR PASSER COMMANDE

Préciser :

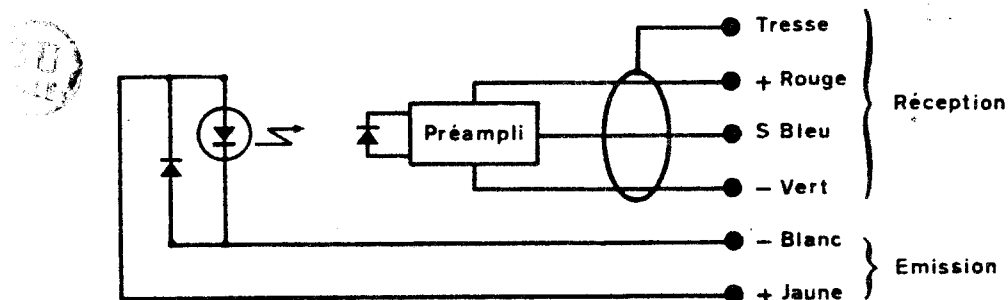
- la référence de la cellule **SBC 009**
- la référence de l'amplificateur (série **ACA**)
- éventuellement, une longueur de câble différente.

ENCOMBREMENT ET FIXATION



RACCORDEMENT

Chaque appareil est livré avec 2 mètres de câble blindé 5 conducteurs, réf. **LAC 560**. (Autres longueurs sur demande).



BARRAGE PHOTOELECTRIQUE A FIBRES OPTIQUES

AFA

EMISSION PAR DIODE ELECTROLUMINESCENTE MODULEE

ASGA - FIBRES OPTIQUES

L'AFA associe les caractéristiques techniques des fibres optiques à celles d'un barrage photoélectrique classique avec des avantages considérables.

- L'amplificateur peut se trouver dans une position quelconque loin du point de lecture et donc à l'abri de toute "pollution extérieure" tant mécanique qu'électrique.
- La propriété qu'ont les fibres optiques de transmettre l'énergie lumineuse d'un point à un autre suivant un trajet non rectiligne fait que la détection peut s'effectuer dans l'air, dans un liquide, dans un milieu à température élevée, à des emplacements exigus, inaccessibles, etc.

Différentes sondes interchangeables peuvent s'adapter sur l'AFA au moyen d'un connecteur à visser (voir p. 2).

L'ensemble peut fonctionner en réflexion sur un catadioptré ou directement sur l'objet et également en barrage si les faisceaux émission et réception sont séparés.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DE L'AMPLIFICATEUR AFA

BOITIER : ZAMAC injecté et peint. Etanchéité IP 55.

POIDS : 500 grammes.

FIXATION : par deux trous oblongs de $6,5 \times 10$ mm.

ALIMENTATION :

24 volts continu.

24, 48, 110 ou 220 volts. alternatif. -15% , $+10\%$.

CONSUMMATION : 2,5 VA

EMISSION : diode électroluminescente.

Fréquence de récurrence : 1000 Hz.

RECEPTION : photodiode au silicium.

SENSIBILITE : ajustable par trimmer interne.

GAMME DE TEMPERATURES : de -10 à $+60$ °C.

FONCTION : directe ou inverse par commutateur interne.

SORTIE SUR RELAIS : unipolaire inverseur. Pouvoir de coupure : 3 A-220 V ($\cos \varphi = 1$)

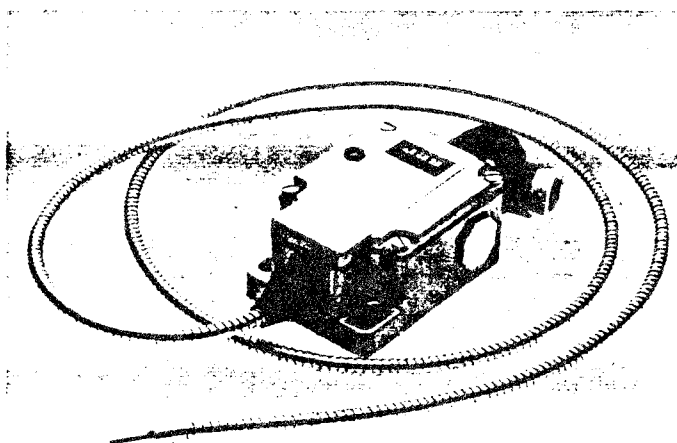
SORTIE STATIQUE : transistor NPN.

$V_s = 24$ volts continu. $I_s \text{ max} = 25$ mA.

TEMPS DE REPONSE :

— sortie relais : 19 ms à l'occultation.

23 ms au rétablissement du faisceau.



— sortie statique : 8 ms à l'occultation.

20 ms au rétablissement du faisceau.

RACCORDEMENT : languettes pour coses "Faston" femelles de 5 mm sous capot étanche comportant un presse-étoupe n° 13.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES FIBRES OPTIQUES

— Fibres de verre sous gaine métallique ou PVC (voir tableaux).

— Fixation sur l'AFA par connecteur à visser.

— Gammes de températures au niveau des embouts (voir tableaux).

PRECAUTIONS IMPORTANTES : les sondes étant constituées de faisceaux de fibres de verre, il convient de les manipuler avec précaution, en particulier, éviter les rayons de courbure trop faibles et NE JAMAIS ETIRER LA GAINE.

ENVIRONNEMENT : les extrémités des sondes peuvent travailler dans un environnement extrêmement sévère : dans l'air, dans un liquide, dans un milieu déflamant, sous vide ou sous pression, dans une gamme de températures de -180 à $+250$ °C et en milieu très parasité. Seules la poussière et les salissures sont à éviter sous peine de dégradation des performances en distance de détection.

PORTÉES MESURÉES EN FONCTION DES DIFFÉRENTES SONDES (A 20 °C)

Sonde	WRB 010 à 040	WRB 110 à 140	WRB 210	WRB 220 à 240
Réflecteur WAB 470	50 cm	50 cm	—	—
Papier blanc mat	2 cm	2 cm	—	—
Distance émetteur récepteur	—	—	25 cm	35 cm

N.T. 80 009



BP 24 / 38700 LA TRONCHE
France

REFLEXION SUR OBJET OU REFLECTEUR

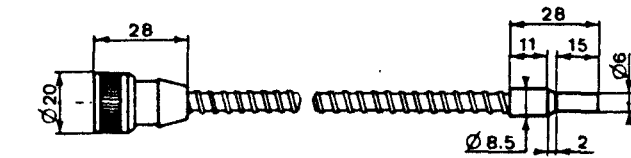


Fig. A

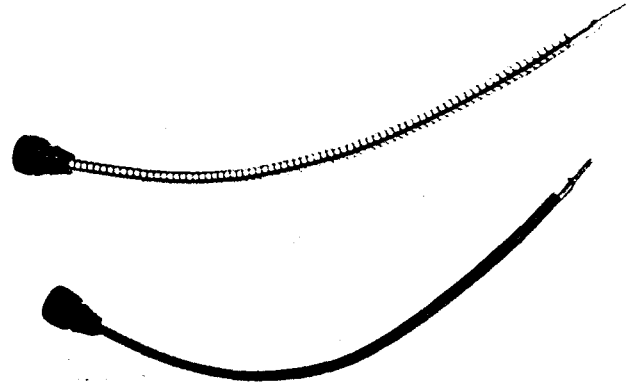


Fig. B

Référence	Diamètre du faisceau de fibres	Longueur	Nature de la gaine	Embout	Température	Figure
WRB 010	3 mm	300 mm	laiton chromé	aluminium	de : - 180 °C à : + 250 °C	A
WRB 020	3 mm	600 mm	laiton chromé	aluminium		
WRB 030	3 mm	1 000 mm	laiton chromé	aluminium		
WRB 040	3 mm	1 500 mm	laiton chromé	aluminium		
WRB 110	2 mm	300 mm	PVC	aluminium	de : - 20 °C à : + 70 °C	B
WRB 120	2 mm	600 mm	PVC	aluminium		
WRB 130	2 mm	1 000 mm	PVC	aluminium		
WRB 140	2 mm	1 500 mm	PVC	aluminium		

BARRAGE

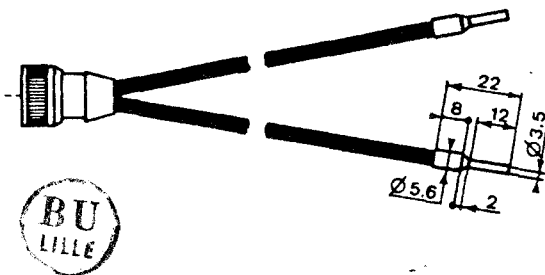
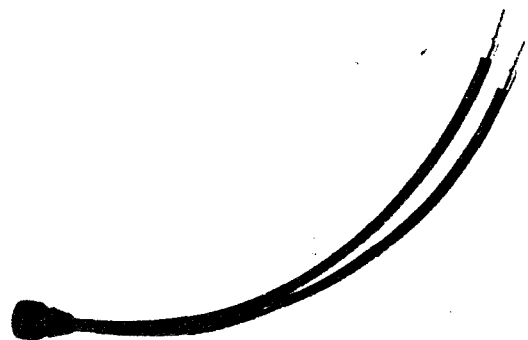


Fig. C



Référence	Diamètre du faisceau de fibres	Longueur	Nature de la gaine	Embout	Température	Figure
WRB 210	2 mm	300 mm	PVC	aluminium	de : - 20 °C à : + 70 °C	C
WRB 220	2 mm	600 mm	PVC	aluminium		
WRB 230	2 mm	1 000 mm	PVC	aluminium		
WRB 240	2 mm	1 500 mm	PVC	aluminium		

