

Sommaire

1.	SYNTHESE	2
2.	COMMENT AMELIORER LE REALISME DU SIMULATEUR AFIN DE RENDRE L'EXPERIENCE DE TIR LA PLUS REALISTE POSSIBLE ?	3
3.	NOS RESULTATS, DE L'ETUDE DU BESOIN JUSQU'A LA VALIDATION DU MODELE MATHEMATIQUE.....	4
3.1	UN OUTIL D'ENTRAINEMENT	4
3.2	UN MODELE MATHEMATIQUE POUR LE CALCUL DE L'ENERGIE DE REcul	5
3.3	UN PROTOCOLE EXPERIMENTAL PERMETTANT DE VALIDER LE MODELE MATHEMATIQUE	6
4.	UNE PROPOSITION DE VALEUR LIEE AU BUSINESS MODEL CANVAS....	7
5.	LES SUITES A DONNER AU PROJET.....	8
6.	ELEMENTS DE LA DEMARCHE	9
7.	UNE EXPERIENCE ENRICHISSANTE EN TOUT POINT DE VUE.....	11
8.	ANNEXES	12
8.1	LES PRINCIPAUX ELEMENTS TIRES DU DESIGN THINKING	12
8.2	ELEMENTS CONCERNANT LE QUESTIONNAIRE ENVOYE A LA DGA.....	14
8.3	ET ENFIN, NOUS VOUS PRESENTONS L'INTERFACE DE NOTRE MODELE !	16
9.	GLOSSAIRE – INDEX.....	18
10.	BIBLIOGRAPHIE	18
	OUVRAGEs.....	18
	RESSOURCEs WEB	18
	EXPERTs ET CONTACTs.....	19
11.	TABLE DES MATIERES	20

1. SYNTHÈSE

Début septembre a marqué le début de cette Mission Innov'Action, que nous avons mené conjointement avec notre commanditaire, M. Dupont Julien, responsable du pôle mécanique de GAVAP. Le sujet initial, tel qu'il nous a été présenté était « Recul et sensation lors d'un tir simulé ».

Le but de cette mission était d'améliorer la sensation de recul de l'arme de simulation du SITTAL.

À travers ce sujet, nous nous plaçons dans le secteur d'activité de la simulation militaire, car GAVAP conçoit, développe et fabrique des systèmes de simulation destinés à l'instruction militaire et à l'entraînement au tir. Les simulateurs fournis par la société sont élaborés en étroite collaboration avec leurs utilisateurs. Dans notre cas, il s'agit exclusivement des fantassins de l'armée française. Dans ce marché concurrentiel, l'entreprise se doit d'être à la pointe de la technologie afin de pouvoir offrir des sensations proches de la réalité. Ce besoin passe ainsi par une « course au réalisme » et la nécessité de l'améliorer constamment.

Mais la demande émanant du commanditaire n'avait cependant pas été corroborée par une étude du besoin utilisateur.

À l'issue des journées de Design Thinking réalisées au sein de l'école, nous avons décidé de nous intéresser à ce besoin : était-il légitime de chercher à améliorer ce recul ? Est-ce une demande de la part des utilisateurs ? Cette amélioration apporterait-elle réellement une amélioration du réalisme ou est-ce un aspect secondaire lors d'un tir sur le simulateur ?

Conjointement à cette étude, nous avons commencé à nous pencher sur le « corps » du problème. La sensation de recul de l'arme de simulation est bien en deçà de la sensation de recul de l'arme réelle. En effet, la technique utilisée pour simuler le recul est évidemment différente de celle d'une arme réelle étant donné qu'aucun projectile ne sort de l'arme de simulation. Néanmoins, aucun travail de quantification n'avait été réalisé. Aussi, après avoir dressé un état de l'art, nous nous sommes aperçus qu'aucune quantification de l'énergie de recul d'une arme réelle n'existait. Pour mesurer l'écart entre ces grandeurs, simulée et réelle, nous avons donc créé un programme informatique, reposant sur un modèle mathématique. Ce modèle quantifie l'énergie de recul d'une arme en fonction de différents paramètres connus et propres à l'arme ou aux munitions. Il est donc adaptable à plusieurs armes, ce qui constitue un gain de temps et une facilité d'utilisation.

2. COMMENT AMELIORER LE REALISME DU SIMULATEUR AFIN DE RENDRE L'EXPERIENCE DE TIR LA PLUS REALISTE POSSIBLE ?

Dans le cadre des missions Innov'Action de l'école, nous avons donc choisi le sujet M15 intitulé « Recul et sensation lors d'un tir simulé », fourni par l'entreprise GAVAP, située à Terssac.

La mission proposée par GAVAP consiste donc en l'amélioration de leur conception des simulateurs SITTAL pour répondre au mieux au besoin de réalisme exprimé par les utilisateurs. Ceci revient également à fournir à l'entreprise des avantages concurrentiels sur le marché, ainsi que de meilleures propositions de valeur.

