

ANTHROPOLOGIE APPLIQUEE

45, rue des Saints-Pères Paris 6^e

ETUDE ERGONOMIQUE
DE L'ARME INDIVIDUELLE

Synthese des recherches

1969-1974

Marché D.T.A.T. 212/149/21

| | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------|----------------|--------------------|
| ORGANISME EMETTEUR : Laboratoire d'Anthropologie Appliquée 45, Rue des Saints-Pères 75006 - PARIS. | NUMERO DE CONTRAT | SERVICE DE L'ETAT CHARGE DE L'EXECUTION | | |
| | DTAT 212/149/21 | DTAT | | |
| TITRE : Etude ergonomique de l'arme individuelle | | | | |
| AUTEURS : COBLENTZ A., HENNION P., IGNAZI G. | | | | |
| DATE | NUMERO ORIGINE DOCUMENT | PAGES | FIGURES | REF.BIBLIO. |
| | AA 76/75 | 25 | 10 | - |
| RESUME : Synthèse sur les méthodes et techniques mises en oeuvre pour l'étude ergonomique du couple homme-arme. | | | | |
| INDEXAGE : | | | | |

- S O M M A I R E -

| | <u>Pages</u> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1 - <u>INTRODUCTION</u> - | 1 |
| 2 - <u>CHOIX DES GRANDEURS</u> - | 3 |
| 2.1 - La cause du phénomène : utilisation du signal croisé . | 3 |
| 2.2 - Les effets sur le tireur : déséquilibre, efforts au sol, accélération des points anatomiques | 4 |
| 2.3 - Les éléments descriptifs | 4 |
| 2.4 - Les éléments complémentaires | 4 |
| 3 - <u>PRINCIPALES MESURES EFFECTUEES - RESULTATS ESSENTIELS</u> - | 5 |
| 3.1 - Expérimentation sur les grandeurs fondamentales | 5 |
| 3.1.1 - Généralités | 5 |
| 3.1.2 - Méthodes et techniques mises en oeuvre | 5 |
| 3.2 - Observations et conclusions | 11 |
| 4 - <u>UN OUTIL POSSIBLE D'ANALYSE : OBTENTION D'UN MODELE PAR LA METHODE D'IDENTIFICATION</u> - | 16 |
| 4.1 - Principe, possibilités et limites | 16 |
| 4.2 - Identification d'un affût mécanique | 17 |
| 4.2.1 - Principe | 17 |
| 4.2.2 - Réalisation | 18 |
| 4.3 - La recherche du modèle du tireur | 20 |
| 5 - <u>CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES</u> - | 24 |

1 - INTRODUCTION -

L'étude du comportement dans le tir de l'homme et son arme dans le but de l'amélioration de la probabilité d'atteinte apparaît très difficile. Ce comportement est en effet très complexe ; non seulement l'arme n'est pas un mécanisme simple mais l'affût humain lui-même est difficile à décrire de façon précise. La position de l'homme, ses caractéristiques anatomiques, ses habitudes, le couplage géométrique et dynamique avec son outil constituant autant d'éléments enchevêtrés dont il faudrait déceler et éventuellement mesurer le rôle et l'influence. On peut envisager de dresser une liste de paramètres dont l'importance est intuitivement évidente, mais nul n'est en mesure de certifier qu'elle serait complète. Dans ce cas la tentation apparaît d'étudier la sensibilité de tel ou tel facteur pris isolément ou d'apporter telle ou telle modification au système. Comme on ignore a priori le degré de couplage entre ces facteurs, cette démarche est vouée à l'échec, ce qui explique que les tentatives engagées dans ce sens, dans le passé, n'aient pas apporté de solutions satisfaisantes.

Il importe donc d'aborder l'étude de façon globale, en utilisant un système d'assemblage de données permettant le jeu simultané de tous les facteurs d'influence. La probabilité d'atteinte dépend pour une grande part du dépointage de l'arme, c'est donc les évolutions de celle-ci qu'il faut analyser, ce qui conduit à l'étude de *l'évolution posturale du tireur*. Le problème est alors posé en termes de mouvement et l'orientation à donner à la recherche consiste à établir un faisceau de relations entre les efforts mis en jeu et les déformations du système qui en résultent.

A ce stade il serait tentant de s'élancer vers une description mécanique de l'ensemble homme-arme. Ce serait évidemment négliger tout l'aspect biologique du problème : cependant la mécanique fournit le cadre et l'expression finale des résultats (dépointage), elle définit les paramètres de base, les facteurs biologiques étant introduits comme les éléments modulateurs et correcteurs indispensables. Le système est alors représenté simplement par la figure n°1. Cette façon d'ordonner les choses va guider dans le choix des grandeurs à analyser et dans la façon de les relier pour parvenir à l'objectif souhaité. Cet assemblage restera suffisamment souple pour recevoir progressivement les informations nouvelles et évoluer vers une représentation plus riche et plus fine jusqu'à donner un modèle utilisable du couple homme-arme.