IDENTIFICATION DES ELEMENTS PRINCIPAUX

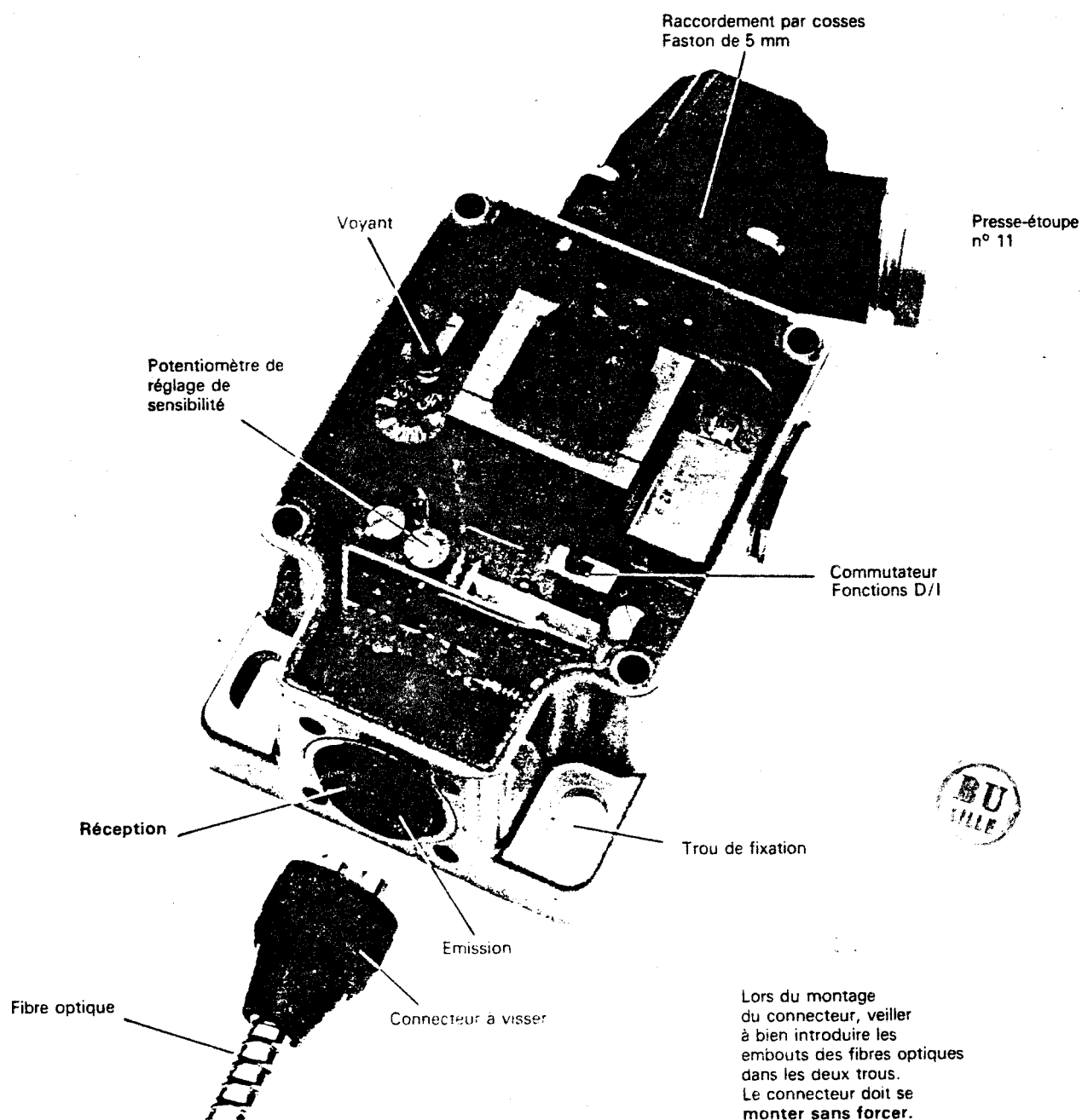


Fig. D

POUR PASSER COMMANDE

Préciser :

- La référence du boîtier amplificateur

ALIMENTATION	SORTIE RELAIS	SORTIE STATIQUE
24 volts continu	AFA 012	AFA 022
24 volts alternatif	AFA 014	AFA 024
48 volts alternatif	AFA 015	AFA 025
110 volts alternatif	AFA 016	AFA 026
220 volts alternatif	AFA 018	AFA 028

- La référence de la sonde fibres optiques.
- Eventuellement, la référence du réflecteur (voir NT 78 027).

ENCOMBREMENT ET FIXATION

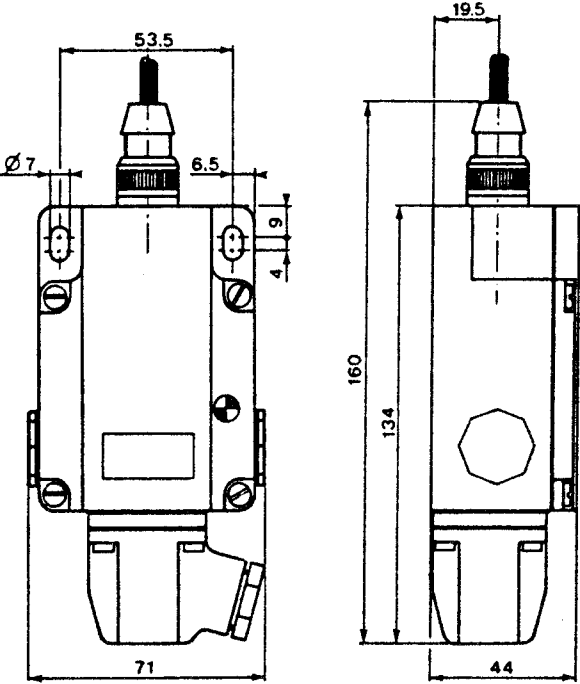
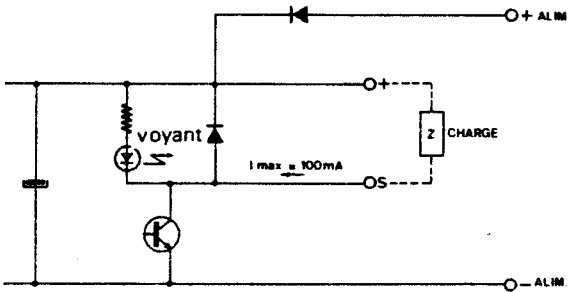
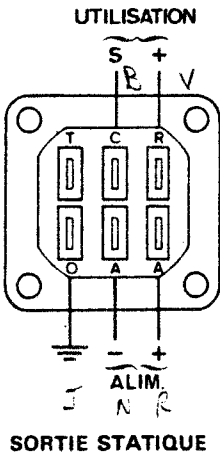
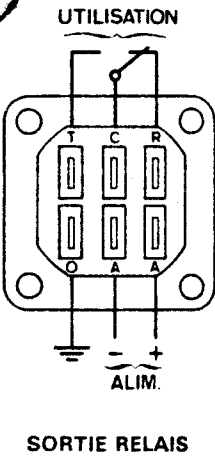
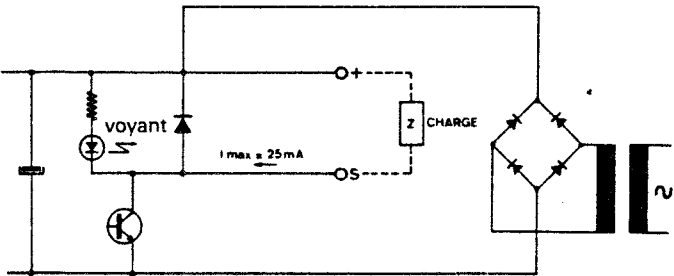


Fig. E

RACCORDEMENTS



SORTIE STATIQUE - ALIMENTATION 24 VOLTS CONTINU



SORTIE STATIQUE - ALIMENTATION ALTERNATIVE

Fig. F

AT2000

lecteur de repères colorés

24V⁺ HT
11 sec d'Alim-
soutenu 24Vdc + 4,5 A_{avg}
8008⁺ HT

le technique

DESCRIPTION

Fixation

2 trous de fixation (M 5, profondeur 5,5mm) situés sur les deux côtés du boîtier et 4 trous (M 5 x 5,5mm) situés sur la face avant.

Position de la lentille frontale :

La lentille frontale et le cache sont interchangeables. Le faisceau lumineux peut ainsi être dirigé vers le bas ou vers l'avant. L'étanchéité est assurée par des joints circulaires 20 x 2 mm.

Distance de réflexion

En principe la distance du détecteur aux matériaux à examiner doit être ajustée, afin d'obtenir une image nette du filament de la lampe. A cet effet, les détecteurs de couleurs doivent avoir une possibilité d'ajustement. La distance entre le matériau et le boîtier varie en fonction de l'objectif utilisé (voir paragraphe 4.4.).

Pour un détecteur standard et un maximum de sensibilité, la distance est de 12 mm (objectif 1).

Position du filament

Le trait lumineux (3 x 1 mm) c'est-à-dire l'image focalisée du filament de la lampe de projection sur le matériau, doit toujours être parallèle au repère imprimé qui doit être lu, afin d'obtenir un temps de réponse court et donc un seuil de basculement précis. Dans ce but, le filament peut être positionné longitudinalement perpendiculairement à l'axe du détecteur, en utilisant la même lampe, simplement en la tournant de 90° (voir paragraphe 5.2., changement de la lampe).

Dispositifs de commande et de contrôle

Sur le côté du câble, on trouve le bouton de réglage de seuil de commutation, le sélecteur clair/ foncé et une fenêtre derrière laquelle se situe l'indicateur LED. Les dispositifs de commande et de contrôle sont facilement accessibles et bien visibles.

Longueur du câble

La longueur standard du câble est de 2 m. D'autres longueurs peuvent être fournies sur demande. Le second chiffre du numéro de désignation du modèle donne la longueur du câble en mètres.

CONNEXION ELECTRIQUE

AT 2001

Le numéro 1 correspond à une prise mâle à sept (7) broches, type T 3104 sur le câble. Cette prise se branche sur le connecteur à embase T 3107 ou sur la prise femelle T 3105.

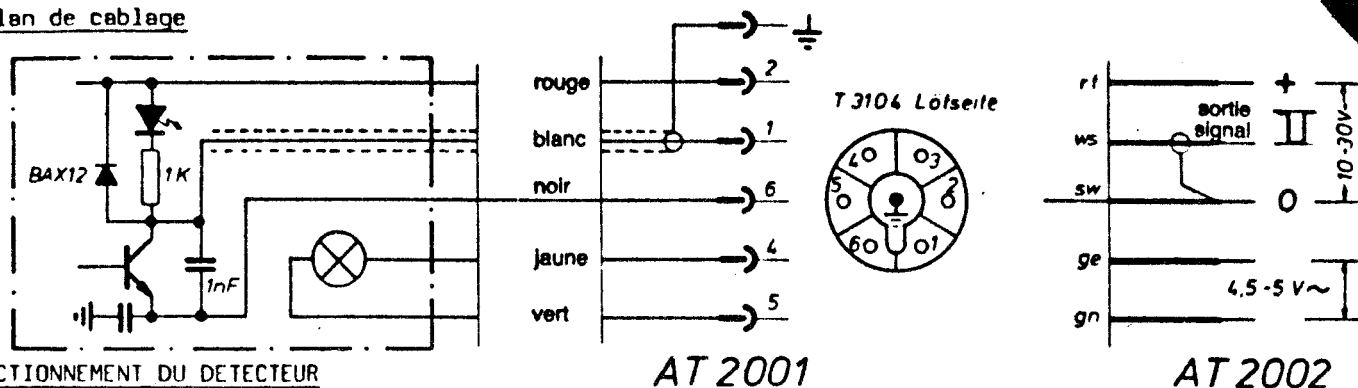
AT 2002

Le 2 correspond à un câble à extrémités libres pour une connexion terminale.
Les couleurs de chaque conducteur de câble sont :

jaune	)	4,5/ SVAC
vert	)	
rouge	+)	10/30 V DC
noir	-)	
blanc	)	sortie signal (blindée)

N.B. Le dernier chiffre du numéro de désignation du modèle indique le mode de raccordement du câble au détecteur.