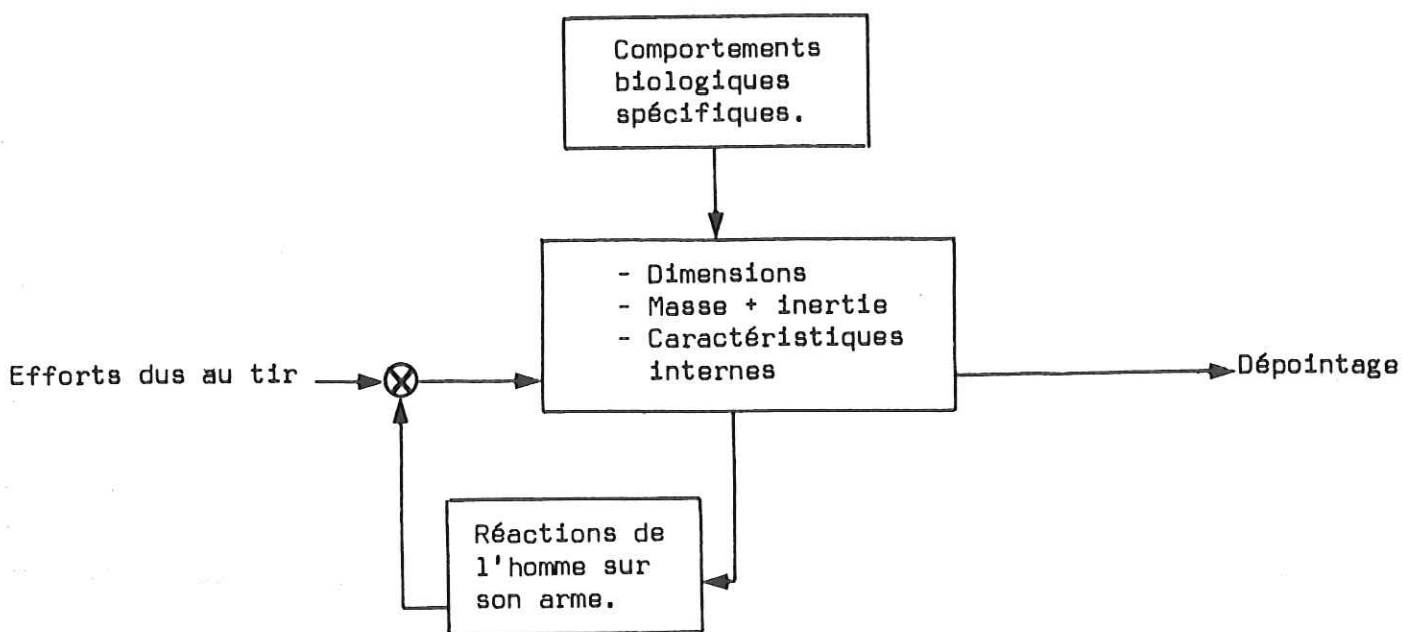


Figure n°1

2 - CHOIX DES GRANDEURS -

La probabilité d'atteinte dépendant pour l'essentiel du dépointage de l'arme, c'est donc les évolutions de celle-ci qu'il faut analyser. Les déplacements proprement-dits sont des grandeurs peu faciles à manipuler tant sur le plan expérimental que numérique. Aussi avons-nous choisi de poser le problème en termes d'efforts et d'accélération ce qui permet d'arriver aux grandeurs finales par intégration. L'homme étant considéré comme le système à examiner il importe de mesurer ses relations dynamiques avec l'extérieur qui sont les efforts exercés par l'arme pendant le tir et la liaison au sol. En outre, la prise d'accélération de points anatomiques constitue des informations intermédiaires permettant éventuellement un fractionnement du système en divers éléments.

2.1 - La cause du phénomène : utilisation du signal crosse -

La cause du phénomène est bien entendu intérieure à l'arme puisque celle-ci constitue la source principale d'énergie. Il est complexe à prendre en compte au niveau de la dynamique interne de l'arme. Aussi avons-nous choisi comme entrée l'accélération de crosse en un point assez voisin de l'épaule. Bien que cette mesure soit déjà un résultat du phénomène, ce choix se justifie car nous avons constaté *une très grande reproductibilité du signal crosse*, quelque soit le tireur et le maintien de l'arme. L'explication consiste dans le fait que le tireur offre une "impédance" très faible et que les variations de celle-ci ne se font pas sentir. En particulier les efforts de réaction exercés par les mains ou les mouvements de l'épaule contribuent au déplacement de l'arme et à son dépointage mais n'influent pas sur le développement des efforts longitudinaux associés au lancement du projectile.

2.2 - Les effets sur le tireur : déséquilibre, efforts au sol, accélération des points anatomiques -

L'introduction de ces grandeurs est naturelle car elles caractérisent l'évolution posturale du tireur et son type de réaction au tir. Les efforts au sol représentent fidèlement la réaction du tireur au niveau de ces seuls points d'appuis. Les accélérations des points anatomiques peuvent être immédiatement traduits en termes de dépointage.

2.3 - Les éléments descriptifs -

Les relations entre les efforts de tir et les déformations du système homme-arme font intervenir les dimensions qui seront précisées par une étude anthropométrique. Les masses, les moments d'inertie et la position du centre d'inertie seront également déterminés par l'expérience.

2.4 - Les éléments complémentaires -

Ils seront apportés par des études spécifiques telle celle de l'activité musculaire et les études systématiques de réponse aux vibrations.

3 - PRINCIPALES MESURES EFFECTUEES - RESULTATS ESSENTIELS -

3.1 - Expérimentations sur les grandeurs fondamentales -

3.1.1 - Généralités :

Nous décrirons ici très brièvement les principales méthodes qui furent mises en oeuvre et les principaux résultats et perspectives qui s'en dégagent.

Pour ne pas encombrer ce chapitre nous renverrons chaque fois qu'il sera nécessaire aux principaux documents qui ont été élaborés au cours des différentes phases de la recherche.

3.1.2 - Méthodes et techniques mises en oeuvre :

3.1.2.1 - *Mesure des grandeurs dynamiques du système homme-arme.*

- *Mesure des accélérations (1) :*

Les accélérations ont été mesurées à l'aide d'une batterie d'accéléromètres implantés au niveau de la crosse de l'arme, ainsi qu'en divers points anatomiques du tireur.

Ces implantations correspondent généralement à des zones de transition entre les divers éléments segmentaires du tireur en des emplacements qui correspondent à des déformations maximales. Il s'agit des points suivants :

- crosse de l'arme,
- poignets,
- coudes,
- épaules,
- hanches,
- genoux.

(1) - Doc. AA 38/71 - 46/72 et 57/74.

D'une façon générale, la difficulté de mise en oeuvre de cette technique réside au niveau des moyens d'implantation des capteurs sur le sujet.

Nous avons conçu dans ce but des systèmes de coquilles rigides, moulées sur le tireur au niveau des éléments anatomiques intéressants. Les mesures sont réalisées au cours de séances de tir en coup par coup ou en rafales, en enregistrant simultanément toutes les informations fournies par les accéléromètres. On peut comparer alors, au cours d'une même séquence de tir, les différentes atténuations et déphasages observés entre les différents points anatomiques au fur et à mesure de l'éloignement de la source.

- Mesure des réactions des points d'ancrage au sol (1) :

La mesure des efforts au sol permet d'évaluer l'importance de la réaction du tireur au niveau de ces seuls points d'appui que sont les pieds en tir debout.

Pour parvenir à définir avec la plus grande précision des indications sur les efforts de recul, les appuis verticaux et les mouvements de basculement antéro-postérieurs, nous avons mis au point un montage particulier. Il s'agit de deux balances à quartz (une pour chaque pied), comprenant six composantes entièrement indépendantes.

L'ensemble des mesures des réactions au sol s'effectue également simultanément aux mesures accélérométriques, au cours des différentes séquences de tir.

(1) - Doc. AA 38/71 - 46/72 et 57/74.

3.1.2.2 - Mesure des éléments descriptifs du système homme-arme.

- Informations anthropométriques sur une population de tireurs et variabilité des attitudes de tir (1) :

L'étude anthropométrique et l'analyse de la variabilité des attitudes de tir a été menée sur un groupe de 162 sujets, soldats du contingent. Nous avons relevé une série de mensurations globales et segmentaires, permettant de définir une typologie des tireurs.

L'étude des attitudes de tir et de leur variabilité dans la population a exigé la mise en oeuvre d'une méthode anthropométrique très particulière. Dans ce but nous avons utilisé une technique photographique à l'aide de laquelle il était possible de restituer une image du tireur et des points de repères anatomiques choisis, selon trois plans de référence trirectangles. Chaque image était analysée au niveau de chacun des points anatomiques définis préalablement à l'aide d'un système "Téléreadex".

L'étape finale consiste à utiliser les coordonnées tridimensionnelles de chacun des points afin de calculer la situation dans l'espace de référence, des éléments segmentaires intervenant dans la description de l'attitude de tir.

- Organisation des éléments de préhension de l'arme à l'aide d'un figuratif expérimental.

Le bon maintien d'une arme au cours du tir et l'acquisition rapide d'une bonne direction de visée au cours de la mise en joue, dépendent de nombreux facteurs. D'une part, la variabilité morphologique des utilisateurs de l'arme et d'autre part la façon dont les différents éléments de l'arme sont organisés et disposés.

(1) - Doc. AA 29/70.

Un bon maintien de l'arme, une mise en joue rapide, dépendront donc d'un compromis trouvé entre l'organisation des éléments, la masse de l'arme et les caractéristiques propres au sujet. Nous avons à cet égard mis en oeuvre une expérimentation dans laquelle un groupe de sujets doivent organiser et disposer eux-mêmes leur arme, afin d'améliorer une performance de tir instinctif.

Le matériel expérimental comprend un mécanisme d'arme petit calibre autour duquel l'ensemble des éléments : crosse, appui-joue, détente, poignée, ligne de visée, etc... sont réglables. La performance est contrôlée à l'aide de système de cibles mobiles.

- Mesure des caractéristiques inertielles du couple homme-arme (1) :

La description physique du complexe "homme-arme" comprend non seulement les aspects dimensionnels et géométriques qui viennent d'être évoqués, mais également des caractéristiques intrinsèques, importantes pour l'étude de phénomènes dynamiques. Il s'agit de la mesure des moments d'inertie selon trois axes principaux et de la position du centre de gravité du tireur et de son arme.

Contrairement aux études anthropométriques, de telles déterminations exigent une mise en oeuvre expérimentale beaucoup plus complexe. Nous avons étudié, à l'aide d'un pendule d'oscillation, un groupe de 10 tireurs soigneusement sélectionnés quant à leurs caractéristiques morphologiques.

Cette technique nous a permis de mesurer la valeur des moments d'inertie du tireur par rapport aux trois axes principaux G , x , y , Z , ainsi que la position du centre de gravité.

(1) - Doc. AA 38/71.

3.1.2.3 - Mesure des éléments biomécaniques et biologiques.

- Les réponses musculaires aux chocs et vibrations créés par la situation de tir (Electromyographie) (1) :

Le fonctionnement musculaire se révèle beaucoup plus complexe que celui d'un système mécanique constitué de ressorts et d'articulations. Même si les muscles mis en tension sont capables de présenter une certaine analogie avec des ressorts, ils sont également capables d'engendrer des réponses propres, mises en jeu par l'intermédiaire de nombreux circuits réflexes. Les effets résultant ne peuvent alors plus se comparer à de simples systèmes ressorts-articulations.

Pour apporter des données fondamentales sur ce fonctionnement particulier lié aux activités musculaires, nous avons entrepris une étude électromyographique. Cette technique consiste à amplifier et enregistrer les potentiels musculaires dont les fréquences et amplitudes sont en relation avec l'intensité de l'activité du muscle.

Nous avons alors entrepris l'analyse de l'ensemble des muscles principaux entrant en jeu au cours du tir, sur trois sujets sélectionnés en fonction de leurs caractéristiques morphologiques.

Nous avons distingué trois ensemble de groupes musculaires qui répondent sensiblement à trois fonctions complémentaires au cours du tir :

- muscles des membres supérieurs et de la partie supérieure du tronc, directement concernées par les stimulations et le maintien de l'arme,

(1) - Doc. AA 57/74.

- muscles intermédiaires du tronc, dorsaux et abdominaux servant à rattraper et contrôler les mouvements de flexion - rotation provoqués par le tir,
- muscles des membres inférieurs, intervenant directement dans le maintien de la posture debout.

D'une façon générale chaque manipulation s'est effectuée simultanément sur des groupes antagonistes fléchisseurs-extenseurs par exemple. Ainsi la synchronisation des mouvements des agonistes-antagonistes apparaît sur des courbes enregistrées simultanément.

- Etude des effets de vibrations sur le tireur (1) :

Les recherches sur les effets vibratoires posent de nombreux problèmes expérimentaux. Il y a de nombreuses façons de transmettre les vibrations au corps humain et le tir en est une très spécifique en ce sens que l'homme tenant l'arme, la source d'énergie devient pratiquement intérieure au système, mais son temps d'action est assez faible et chaque séquence vibratoire comporte peu d'oscillations. Ainsi à la fréquence fondamentale de 10 Hz (cadence du tir) il y a trois oscillations pour une rafale de trois coups.

Pour obtenir une étude des effets vibratoires proprement-dits il est nécessaire de travailler sur des séquences bien plus longues : cela exige l'usage de sources vibratoires externe au sujet.

De là se dégage l'idée de deux types d'expérimentations :

- Dans le premier cas la source de vibration sera externe au tireur et se révélera souple et puissante, adaptable pour de longues séquences d'essai , cependant le cou-

(1) - Doc. AA 75/75.

plage du tireur avec la source d'énergie sera assez différent de la situation de tir. Cet abord du problème peut être réalisé avec les consoles vibrantes.

- Dans le second cas, la source de vibrations sera portative, le couplage homme-vibration sera assez fidèle, mais la puissance emportée étant limitée, les possibilités d'essai seront réduites.

Nous avons jusqu'à présent mis au point des techniques de mesure des réponses vibratoires de différents points anatomiques du tireur en travaillant essentiellement sur une console vibrante. Nous avons mesuré les réponses aux vibrations de différents éléments du corps :

- l'épaule droite,
- le coude droit,
- le poignet droit,
- la tête.

Ceci dans plusieurs situations expérimentales : tir debout ou tir couché.