2.3. Plan de câblage



3. FONCTIONNEMENT DU DETECTEUR

AT 2001

AT 2002

Après avoir réglé la position de la lentille, la distance de réflexion et la position du filament selon les directives des paragraphes 1.2. - 1.4. et après avoir effectué toutes les connexions électriques selon les directives du paragraphe 3.3., le détecteur peut être mis sous tension.

3.1. Commutateur clair-foncé

Pour lire un repère foncé sur un support clair, le commutateur clair-foncé doit être dirigé vers le point foncé. Dans cette position l'indicateur LED s'allume si le volume de lumière réfléchi par le matériau est plus faible que le volume de lumière ajusté par le bouton de commande.

Pour lire un repère clair sur un support foncé, le commutateur clair-foncé doit être dirigé vers le point clair. Dans ce cas la LED s'allume si le volume de lumière réfléchi est plus grand que la valeur ajustée.

3.2. Réglage du diaphragme

La lumière réfléchie par le matériau est envoyée sur une cellule photoélectrique (élément de réception), une seconde cellule photoélectrique (élément de comparaison) reçoit la lumière directement de la lampe de projection. La quantité de lumière reçue par l'élément de comparaison peut être ajustée par le bouton de commande qui agit sur un diaphragme. Le réglage doit être effectué de façon à ce que la quantité de lumière reçue par l'élément de comparaison et l'élément de réception soit la même. La différence de lumière reçue (moins avec un repère foncé, plus avec un repère clair) peut ainsi être décelée.

3.3. Contacts sur la machine, avancement du matériau

Le contrôle d'une machine à emballer à l'aide du matériau d'emballage et de repères imprimés n'est réalisable que par un décalage entre l'avancement du matériau et la quantité nécessaire de ce matériau. L'avancement - et donc l'excès de matériau - est stoppé au moyen du repère imprimé. Le réglage de l'avancement et des contacts sur la machine est assuré par le fabricant de la machine et est essentiel pour la compréhension des fonctions.

4. SENSIBILITE, CONTRASTES

4.1. Matériaux transparents

Dans le cas de matériaux transparents les principes suivants doivent être appliqués : si c'est la feuille elle-même qui doit être détectée (par exemple le bord avant), un signal ne peut être obtenu que si le support est foncé ou s'il n'y a rien en dessous, (un trou percé dans le support par exemple).

Si dans l'autre cas un repère foncé doit être détecté, le support doit être clair. Ceci n'est pas dû à la réflexion mais à la dispersion en diffusion du matériau (par exemple l'aluminium naturel).

4.2. Matériaux à haut pouvoir de réflexion

Le principe de l'examen de la lumière réfléchie est de saisir un volume aussi grand que possible de cette lumière. Lors de l'examen de matériaux à haut pouvoir de réflexion, diverses réflexions dues à des plis ou à des rides peuvent engendrer des perturbations. Ces perturbations peuvent être supprimées en inclinant le détecteur dans le plan de détection. (15 - 20°).

4.3. Sensibilité

La partie électronique du détecteur est conçue avec un amplificateur en pont, compensé, des cellules photoélectriques passivées au bleu et des circuits en spécifications militaires, ce qui permet d'obtenir une haute sensibilité et une grande stabilité.

Le signal électrique produit par les cellules photoélectriques dépend de la longueur d'ondes (couleur) de la lumière réfléchie (à cause de la sensibilité spectrale relative du récepteur photoélectrique), et aussi de la saturation en couleur (addition achromatique). Il peut arriver que des contrastes de couleur aisément différentiables pour l'oeil, par exemple le bleu clair et le rouge foncé, produisent le même signal électrique et ne peuvent ainsi être séparés. L'utilisation d'un filtre de couleur - dans ce cas, d'un filtre orange, qui atténue beaucoup le rouge mais peu le bleu - augmente suffisamment le contraste pour permettre de les séparer.

Distance de réflexion

Une conséquence de la construction optique du détecteur est la possibilité d'une certaine variation de la focale ; cette variation dépend naturellement du contraste. Pour cette raison, il faut s'assurer dans tous les cas que le matériau se déplace régulièrement. Des lentilles frontales à grande distance de réflexion peuvent être fournies, sur demande. Cependant, une grande distance de réflexion conduit à une perte non négligeable de sensibilité puisqu'une quantité plus petite du trait de lumière est alors reçue.

Optique nr	Distance entre la surface de la lentille et le matériau	Distance entre le boîtier et le matériau	Dimension de la tâche de lumière	
1	12 mm (standard)	17 mm	1,0 x	3 mm
2	20 mm	30 mm	1,2 x	3,5 mm
3	50 mm	90 mm	2 x	5 mm
4	120 mm	160 mm	3 x	12 mm
5	1000 mm	10000 mm	50 x	90 mm

IPE DE PROJECTION

Caractéristiques électriques, durée de vie

L'ampoule est spéciale avec un filament centré et consomme 800 mA sous 6V.

Pour obtenir une durée de vie satisfaisante, la lampe doit être utilisée dans la gamme 4,5 - 5 V.

Les durées de vie moyennes sont les suivantes :

5,5 V	350 heures
5 V	2000 heures
4,5 V	7500 heures

Ceci montre qu'une tension d'alimentation excessive réduit considérablement la durée de vie de la lampe. Pour ajuster la tension d'alimentation correcte de la lampe pour les tensions 24/48 V et 110, 115, 130/220, 230 et 240 V, le transformateur possède deux prises. La tension peut être changée à l'aide d'un pont de soudure. Les transformateurs sont ajustés en usine à la valeur inscrite sur la plaquette d'identification.

Changement de la lampe et de la position du filament

Le détecteur s'ouvre en dévissant deux (2) vis imperdables situées sur la face arrière, le couvercle peut alors être retiré. Après avoir desserré les deux (2) écrous à fentes, le collier coulissant peut être poussé en arrière et la lampe doit être dégagée par le haut par une légère pression sur le contact élastique. Le filament de la lampe est centré dans son ampoule de verre et cela permet donc de modifier la position du trait de lumière sur le matériau à examiner en tournant la lampe dans son support. (filament parallèle ou perpendiculaire à l'axe du détecteur). Dans ce but, la lampe possède deux (2) trous dans sa base situés à 90° et le support est muni d'un index de centrage qui maintient la lampe dans sa position. Lors de la mise en place de la lampe, il faut faire attention à ce que l'un des trous de la lampe se trouve bien en face de l'index ce qui peut facilement être vérifié par la position du filament. La lampe étant maintenue par une légère pression sur le contact élastique, il suffit de remettre le collier coulissant en place. Le couvercle peut alors être remis en prenant soin que le joint circulaire prenne correctement sa place, fermer et revisser fortement.

ACTERISTIQUES TECHNIQUES

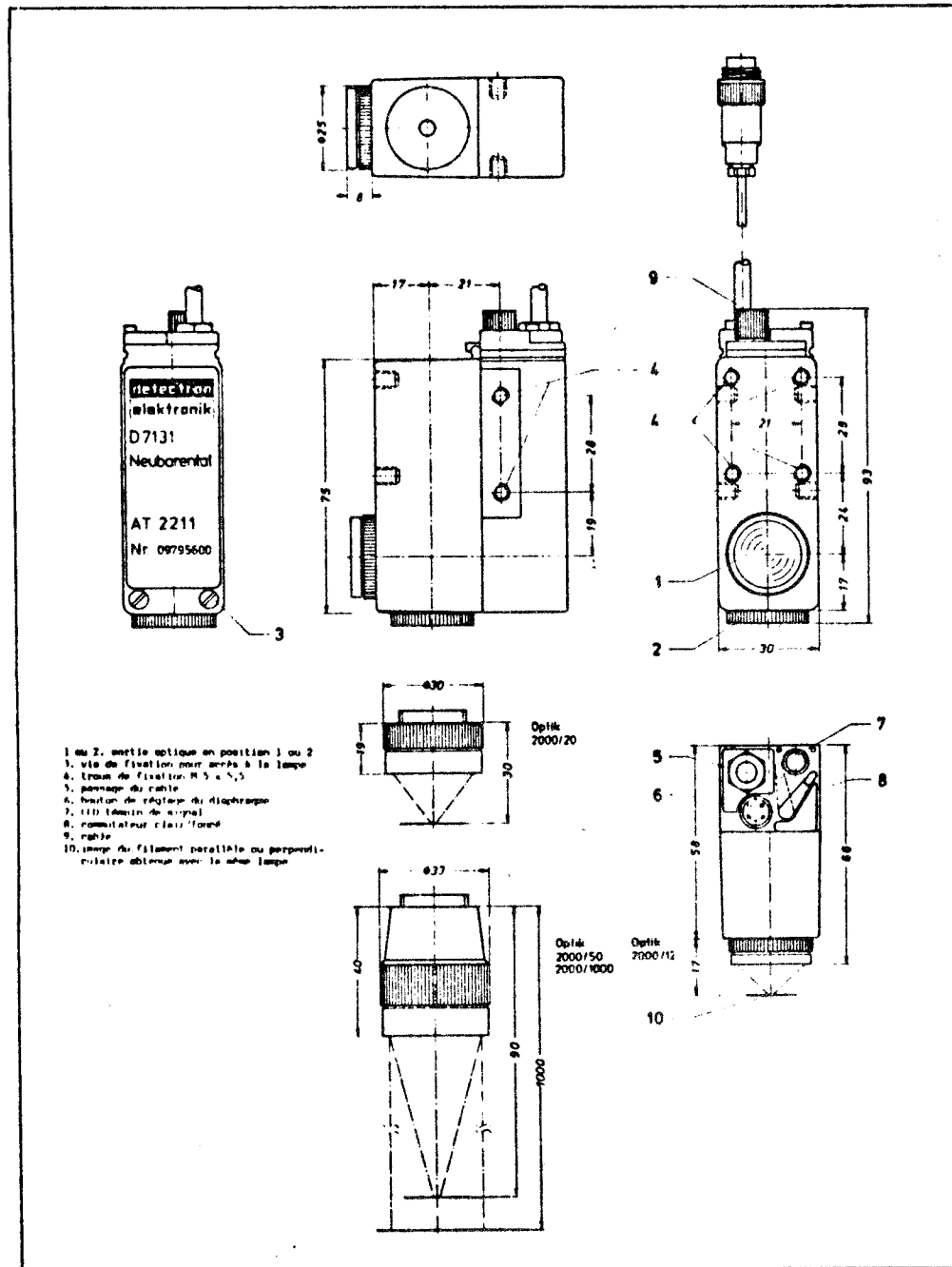
- tension d'alimentation (protection contre une inversion de polarité):	10 à 30 V =
- tension de courant admissible courant à vide :	2 Vss 70 mA à 30 V
- courant de charge (protection contre les court-circuits) :	200 mA max.
- tension de repos du transistor de sortie :	1 V
- répétition d'impulsions avec une relation clair/foncé de 1/1 :	10 kHz
- température ambiante admissible :	-20 à + 70° C
- longueur standard du câble :	2 m
- distance de détection standard :	12 + ou - 1,5mm du boîtier
- lampe type AT 2/3 :	max 5 W 800 mA
- durée de vie moyenne :	2000 heures à 5 VAC

- protection	:	IP 67
- dimensions	:	58 x 93 x 30 mm
- poids	:	0,55 kg
- couleur : boîtier, câble, connecteur, objectif, cache	:	noir
élément de contrôle et de commande, plaque d'identification	:	argent, lettres noires

7. PIÉCES DÉTACHÉES

1. lampe AT 2/3
2. connecteur à embase T 3107 000
3. prise câble femelle T 3105 001
4. prise câble mâle T 3104 001 pour AT 2001
5. câble 5 conducteurs (1 conducteur blindé) pour AT 2000
6. objectifs (voir paragraphe 4.4.) no. 1 - 5
7. joints circulaires 47 x 1,5 mm, 20 x 2 mm

8. DESCRIPTION



9. DESIGNATION DE DIFFÉRENTS TYPES

AT 2212

1. index série du type
2. " long. câble en m
3. " no. optique (4.4.)
4. " connexion élect. (voir 2.1. - 2.3.)