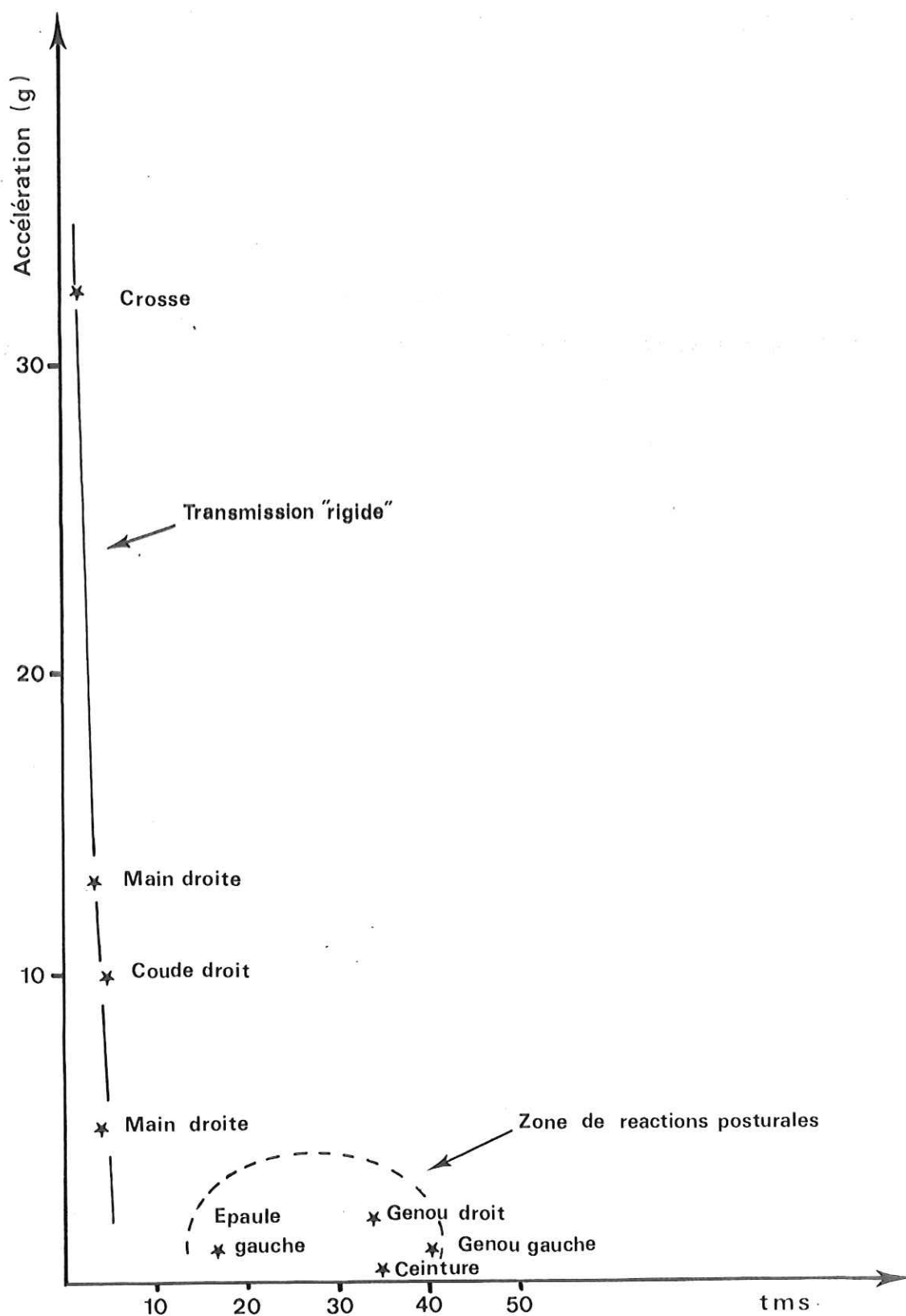
3.2 - Observations et conclusions -

A partir de nombreuses observations recueillies au cours des différentes phases de la recherche, on peut résumer très brièvement les principales conclusions qui ont pu se dégager.

En ce qui concerne les mesures des grandeurs dynamiques, il importe de souligner le caractère de reproductibilité des phénomènes enregistrés. Pour un tireur donné, les réactions de transmission des accélérations présentent une allure caractéristique peu variable.

De la crosse à la main droite, on observe une transmission avec atténuation et déphasage croissant

Fig.2 - REPARTITION DES FACTEURS DE TRANSMISSION (fusil G₃)



(transmission du type solide - Figure n°2). L'épaule gauche et la partie inférieure du corps donnent une réponse plus floue essentiellement due à des réactions posturales.

Les effets ultérieurs (et particulièrement les réactions posturales) sont plus complexes et davantage affectées par le sujet lui-même et sa prise de position. Il est intéressant de noter, au niveau de ces réactions posturales, la stabilisation qui se produit au cours d'une rafale, une fois passé l'effet de surprise des 3 ou 4 premiers coups de feu.

Les enregistrements de l'activité musculaire ont confirmé l'importance des réactions posturales mises en évidence par les mesures dynamiques. Les muscles examinés par l'électromyographie se trouvent sollicités, à des degrés divers, par les impulsions, chocs, vibrations, provoqués par le tir. Il s'agit selon toute vraisemblance de réactions du type "myotatique" auxquelles se surajoutent des réactions plus complexes, également involontaires, de "programmation au tir". Certains de ces muscles présentent un fonctionnement rythmique, synchrone des cadences de tir.

Ces résultats confirment les observations antérieures mettant en évidence une synchronisation de la réponse électromyographique de muscles sollicités par des vibrations de basses fréquences, comprises entre 4 et 20 Hz.

Par ailleurs, les muscles du tronc fonctionnent avec un déphasage par rapport aux impulsions du tir, contrairement aux muscles participant directement aux ancrages : d'une part les muscles des membres supérieurs et des épaules permettant le maintien de l'arme, et d'autre

part les muscles des membres inférieurs assurant la station debout.

Il apparaît encore prématuré de vérifier si les formes de réponses musculaires, liées pour un bon nombre de muscles aux cadences de tir, peuvent entraîner des perturbations dans le maintien de l'attitude de tir.

Si à chaque signal électromyographique correspondent réellement des contractions musculaires efficaces, le système d'affût que constitue le corps humain peut subir une certaine désorganisation en raison d'une mauvaise maîtrise du tonus de posture et de l'apparition de réactions musculaires involontaires.

Les études des réponses du corps humain à certaines gammes vibratoires prennent alors toute leur importance, car elles montrent d'ores et déjà qu'il existe des relations, dont il convient encore de clarifier les différents aspects, entre le contrôle musculaire dans le tir et les niveaux de fréquences des chocs ou vibrations encaissées par les tireurs.

Les études de vibrations ont mis en évidence l'existence de deux zones de transmission. Dans la zone des fréquences basses la transmission est fortement non linéaire et traduit une importante désorganisation des éléments anatomiques. Dans la zone des fréquences élevées, la transmission est linéaire et régulièrement atténuée en fonction de la fréquence. Ceci est parfaitement bien caractérisé sur les enregistrements effectués sur l'épaule droite d'un tireur (Figure n°3).

Or, il apparaît que la zone perturbée se situe entre 10 et 20 Hz. ce qui correspond aux cadences habituelles du tir en rafale. Il y a donc ici une constatation fondamentale qui peut avoir une influence directe sur la conception des armes légères.