58 x 93 x 30

Leuze electronic

B.P. 36

77426 MARNE LA VALLÉE

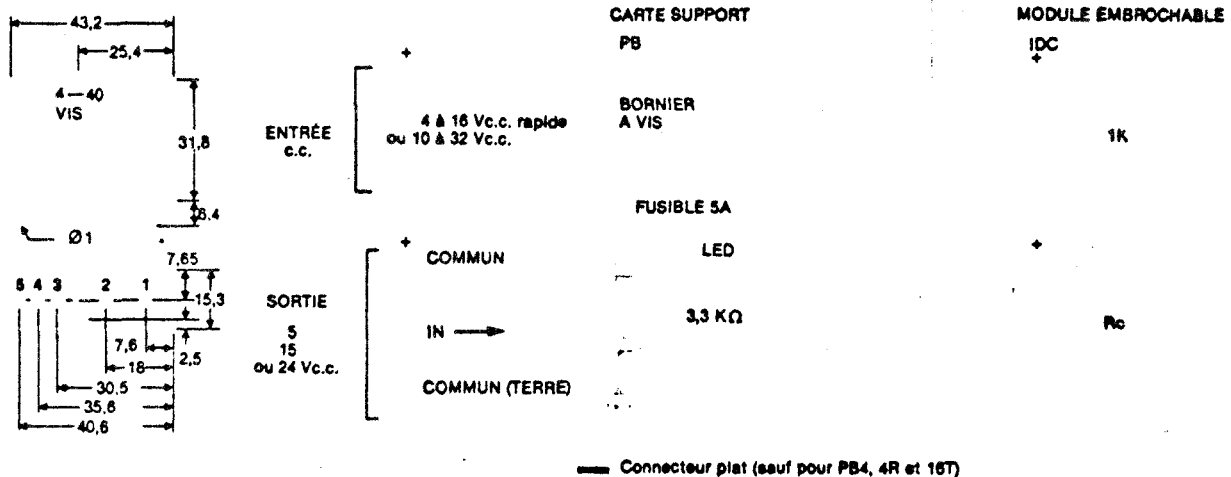
France

ENTRÉES COURANT CONTINU IDC



TENSION LOGIQUE	Rc	In
5 Volts c.c.	220 Ω	12 mA
15 Volts c.c.	1 K Ω	15 mA
24 Volts c.c.	2,2 K Ω	18 mA

Les modules d'entrée comportent un ampli à hysteresis pour le rejet des parasites et assure une commutation logique propre.

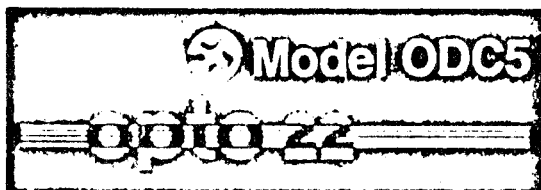


RÉFÉRENCES	IDC5	IDC15	IDC24	MODÈLES RAPIDES		
				IDC5-B	IDC15-B	IDC24-B
Tension d'entrée	10-32 Vcc			4-16 Vcc		
Courant d'entrée	32 ma à 32 V			14 ma à 5 V		
Rigidité diélect. e/s	4000 V			4000 V		
Capacité e/s	8 pF			8 pF		
Valeurs admises sans fonction.	2 mA ou 3 Volts			1 Volt		
Temps d'enclenchement	5 ms max.			0,05 ms max.		
Temps de relâchement	5 ms max.			0,1 ms max.		
Tension max. transistor	30 Volts			30 Volts		
Courant max.	50 mA			50 mA		
Courant de fuite	0,1 mA			0,1 mA		
Tension résiduelle	0,4 V à 50 mA			0,4 V à 50 mA		
Tension logique c.c.	4,5 à 6 V	12 à 18 V	20 à 30 V	4,5 à 6 V	12 à 18 V	20 à 30 V
Courant logique	12 mA	15 mA	18 mA	12 mA	15 mA	18 mA

ODC

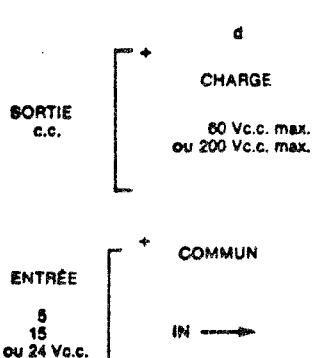
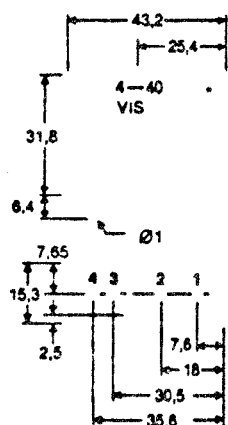
SORTIES COURANT CONTINU

TENSION LOGIQUE	Rc	In
5 Volts c.c.	220 Ω	12 mA
15 Volts c.c.	1 K Ω	15 mA
24 Volts c.c.	2,2 K Ω	18 mA



d : Diode de protection
sur charge selfique

Une conception unique des modules de sortie
courant continu permet de fournir un courant
important lors de la mise sous tension de fortes
charges.



CARTE SUPPORT
PB

MODULE EMBROCHABLE
ODC

BORNIER
A VIS

FUSIBLE 5A

LED

3,3 K Ω

AMPLI

+ Rc

Connecteur plat (sauf pour PB4, 4R et 16T)

RÉFÉRENCES	ODC5	ODC15	ODC24	ODC5-A	ODC15-A	ODC24-A
Tension de sortie max.	60 Vc.c.			200 Vc.c.		
Courant de sortie	3 A ¹			1 A ²		
Courant de fuite	1 mA max.			2 mA max.		
Rigidité diélect. e/s	4000 V			4000 V		
Tension logique	2,5 V à 8 V	9 V à 18 V	18 V à 28 V	2,5 V à 8 V	9 V à 18 V	18 V à 28 V
Tension de relâchement	1 V			1 V		
Résistance d'entrée	200 Ω	1 K Ω	2,2 K Ω	220 Ω	1 K Ω	2,2 K Ω
Surcharge 1 s max.	5 A			5 A		
Temps d'enclenchement	0,1 ms			0,1 ms		
Temps de relâchement	0,75 ms			0,75 ms		

¹ Température d'utilisation — 30 à + 80°C
3 A à 45°C, 2 A à 70°C

² Déclasser de 0,018 A par °C à partir de
45°C de température ambiante.

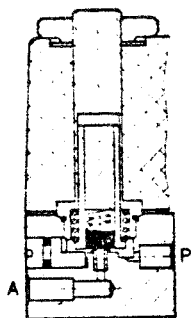
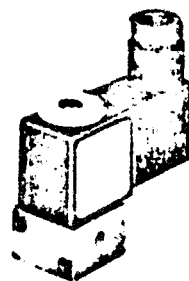
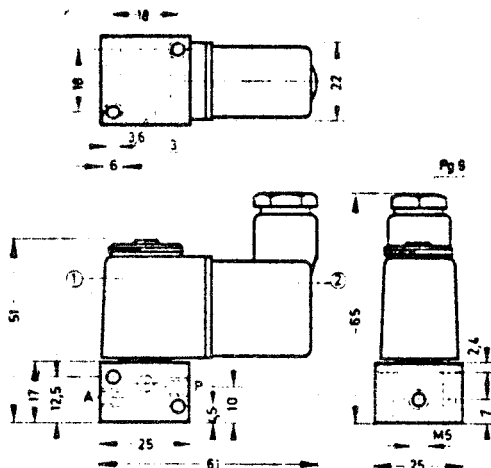
125,68

tributeurs à commande électrique
tributeurs 2-2, à commande directe, M 5

Electrodistributeur
Type MFH-2-M 5
à commande manuelle auxiliaire



Après mise sous tension, il y a excitation de l'aimant et commutation du distributeur.



Couple de serrage admissible de l'écrou de fixation du pilote électrique = 150 Ncm (15 kpcm)

- ① Pilote électrique orientable
- ② Le connecteur peut être tourné de 180°
- ③ Commande auxiliaire manuelle

P = raccord d'air comprimé
A = conduite de travail ou de sortie

Référence	N° de pièce/type	4573 MFH-2-M 5 + indication de tension
Fluide		air comprimé filtre, lubrifié ou filtré, non lubrifié
Type de construction		soupape à siège, à commande unilatérale directe et à ressort de rappel
Méthode de fixation		alésages de part en part
Raccord		M 5
Diamètre nominal		1,5 mm
Débit nominal normal (P → A)		58 l/mn
Temps de commutation sous 6 bar		Marche: 10 ms. Arrêt: 10 ms
Plage de pression		0 à 8 bar
Température ambiante		-5 à +40° C
Température de fluide		-10 à +60° C
Matériaux		corps: Al, anodisé bleu; joints: Perbunan
Poids		0,110 kg
Courant continu	tensions normales	12, 24 V
	tensions spéciales	12 à 220 V
Courant alternatif	tensions normales	24, 42, 110, 220 V/50 Hz bzw. 50 ou 60 Hz
	tensions spéciales	8 à 240 V 50 ou 60 Hz
Puissance consommée		courant continu: 4,5 W, courant alternatif: maintien 6 VA, appel 7,5 VA
Durée d'enclenchement		100%
Méthode de protection		JP 65 (DIN 40 050)

pilotes électriques,
 pilotes électriques
 antideflagrants 57, 58

Clapets anti-retour et régleurs de débit
Soupapes d'étranglement, M 5 à R 1/2

FESTO
PNEUMATIC

Régleur de débit
Type GRO-...