EPAULE DROITE AVEC FUSIL
ENTREE COUDE 1 g

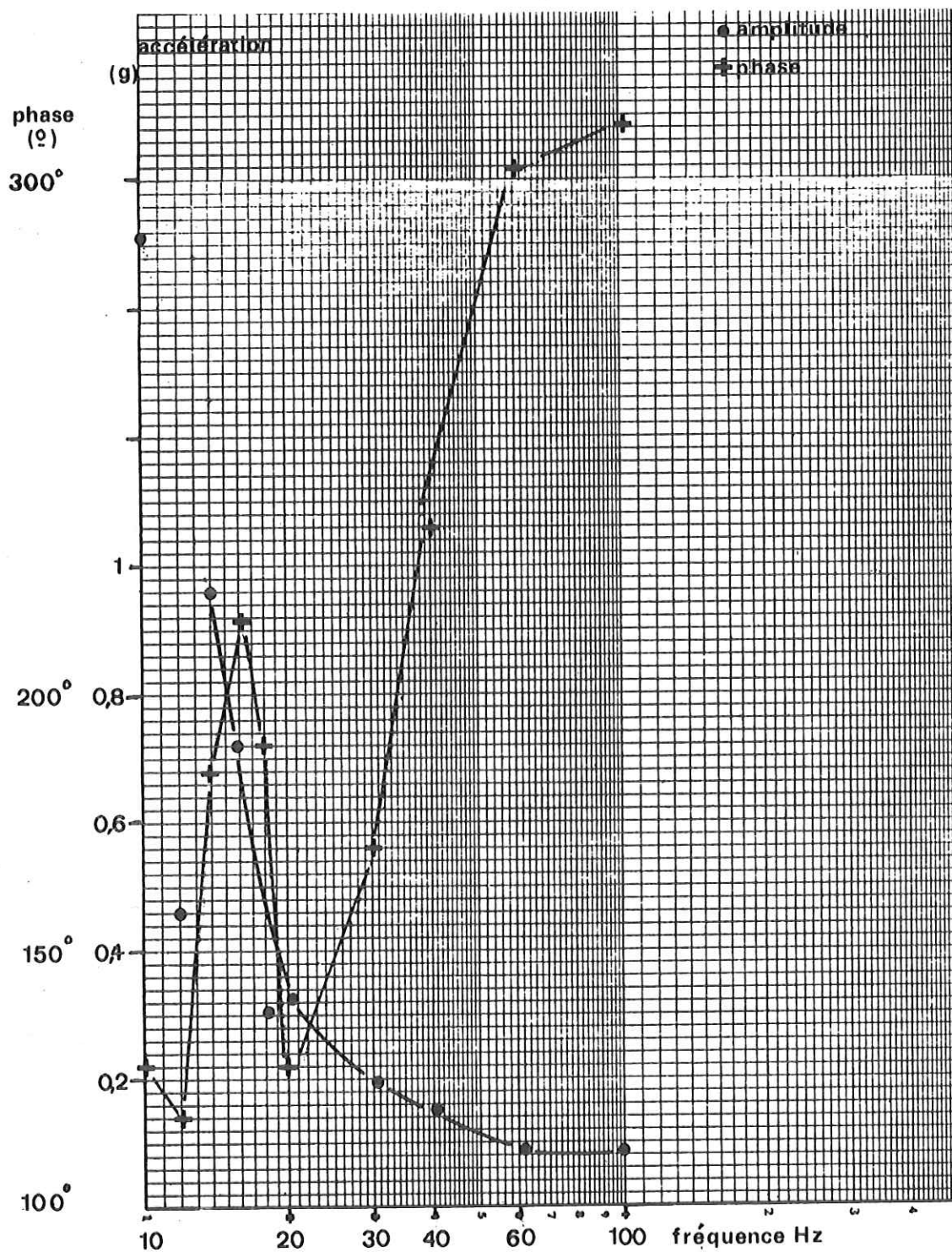


Fig.3

4 - UN OUTIL POSSIBLE D'ANALYSE : OBTENTION D'UN MODELE PAR LA METHODE D'IDENTIFICATION -

4.1 - Principe, possibilités et limites -

Il s'agit d'obtenir les relations cherchées entre les diverses grandeurs en se libérant du souci d'une schématisation du réel. Le critère de qualité étant le recouvrement des grandeurs de sorties fournies par le modèle et celles effectivement mesurées, les unes et les autres correspondant naturellement aux mêmes grandeurs d'entrée. Une itération du processus permet d'atteindre la précision convenable et de déclarer le modèle valide. Cette démarche est résumée par la figure n°4.

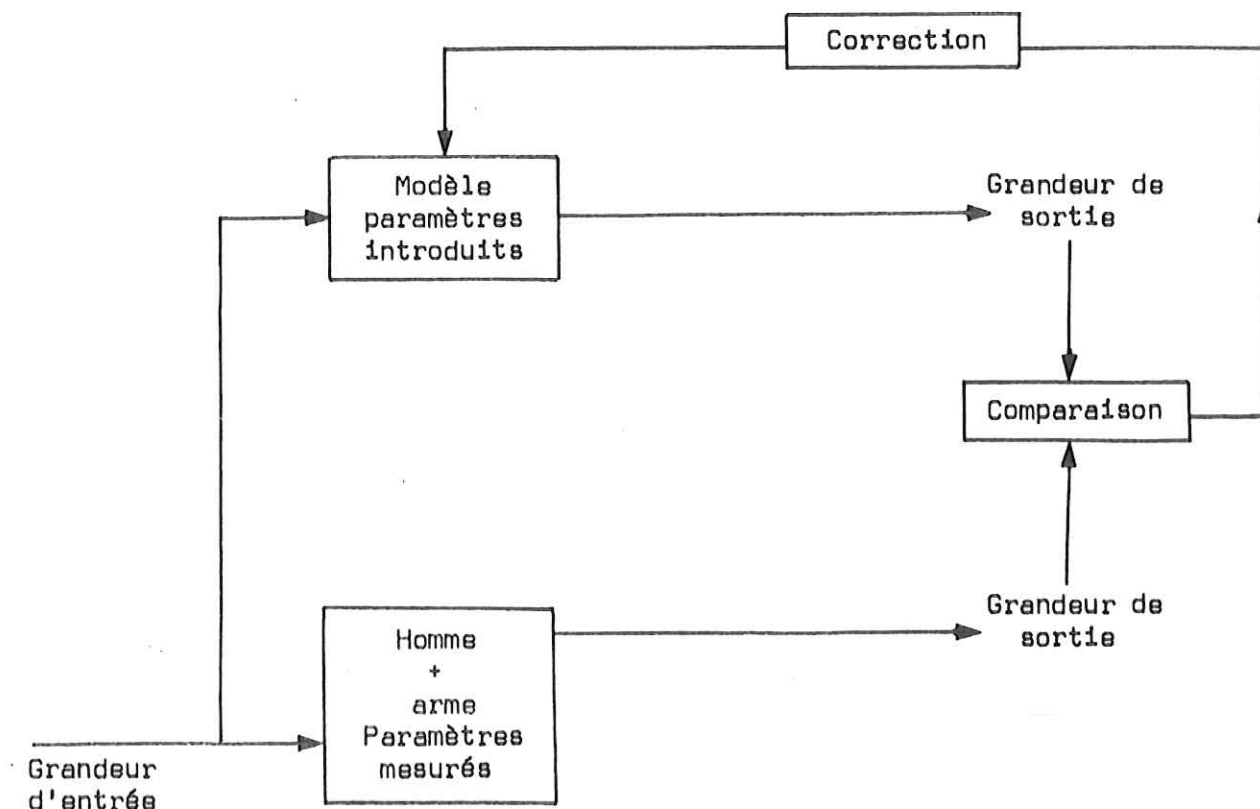


Figure n°4

Elle est obtenue par traitement numérique susceptible d'une très grande souplesse. Il est important de considérer qu'une telle méthode donne une description limitée à la nature des grandeurs et des relations qui y sont introduites. En particulier le choix de ces grandeurs, la perspective de leur assemblage ne peut procéder que d'une vision d'ensemble du problème acquise par ailleurs ; elle doit donc être nourrie et enrichie par une investigation expérimentale permanente.

4.2 - Identification d'un affût mécanique -

4.2.1 - Principe :

Avant d'entamer le traitement sur machine des données expérimentales et de procéder à la simulation du tireur, il a paru nécessaire d'effectuer cette opération sur un système plus simple, afin de tester la validité de la méthode et de préciser la dynamique de l'arme. Ce système est un affût mécanique possédant un nombre restreint de degrés de libertés. Pour un tel système il est facile de mesurer directement la plus grande partie des paramètres géométriques et dynamiques et donc d'écrire a priori un modèle de représentation assez correct. D'autre part le processus d'identification déjà évoqué permet aussi de donner un modèle ; la comparaison des modèles permet de juger de la qualité du travail. Cette démarche est résumée dans la figure n°5.

En outre, si le modèle obtenu est valide, la seule inconnue du problème est la véritable grandeur d'entrée : la loi des efforts exercés par l'arme. Le traitement des données permet alors de reconstituer la signature de l'arme indépendamment de son contexte.