Accessories:

Capuchon de protection type GRK...
faisant fonction de protection
contre le dérèglement
pour GRO-M 5
référence 6436 GRK-M 5



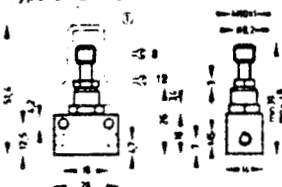
Ecrou hexagonal type GRM-...
pour le montage en pupitre
pour GRO-M 5:
référence 6444 GRM-M 5



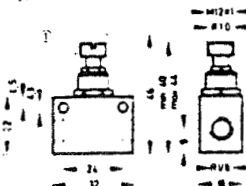
pour GRO-%.
référence 2107 GRM-%

Le regleur de débit sert au réglage du débit, p.ex. pour la vitesse du piston de vannes. Le débit peut être réglé de manière sensible dans les deux sens d'écoulement. Le débit d'air est approximativement le même dans les deux sens.

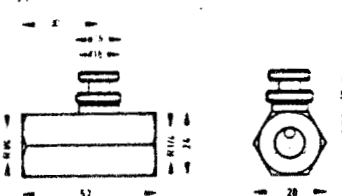
Type GRO-M 5



Type GRO-1/4

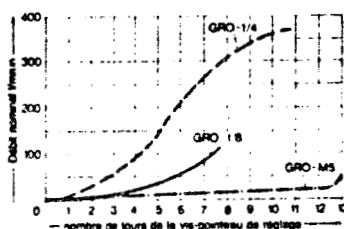


Type GRO-%

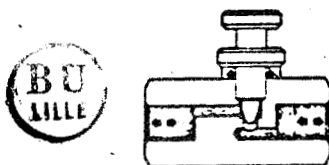


① Capuchon de protection

Débit en fonction du nombre de tours de la vis-
pointeau (caractéristique Q-s)

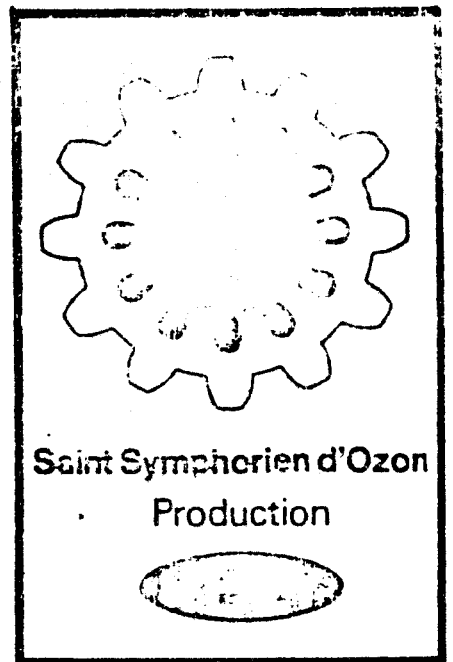
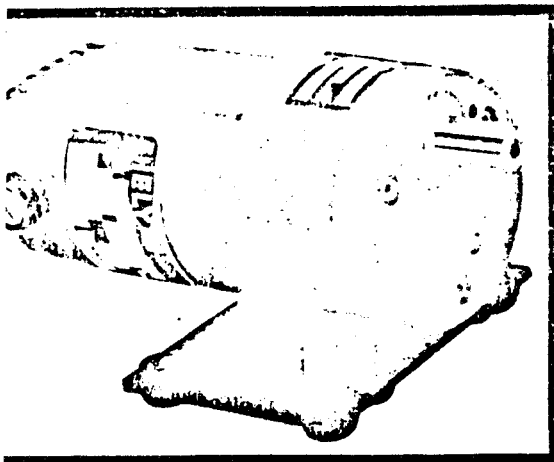


Example: type GAO-1/4



Référence	N° de pièce type	4804 GRO-M 5	6500 GRO-½	2109 GRO-½
Fluide		air comprimé, filtré, lubrifié ou filtré, non lubrifié		
Type de construction		soudure à arrangement		
Mode de fixation		2 ailettes de cant en part sur le corps ou montage en pupitre		montage sur conduite
Raccord		M 5	R ½	R ½
Diamètre nominal		2 mm	2 mm	4,5 mm
Débit nominal normal (P → A)		0 à 1 mn	0 à 1 mn	0 à 350 l/mn
Plage de pression		0 à 10 bar		
Plage de température		-10 à +60 °C		
Matériau		corps Al, laiton, joints Perbunan		corps Al, acier, joints Perbunan
Poids		0,020 kg	0,030 kg	0,080 kg

Motoréducteur



ENTRETIEN

Aucun.
Matériel considéré comme graissé à vie.



Motoréducteur
type 36-35 511 R 39

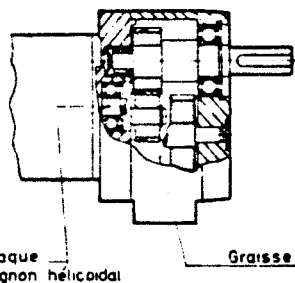
RÉDUCTEUR A ENGRENAGES

A un ou trois trains suivant les rapports.

SENS DE ROTATION et

VARIATION DE VITESSE

Idem au type 612 décrit page 7.

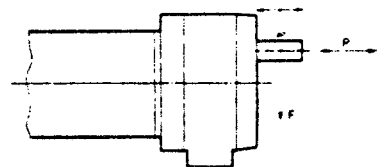


Attaque
par pignon hélicoïdal

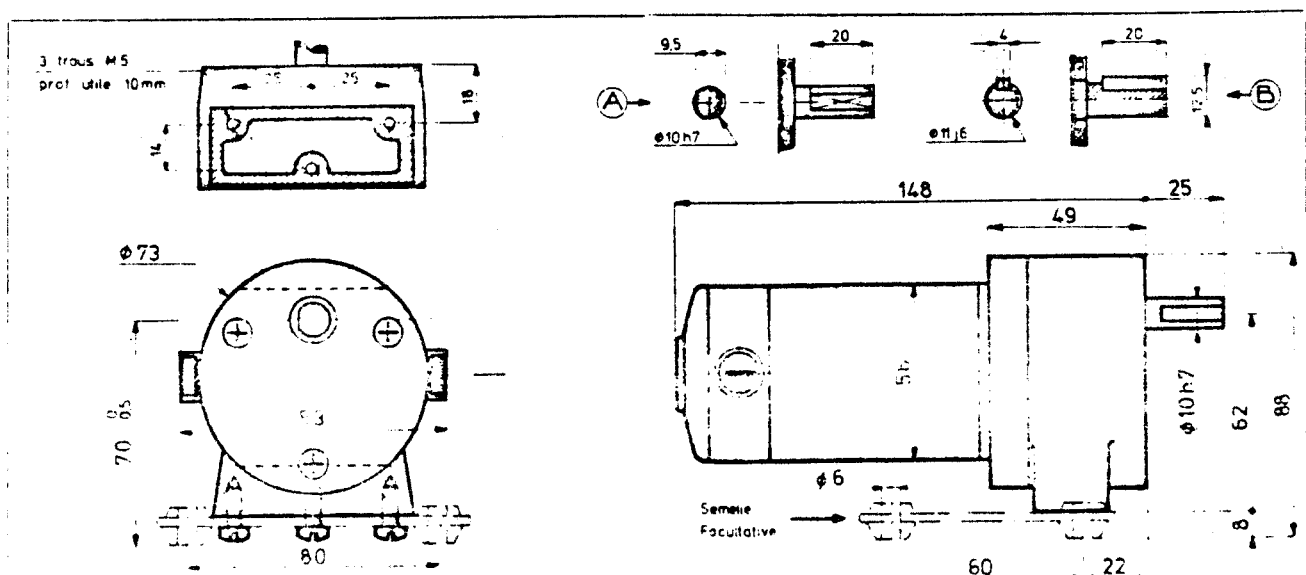
Graisse

Ces réducteurs ne
recevoir que le mote

Effort admis à l'arbre lent



Rapport de réduct. 1/	Sortie d'arbre	P daN	F daN	Avec M 36-35 Excit. série 50w à 5000 tr/mn (notice 15036)		Avec M 36-35 Excit. séparée 36w à 4000 tr/mn (notice 15036)		Masse Kg
				couple cm daN	plage de vitesse tr/mn	couple cm daN	plage de vitesse tr/mn	
5	A	0	2	4	100 à 1000	4	55 à 800	1,7
13	A	0	2	10	38 à 385	10	20 à 300	1,8
39	B	10	5	25	12 à 125	25	7 à 100	1,9



BRANCHEMENT Par borne de raccordement fixée sur la base ou directement sur câble 10.5 mm² long 200 mm.



Etude du moteur entraînant le plateau de séparation des graines

Au démarrage du moteur, la vitesse varie de 0 à w rd/s. On se fixe une vitesse de rotation maximale de 10 tours par seconde afin de ne pas endommager les graines.

La puissance nécessaire s'écrit alors:

$$P = mR^2w(dw/dt) \cdot \frac{1}{2}$$

avec : m : masse de la particule

R : rayon de giration

w : rotation instantanée

L'équation du mouvement est la suivante:

$$J(dw/dt) = N - fw \quad \text{avec: } N: \text{ réaction}$$

f : frottement

J : moment d'inertie du plateau

$$\text{On en tire : } (dw/dt) + (f/J)w = N/J$$

La solution de cette équation différentielle est du type:

$$w = w_1(1 - e^{-(t/T)}) , \quad \text{en posant } T = J/f$$

En utilisant cette relation dans l'équation (1) de la puissance on obtient:

$$P = (mR^2/2) \cdot (w_1^2/T) \cdot (1 - e^{-(t/T)}) \cdot e^{-(t/T)}$$

$$\text{ou encore : } P = fw_1^2 \cdot (1 - e^{-(t/T)}) \cdot e^{-(t/T)} \quad (4)$$

Cette relation (4) représente la loi de variation de la puissance demandée au cours du temps, pour lancer le plateau à la vitesse w_1 . Il convient donc, pour définir le moteur de calculer le maximum de la puissance.

On obtient cette puissance maximale pour: $e^{-(t/T)} = 1/2$

On a alors P_{max} en remplaçant cette valeur dans l'équation (4)

$$P_{max} = (1/4) \cdot fw_1^2 .$$

On a fixé la valeur maximale de la rotation à 10 tours par sec.

$$\text{donc : } P_{max} = 100 \pi^2 f$$

f est fonction du type de moteur et de la nature des liaisons plateau moteur. On peut admettre que f reste inférieur à 5% au cours de son fonctionnement. On en tire ainsi une valeur de P_{max} qui permet un choix de moteur. On a:

ANNEXE : CALCUL DES MOTEURS PAS A PAS

I Calcul des masses à transporter

1.1. Chariot mobile

douille à billes	0,037 kg
plaque aluminium	0,031 kg
vis	<u>0,010 kg</u>
total	= 0,078 kg

Par sécurité on arrondit à 0,1 kg, M = 0,1 kg

1.2. Portique mobile

chariot mobile	0,100 kg
plaque de base	0,156 kg
Blocs d'attache d'axes	0,053 kg
Axe	0,077 kg
Poulies + fixations	<u>0,075 kg</u>
total	= 0,461 kg

A cette masse il faut ajouter le poids du moteur embarqué qui dans ce cas de calcul est choisi comme étant un moteur Crouzet de référence 82 930 0 de masse 340 g. (la validité du choix est effectuée par la suite).

On a donc $M_2 = 801$ g, mais on se fixe $M_2 = 1$ kg par sécurité

II Choix des moteurs

L'équation générale du mouvement est la suivante:

$$\Gamma = J\ddot{\theta} \quad \text{avec } \Gamma: \text{ couple nécessaire au moteur}$$

$\ddot{\theta}$: accélération angulaire

J: moment d'inertie associé au système

$$\text{Et on peut aussi écrire: } J = J_1 + J_2 + J_3$$

avec, J_1, J_2 : moment d'inertie associé à chaque poulie

J_3 , moment d'inertie du chariot mobile. Ce moment

peut aussi être écrit $J_3 = MR^2$ avec M: masse du chariot

R: rayon de la poulie

$$\text{Et on a } J_1 = J_2 = (1/2)(m/2)R^2 \quad \text{avec } m: \text{ masse des poulies}$$

Et en remplaçant dans l'équation initiale on obtient

$$\underline{\Gamma = (M + m/2)R^2\ddot{\theta}}$$

En intégrant deux fois par rapport au temps, et en posant qu'à $t=0$, $\theta = 0$ et $\dot{\theta} = 0$

On a $\Gamma t^2 = 2(M + m/2)R^2\theta$

De plus on a aussi $x = R\theta$

l'équation devient alors: $\Gamma t^2 = 2(M + m/2)Rx$

Pour calculer les moteurs, on se place dans le cas le plus défavorable, c'est à dire celui du déplacement maximal pour chaque chariot.

Pour le moteur chargé de déplacer le bras de positionnement on a les valeurs suivantes:

$x = 0,12 \text{ m}$

$R = 12,94 \text{ mm}$

$M = 0,1 \text{ kg}$

On obtient alors: $\Gamma = (4,3/t^2) \text{ mNm}$

Le nombre de pas par seconde, qui définit la vitesse de déplacement peut aussi se calculer.

On a $N = \dot{\theta}P/2$ avec $\dot{\theta}$: vitesse angulaire

P: nombre de pas par tour

N: nombre de pas par seconde

Et $\dot{\theta} = \dot{x}/R$

Donc $N = \dot{x}P/2R$

Pour le moteur déplaçant le bras on a: $\dot{x} = x/t$

L'équation devient donc: $N = 71/t \text{ pas/seconde}$

On peut alors dresser un tableau des différentes valeurs possibles pour différents temps,

t (s)	$\Gamma = 4,3/t^2 \text{ (mNm)}$	$N = 71/t \text{ (pas/s)}$
0,1	430	710
0,2	108	360
0,3	48	237
0,4	27	178
0,5	18	142

Si on compare les résultats ainsi obtenus avec la courbe effort vitesse du moteur dans le cas de commande par pas entiers à tension constante, on constate que pour le moteur Crouzet 82.930.0, on obtient une intersection pour $t = 0,3 \text{ s}$. On se situe alors dans une zone d'emploi parfaitement adaptée pour ce moteur

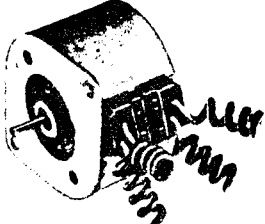
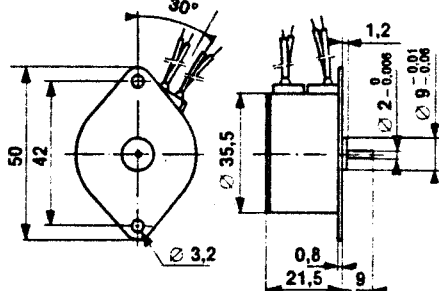
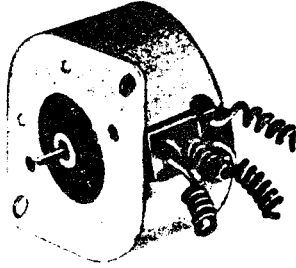
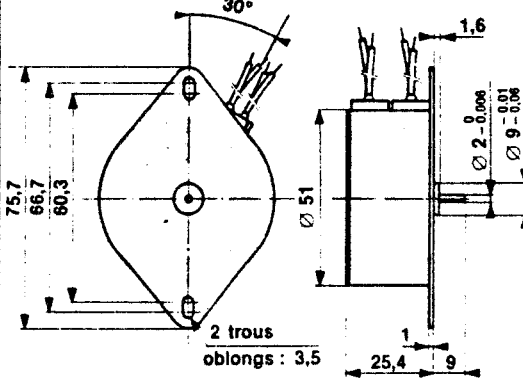
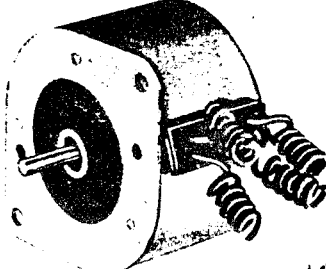
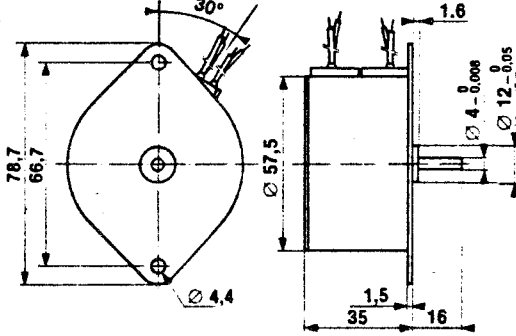
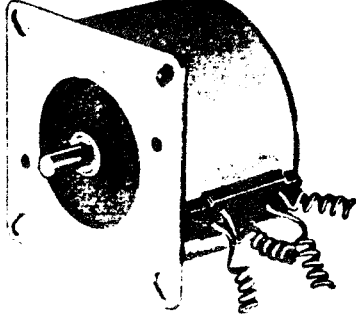
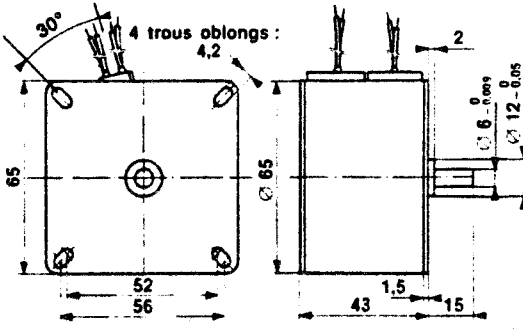
Pour le second moteur, chargé de déplacer le chariot mobile on utilise les mêmes formules, il suffit de changer les valeurs de quelques

t (s)	$\Gamma = 48/t^2$ (mNm)	$N = 107/t$ (pas/s)
0,5	192	214
0,6	135	179
0,7	100	153
0,75	86	145
0,8	75	135
0,9	60	120
1	48	110

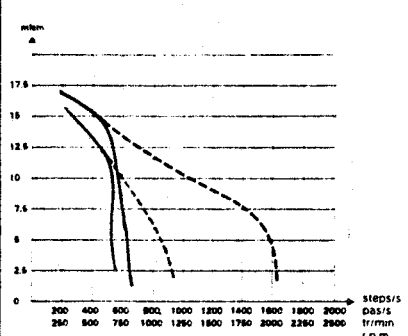
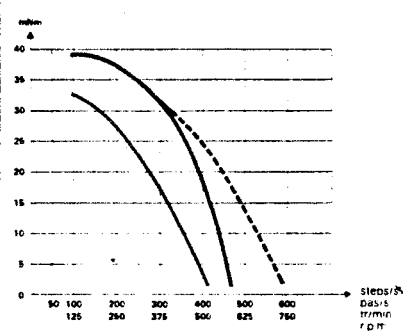
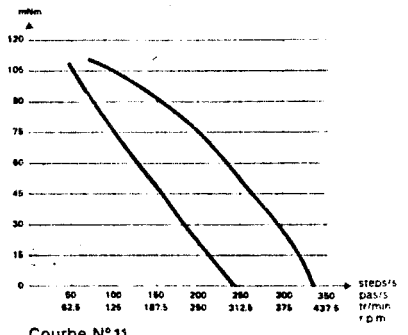
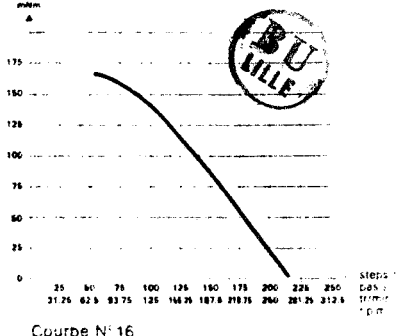
Comme précédemment on constate qu'à partir de la valeur de $t = 0,75$ s pour parcourir toute la longueur du bac, on entre dans la zone d'utilisation du moteur Crouzet 82.940.0.

Les deux moteurs retenus sont donc:

- Moteur Crouzet 82.930.0 pour le bras de positionnement
- Moteur Crouzet 82.940.0 pour le mouvement du chariot.

Référence produit	Encombrement		Symbole	Unité
82 910 0 		Inertie du rotor Couple de détente T.maxi bobinage T.ambiante (1) T.stockage Puissance absorbable limite Résistance d'isolement (2) Tension d'isol. (50 Hz) (2) Masse du moteur	J _R M _s T _{am} T _s Pa M	g.cm ² mN.m °C °C °C W MΩ V g
82 920 0 		Inertie du rotor Couple de détente T.maxi bobinage T.ambiante (1) T.stockage Puissance absorbable limite Résistance d'isolement (2) Tension d'isol. (50 Hz) (2) Masse du moteur	J _R M _s T _{am} T _s Pa M	g.cm ² mN.m °C °C °C W MΩ V g
82 930 0  P _x 259. HT		Inertie du rotor Couple de détente T.maxi bobinage T.ambiante (1) T.stockage Puissance absorbable limite Résistance d'isolement (2) Tension d'isol. (50 Hz) (2) Masse du moteur	J _R M _s T _{am} T _s Pa M	g.cm ² mN.m °C °C °C W MΩ V g
82 940 0 		Inertie du rotor Couple de détente T.maxi bobinage T.ambiante (1) T.stockage Puissance absorbable limite Résistance d'isolement (2) Tension d'isol. (50 Hz) (2) Masse du moteur	J _R M _s T _{am} T _s Pa M	g.cm ² mN.m °C °C °C W MΩ V g