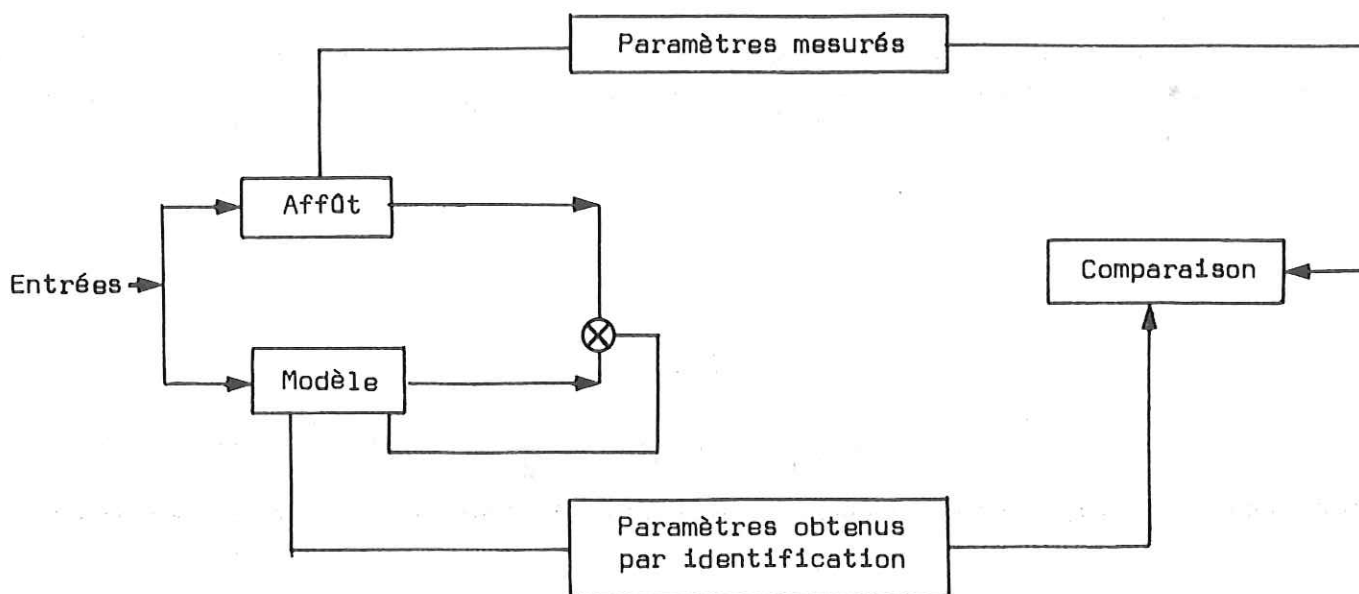


Figure n°5

4.2.2 - Réalisation :

Un affût à trois degrés de liberté a été réalisé :

- une translation figurant le recul,
- une rotation figurant le relèvement,
- une rotation autour d'un axe vertical.

Chaque degré de liberté est doté d'un système d'amortissement et d'un rappel élastique. Au cours du tir, des capteurs de déplacement potentiométriques et des accéléromètres enregistrent les déformations de l'affût. Les résultats de l'expérimentation ont fait l'objet d'une identification. Toutefois un certain nombre de difficultés sont apparues, inhérentes à la conception de l'affût. Ceci nous a conduit à étudier un nouveau système à un degré de liberté en translation et des mesures de couples. Ce dispositif est actuellement en cours d'expérimentation.(1)

(1) - Doc. AA 49/73 et Doc. GERBIOS : Identification du modèle de l'affût - mars 1974.

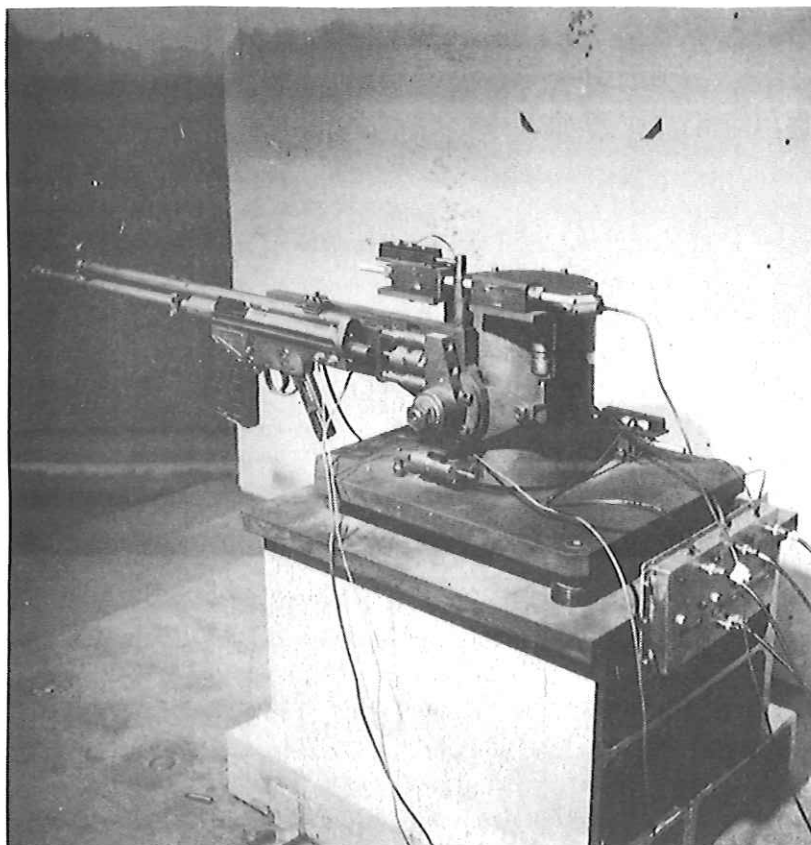


Figure n°6 : Vue générale de l'affût mécanique à trois degrés de liberté.