Moteurs pas à pas à aimant permanent

Sur	Référence commande électronique	Résistance par phase Ω R Rs (voir schémas)		Inductance par phase L : mH	Intensité par phase I : A	Puissance absorbée moteur seul W	Couple maintien M_H : mN.m	avec commande électronique
								pas entiers
9 1 0 + 70 + 120	Cde à tension constante 84851 0 12 V	9	15	25	0,39	2,75	22	 Courbe N°1
5.10 ³ 500 0	Cde à tension constante 84854 0 24 V	9	44	25	0,41	3	23	
	Cde à courant constant 84858 0 42 V	13,7	0	34	0,30	-	21	
1,8 2 20 + 70 + 120	Cde à tension constante 84851 2 12 V	10,7	13,6	61	0,39	3,25	57	 Courbe N°6
5 5.10 ³ 500 10	Cde à tension constante 84854 2 24 V	10,7	40	61	0,42	3,8	60	
	Cde à courant constant 84858 2 42 V	10,7	0	59	0,54	-	70	
4 2 20 + 70 + 120	Cde à tension constante 84851 4 12 V	22,3	0	164	0,42	7,8	165	 Courbe N°11
0 5.10 ³ 500 40	Cde à tension constante 84854 4 24 V <i>P₀ = 353 mW</i>	22,3	33	164	0,39	6,7	158	
	Cde à courant constant 84858 4 42 V	8,7	0	56	0,53	-	150	
80 6 20 + 70 + 120	Cde à tension constante 84854 6 24 V	26,7	24	275	0,42	9,2	275	 Courbe N°16
2,5 5.10 ³ 600 40	Cde à courant constant 84858 6 42 V	8,4	0	80	1	-	-	

2 phases 7,5° (48 pas/tour)

Courbes limites en arrêt-démarrage

Courbes limites d'entraînement

à tension constante

avec commande électronique à courant constant

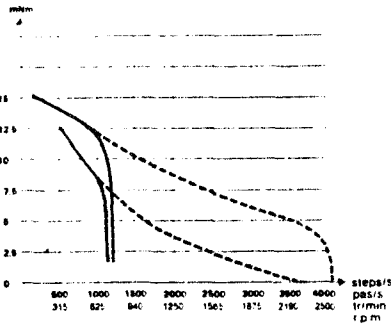
1/2 pas

pas entiers

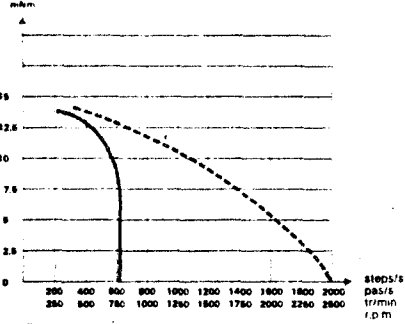
1/2 pas

Commande 84 8510 - 12V
Commande 84 8540 - 24V

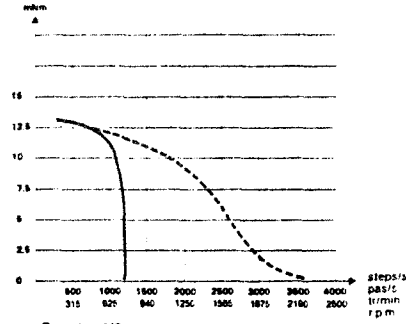
Commande 84 8580 - 42V



Courbe N°2



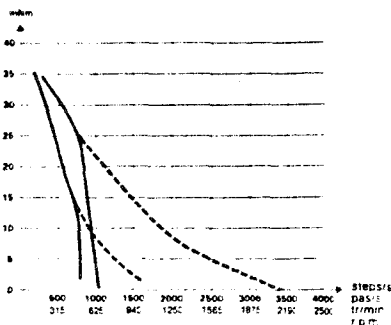
Courbe N°3



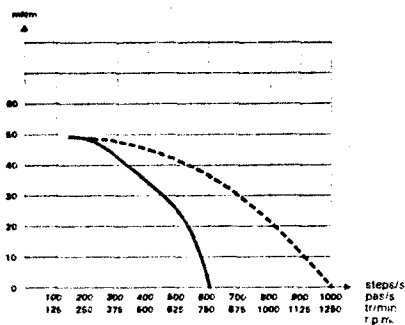
Courbe N°4

Commande 84 8512 - 12V
Commande 84 8542 - 24V

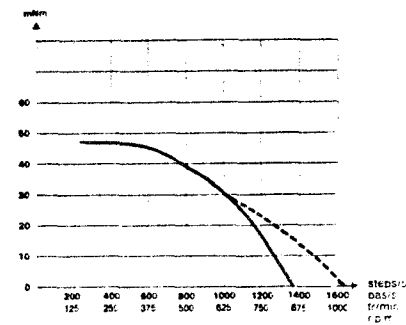
Commande 84 8582 - 42V



Courbe N°7



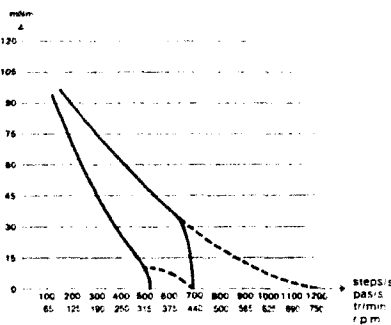
Courbe N°8



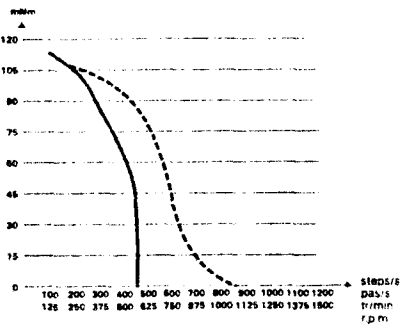
Courbe N°9

Commande 84 8514 - 12V
Commande 84 8544 - 24V

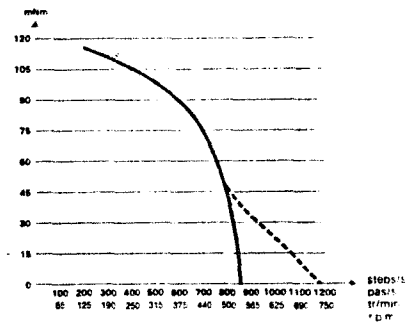
Commande 84 8584 - 42V



Courbe N°12



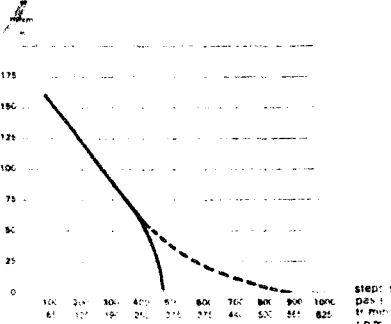
Courbe N°13



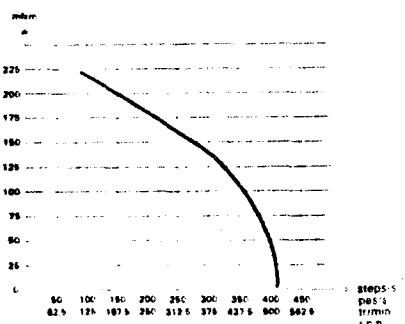
Courbe N°14

Commande 84 8546 - 24V

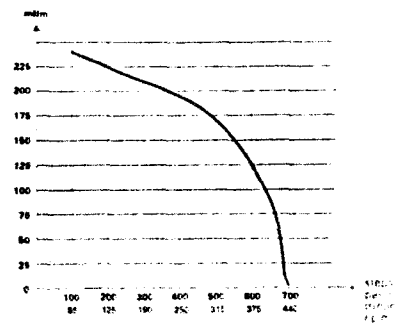
Commande 84 8586 - 42V



Courbe N°17



Courbe N°18



Courbe N°19

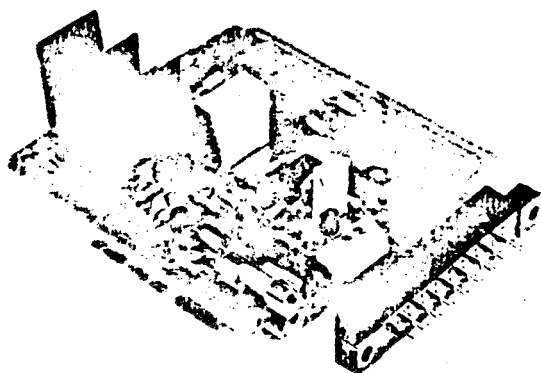
Conditions de mesure: Tam=25°C. moteur froid si Tam > 25°C perte de couple 0.2%/°C au niveau du rotor ferrite.

Puissance utile Arrêt-démarrage ——— Entraînement - - - - - pas entiers	Inertie de la chaîne de mesure g.cm²	Schémas de branchement
tension constante 24 V ——— courant constant 42 V — - - - - Courbe N° 5	1,5	Commande à tension constante
tension constante 24 V ——— courant constant 42 V — - - - - Courbe N° 10	2,2	Commande à courant constant
tension constante 24 V ——— courant constant 42 V — - - - - Courbe N° 15	3,4	
tension constante 24 V ——— courant constant 42 V — - - - - Courbe N° 20	20,5	

Moteurs

Commandes électroniques à tension constante pour moteurs pas à pas 2 phases

Types 84 851 (12 V) et 84 854 (24 V)



Ces commandes électroniques à tension constante sont adaptées à notre gamme de moteurs pas à pas à aimant permanent 2 phases types 82 910 0, 82 920 0, 82 930 0, 82 940 0.

Les différentes entrées permettent d'agir sur la fréquence de fonctionnement du moteur, le sens de rotation, de commander l'arrêt du moteur avec ou sans maintien de l'alimentation des bobines. Elles permettent de réaliser le fonctionnement en 1/2 pas.

Toutes les entrées logiques sont compatibles TTL et C.MOS.

Présentation

Des cartes au nombre de 7 (voir tableau) sont toutes réalisées sur le même principe :

L'élément de base est un circuit intégré SAA 1042 ; il comporte une partie logique et une partie puissance et permet de commander un moteur pas à pas à partir d'un générateur d'impulsions.

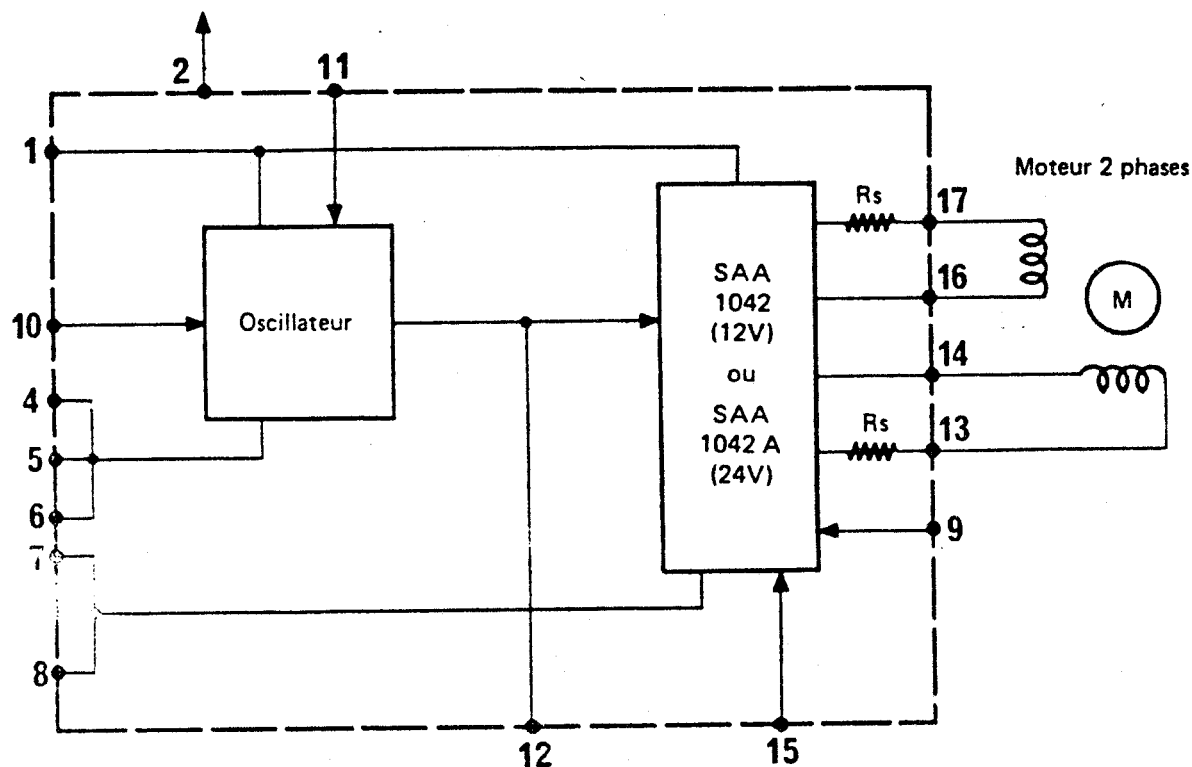
Un convertisseur tension-fréquence fait office d'oscillateur interne et rend possible la commande directe par une tension continue ou par un potentiomètre.

La possibilité de piloter le SAA 1042 par un générateur d'impulsions extérieur existe également.

Références

Référence des moteurs	Référence des commandes électroniques à tension constante	
	12 V	24 V
82 910-0	84 851-0	84 854-0
82 920-0	84 851-2	84 854-2
82 930-0	84 851-4	84 854-4
82 940-0	—	84 854-6 ✕

Schéma de principe



BU
LILLE

Caractéristiques

Tension d'alimentation	V	12 ± 5 % - 24 ± 5 %
Intensité maxi. par phase	A	0,5
Température ambiante d'utilisation	°C	0 à + 70
Température de stockage	°C	- 20 à + 85

Branchements

entrée(+): broche **1**
 masse : à relier aux broches
7(ou 8) et 4(ou 5 ou 6)

Commande des pas par un oscillateur externe.

Niveau «1» des impulsions	V	min. 3	entrée : broche 12
Niveau «0» des impulsions	V	max. 1	masse : broche 7
Intensité d'entrée niveau «1»	mA	max. 17	relier 11 et 1
Largeur minimum des impulsions	μs.	10	(blocage de l'oscillateur interne)

Utilisation de l'oscillateur interne commandé par une tension extérieure (a) ou un potentiomètre (b).

Fréquence max. délivrée	Hz	2000, 1700 ou 1000 suivant les cartes	entrée : broche 10
Intensité d'entrée	mA	max. 0,1	masse : broche 4
a - plage de tension d'entrée	V	0 à 10 V	relier 11 et 4
b - potentiomètre 10 tours conseillé	kΩ	4,7	potentiomètre : points extrêmes entre 1 et 4
			curseur : broche 10

Mesure de la fréquence de l'oscillateur interne.

Impédance d'entrée du fréquencemètre	kΩ	min. 7	sortie : broche 12
Tension de sortie niveau «1»	V	5	masse : broche 7

Blocage de l'oscillateur interne.

Niveau «1» : arrêt oscillateur	V	min. 4	entrée : broche 11
Niveau «0» : marche oscillateur	V	max. 2	masse : broche 4
Intensité d'entrée niveau «1»	mA	max. 0,5	

Commande du sens de rotation

Niveau «1» : sens anti-horaire	V	min. 3	entrée : broche 15
Niveau «0» : sens horaire	V	max. 1	masse : broche 7
Intensité d'entrée niveau «1»	mA	max. 0,8	Cette entrée ne doit pas être laissée non branchée.

Commande d'arrêt du moteur (phases non alimentées).

Niveau «1» : marche	V	min. 4,5	entrée : broche 9
Niveau «0» : arrêt puissance	V	max. 2 - max. 1	masse : broche 7
Intensité d'entrée niveau «1»	mA	max. 0,5	

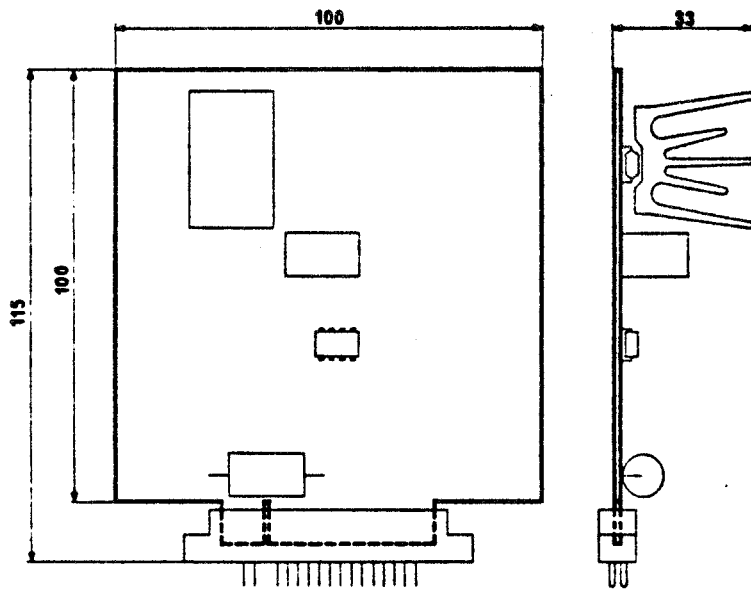
Source de tension 5 V.

Intensité maxi. délivrée	mA	14	5	sortie : broche 2
--------------------------	----	----	---	--------------------------

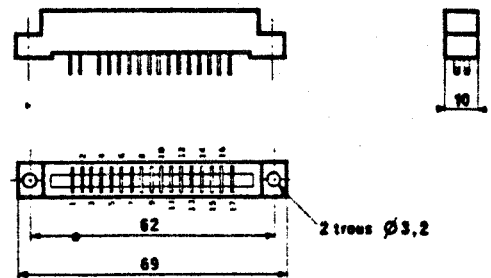
1/2 pas : réalisable en pontant le repère marqué 1/2 pas à l'envers du circuit imprimé.

Nota : en ce qui concerne les entrées logiques les bornes **2 et 7** peuvent faire office de niveaux «1» et «0».

Encombrements



Connecteur :



Pour passer commande,

préciser dans l'ordre :

- 1) Commande électronique pour moteur pas à pas à tension constante.
- 2) La référence de la commande.
- 3) La tension d'alimentation de la carte.
- 4) Le nombre de phases.

Exemple : Commande électronique pour moteur pas à pas à tension constante 84 851-0, 12 V, 2 phases.

France

Valence
Crouzet SA - Division Composants d'Automatismes
25, rue Jules Védrières
F 26027 Valence cedex
Tél. : (75) 42.91.44 - Télex : 345758 F
Paris : Tél. : (1) 805.39.50 - Télex : 220841 F
Toulouse : Tél. : (61) 62.16.03 - Télex : 530825 F
Rouen : Tél. : (35) 71.32.93 / 71.45.47
Villeurbanne : Tél. : (7) 864.38.80 - Télex : 340666 F
Lille : Tél. : (20) 52.28.42 - Télex : 130475 F
Schiltigheim : Tél. : (68) 33.19.65 - Télex : 880475 F
Nantes : Tél. : (40) 47.17.41 - Télex : 710442 F

Belgique

Bruxelles
Ets Crouzet SA - Place de Houffalize 22-24 - Boite 2
B-1030 Bruxelles - Tél. : (02) 241.41.23
Télex : 23915 B

Deutschland

Düsseldorf
Crouzet GmbH - Postfach 22 01 20
D-4000 Düsseldorf 12
Niermannsweg 3-5 - D-4006 Erkrath Unterfeldhaus
Tél. : 02 11 25 02 1 - Télex : 8581835 D
Berlin : Tél. : 0 30 7 03 43 66
München : Tél. : 0 89 3 19 10 21
Göppingen : Tél. : 0 71 61 / 36 95 - Télex : 727870 D

España

Barcelona
C. Crouzet S.A. - Calle Córreaga 596 / 598 - E-Barcelona 25
Tél. : (93) 256.92.09 - 256.91.02 - Télex : 53091 E
Madrid : Tél. : 011.448.12.19 / 445.32.65 - Télex : 43493 E
Bilbao : Tél. : 034.443.61.94 / 443.61.32 - Télex : 31435 E
Valencia : Tél. : 033.15.04 - Télex : 64533 E

Italia

Milano
Crouzet SpA - Via Valcava 6 - I-20155 Milano
Tél. : (02) 32.28.45 / 32.41.41 - Télex : 331185 I
Torino : Tél. : (011) 38.34.31
Padova : Tél. : (049) 65.06.55
Bologna : Tél. : (051) 55.74.75

Mexico

Mexico
Crouzet Mexicana SA - 19 sur N° 3540
Puebla, Pue - 72410 Mexico
Tél. : (22) 40 74 09 / 40 75 13 - Télex : 0178128

Nederland

Zoeterwoude
Crouzet BV - Industrieweg 17
NL-2382 NR Zoeterwoude
Tél. : (071) 41.11.21 - Télex : 39086 NL

Suisse

Zürich
Crouzet AG - Case postale 1832
Buckhauserstrasse 24 - CH 8048 Zürich
Tél. : (01) 52.41.20 - Télex : 822571 cruz ch

Sverige

Hägersten
Crouzet AB - P.O. Box 6044
S-141 86 Hägersten
Tél. : 08-730 12 30 - Télex : 12850 S

United Kingdom

Farnborough
Crouzet Ltd - 108 Hawley Lane
GB-Farnborough-Hants - GU14 8HY
Tél. : (0252) 513211 - Télex : 858612 G
Manchester : Tél. : (061) 224 0414 - Télex : 669330 G

U.S.A.

Schaumburg
Crouzet Controls Inc. - 1029 State Parkway
Schaumburg - IL 60195
Tél. : (312) 843.2200 - Télex : 206297 SHBU

Distribué par - Distributed by - Überreicht durch

BU
LILLE