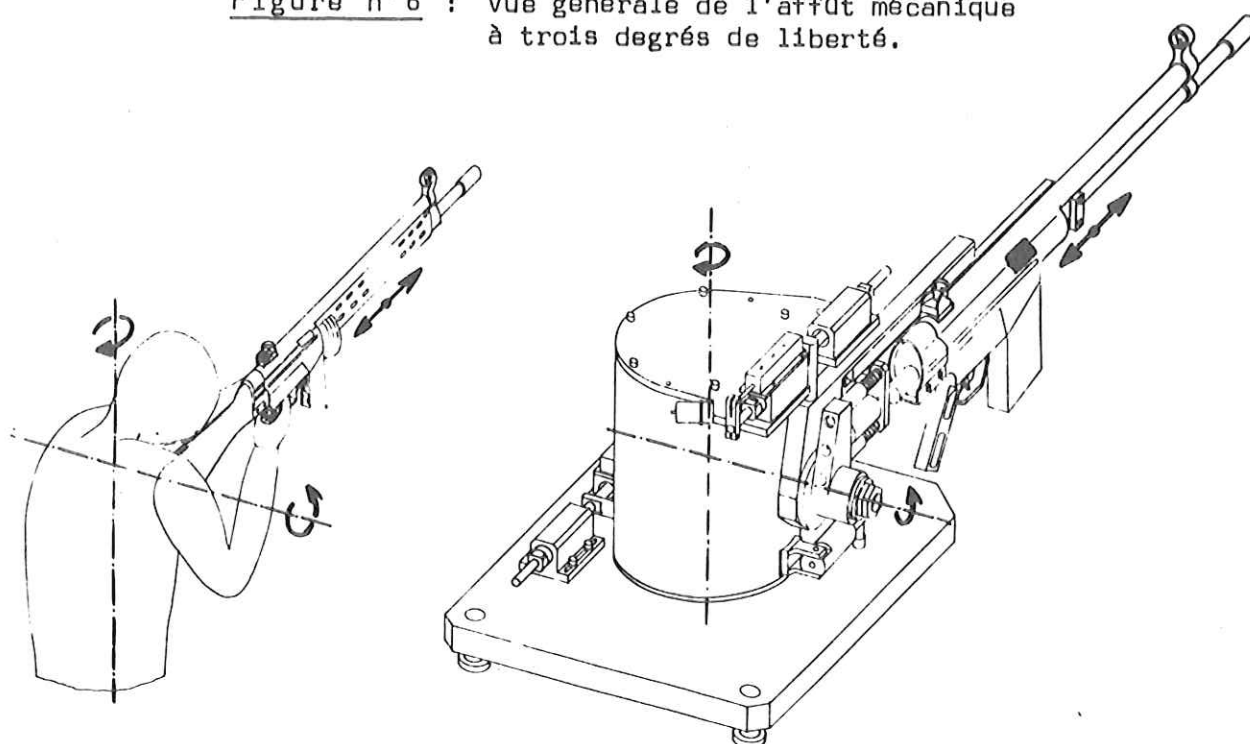


Figure n°7 : Schéma de fonctionnement de l'affût mécanique.

4.3 - La recherche du modèle du tireur -

Le point de départ est dans une schématisation du système en divers éléments inertiels liés par des articulations visco-élastiques. Diverses possibilités ont été étudiées. A titre d'exemple citons le modèle formé par la combinaison linéaire de deux schémas bidimensionnels (Figures n° 8 et 9).

Les données introduites dans le modèle sont les valeurs des éléments inertiels (masses, moments d'inertie), les dimensions (anthropométrie), les accélérations de ces éléments et les efforts au niveau de l'ancrage en 0.

Une première identification a été conduite à partir de ces schémas : elle a montré l'insuffisance du modèle et la nécessité d'introduire les déformations continues dans chaque élément. Ceci a été confirmé par l'apparition de déphasages et d'amortissements réguliers pour les points anatomiques quand on s'éloigne de l'arme (Voir chapitre 3).

Enfin, nous avons introduit au niveau de chaque élément du modèle, des relations systématiques entre l'accélération de celui-ci et les accélérations, vitesses et déplacements des éléments adjacents. Les premiers résultats obtenus par le GERBIOS sur ce modèle sont extrêmement encourageants.(1)

Le modèle est donc progressivement affiné et enrichi par les données expérimentales qui y sont directement introduites et par les données biologiques correctives qui y seront introduites.

La figure n° 10, résume le programme de simulation du tireur.

(1) - Doc. GERBIOS octobre 1974 : Modélisation du tireur et annexe technique.

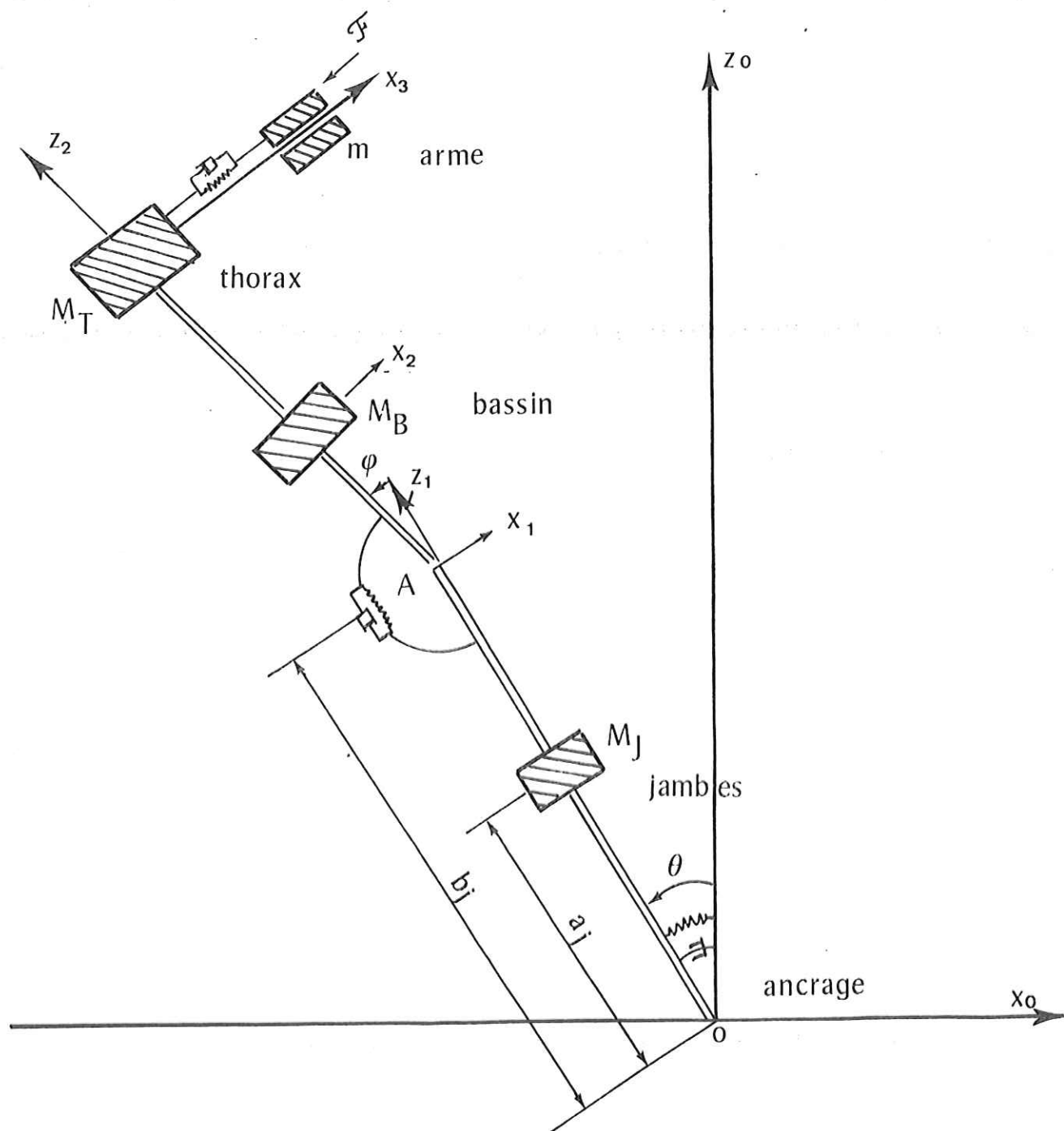


Figure n° 8 : Modèle en plan vertical.

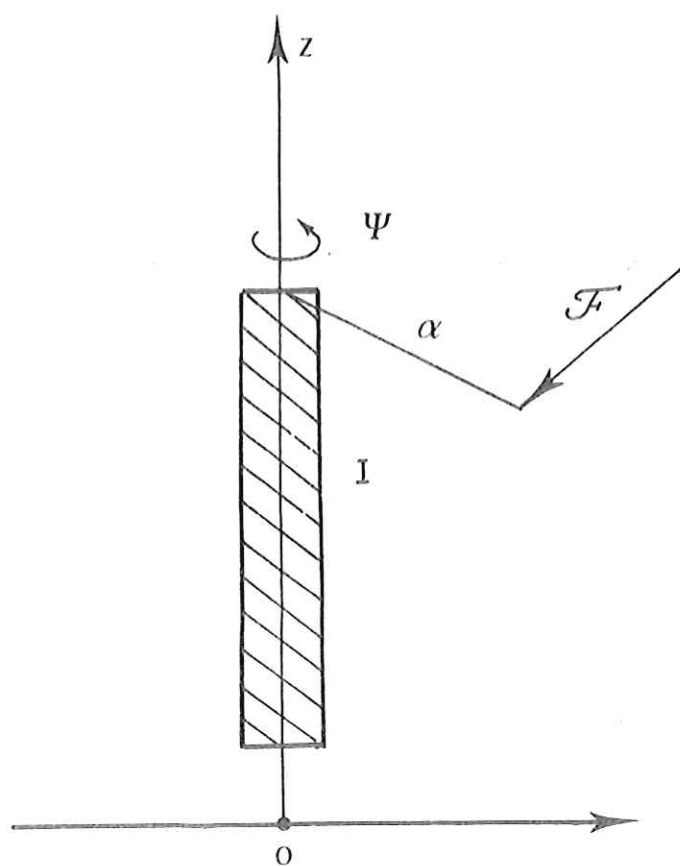
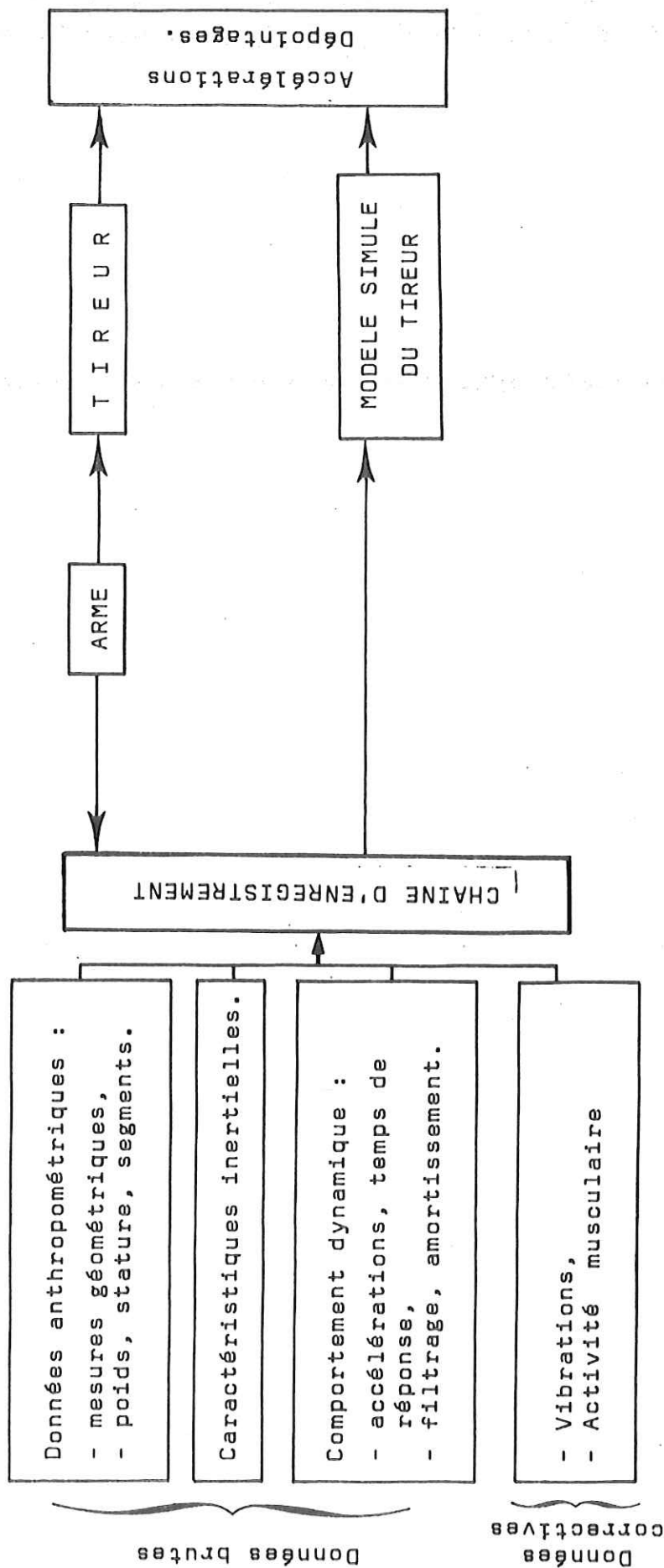


Figure n° 9 : Modèle en rotation autour de l'axe vertical.

Figure n° 10 -

PROGRAMME DE SIMULATION DU TIREUR



5 - CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES -

Après une phase de tâtonnements nécessaire à la prise de contact avec ce problème difficile, les recherches engagées ont conduit à un acquis important et riche de perspectives dont on peut faire le bilan actuel.

Nous avons rassemblé une grande quantité d'informations concernant le couple homme-arme : géométrie du système, masses, centres de gravités, moments d'inertie, accélérations, efforts au sol ; éléments auxquels viennent s'ajouter les informations biologiques de vibration et d'activité musculaire.

Ceci nous a conduit à constater la nécessité d'une étude globale du phénomène reliant les données à l'aide d'une structure de synthèse. Cette structure permet d'identifier et de décrire les facteurs influençant la précision du tir ; elle guide dans le choix des recherches et des études à mener et dans l'interprétation des résultats. Initialement fondée sur les relations de mécanique liant efforts, inertie et déplacements, elle est modifiée pour assimiler les autres informations biologiques indispensables. Une partie des résultats est actuellement utilisée pour la réalisation d'un modèle par une méthode d'identification.

Ainsi, la description du couple homme-arme, pour son utilisation en vue d'optimiser la précision du tir, progresse selon deux axes :

- 1°) - Une méthode spécifique de traitement des résultats qui se nourrit des éléments apportés par l'expérience. Elle développe une certaine systématique à l'intérieur d'un champ d'action qui est délimité par la nature des paramètres et des relations introduites, sans toutefois pouvoir fournir une organisation des axes de la recherche.

2°) - Une évolution continue de l'exploration du couple homme-arme qui se propose d'intégrer tous les phénomènes impliqués tant biologiques que mécaniques, et dont la structure souple permet de repenser progressivement les interactions des facteurs d'influence. Cette méthode a permis d'apporter des résultats déjà utilisables dans un certain nombre de domaines, notamment celui des vibrations.

Grâce à cette démarche, la recherche ne se trouve pas confinée dans une méthodologie unique, la modélisation, qui malgré toutes ses promesses et ses possibilités risque, à terme, de ne fournir qu'un élément fragmentaire d'évaluation insuffisant pour prendre en compte l'ensemble de phénomènes biologiques. De ce fait, la double approche à laquelle nous nous sommes toujours attachés, laisse subsister toutes les chances de parvenir au résultat escompté.