Lors d'un tir simulé, comment rendre la sensation de tir et son « touché » les plus réalistes possibles pour les soldats ? Grâce aux trois journées de Design Thinking nous avons pu explorer différentes pistes permettant d'améliorer ces sensations. En effet, le réalisme d'un simulateur passe par de nombreux critères, comme la résolution d'image de l'écran utilisé, l'interaction entre l'arme simulée et le scénario d'entraînement, la reproduction fidèle du bruit engendré par une séquence de tir, la sensation de recul éprouvée, ou encore la diversité des scénarios fournis. Nous avons alors compris que le seul point de réalisme que nous pouvions réellement améliorer était la sensation de recul induite par l'arme de simulation. En effet, le recul ressenti lorsqu'un soldat tire sur le SITTAL est bien inférieur au recul réel d'une arme. De plus, les autres paramètres de tir cités ci-dessus sont déjà optimisés par GAVAP, et les améliorations à apporter auraient été infimes.

Nous avons donc été amenés à rédiger notre problématique de la façon qui suit : « Comment rendre la sensation de recul de l'arme de simulation la plus réaliste possible pour l'utilisateur ? »

Le but de cette mission est alors de permettre à GAVAP de simuler au mieux le recul engendré par l'arme afin que le contact avec l'utilisateur soit le plus réaliste possible. En effet, la sensation de recul perçue par le soldat sur le simulateur se situe bien en-deçà du recul réel éprouvé sur un véritable FAMAS. Le problème est que GAVAP n'a jamais cherché à quantifier le recul produit par les armes de simulation du SITTAL. Il n'existe d'ailleurs pas de protocole expérimental pour cela, que ce soit pour les simulateurs ou pour les armes réelles. En effet, les fabricants d'armes ne connaissent pas avec exactitude l'énergie de recul libérée par leurs armes lors d'un tir. Ils travaillent plus ou moins « à tâtons », en s'aidant de leur expérience. Ils savent par exemple qu'en utilisant une arme pesant x kilos, dont le diamètre du canon vaut y millimètres et en l'associant avec des balles pesant z grammes, le recul sera supportable pour le tireur, ou non. De plus, aucunes données, méthodes ou protocoles expérimentaux n'existent dans la littérature ou bien sur internet. Il nous faut donc quantifier ces deux grandeurs et l'écart entre les deux.

Il s'agit alors de créer une méthode de calcul permettant d'obtenir la valeur du recul généré par une arme, à partir des différents paramètres mécaniques intervenant dans sa géométrie. Cette méthode devra être applicable aux armes de simulation mais aussi aux armes réelles. Enfin, pour valider le modèle mathématique trouvé, il faut pouvoir le tester et le mettre à l'épreuve lors d'une expérience sur banc instrumenté. C'est pourquoi l'élaboration d'un protocole expérimental était également nécessaire. GAVAP pourra ainsi comparer les résultats des expériences avec les valeurs d'énergie de recul calculées par le biais du modèle mathématique, ce qui permettra de valider notre prototype.

3. NOS RESULTATS, DE L'ETUDE DU BESOIN JUSQU'A LA VALIDATION DU MODELE MATHEMATIQUE

3.1 UN OUTIL D'ENTRAINEMENT

Le simulateur SITTAL de GAVAP, l'objet de notre mission, est un outil spécifique utilisé pour la formation et l'entraînement des soldats de l'armée française. Notre segmentation de clientèle s'est donc naturellement résumée aux forces françaises. En effet, son prix de plusieurs millions d'euros exclut toute autre utilisation dans le civil.

Lorsque les soldats utilisent le SITTAL, l'objectif est de leur fournir une simulation réaliste de tir pour les préparer le mieux possible au tir réel. C'est dans cette optique que GAVAP a décidé de se concentrer sur la sensation de recul ressentie sur leurs simulateurs. Cependant, ce besoin avait été identifié sans consultation des utilisateurs. Ce problème a été identifié lors des journées de design thinking, à l'issue desquelles nous avons donc réalisé un questionnaire à l'attention des utilisateurs du SITTAL, afin de recueillir leurs avis. Après l'avoir corrigé, notre commanditaire l'a transmis à la Direction Générale de l'Armement (DGA), afin qu'il soit distribué auprès des différents régiments utilisant ce simulateur. Nous avons commencé à recevoir les résultats à la fin de l'année 2015, et nous disposons actuellement de 27 réponses.

Pour étudier ces réponses, nous avons développé un fichier Excel permettant de faciliter l'acquisition des données et renvoyant immédiatement les résultats utiles (cf. annexe : capture d'écran). Ce fichier nous permet d'actualiser rapidement nos résultats à l'arrivée de nouveaux questionnaires. Cela permettra aussi à GAVAP de poursuivre facilement l'étude à l'issue de notre mission. Nous renvoyons une information pour chaque question du questionnaire. Pour beaucoup d'entre elles, il s'agit de la moyenne, ou bien d'un taux de réponse comparé au nombre total de réponses. De plus, nous avons codé la possibilité d'afficher les résultats selon certains paramètres. Par exemple, nous pouvons afficher le résumé des résultats en prenant en compte uniquement les questionnaires des hommes, ou ceux des militaires de plus de 80kg.

Toutes les réponses proviennent de sous-officiers ou de soldats de l'armée de terre. La première chose à remarquer est que nous n'avons qu'une seule réponse provenant d'une femme. Nous ne pourrions donc pas étudier l'influence du sexe sur la perception du recul. Il pourrait être intéressant de vérifier ce paramètre à l'avenir. On remarque rapidement que notre échantillon est, malgré sa faible taille, représentatif de la population. En effet les moyennes de tailles, âges et poids sont conformes aux moyennes nationales. On observe également que l'entretien des compétences est tout de même la plus importante, mais cela peut s'expliquer par l'ancienneté moyenne des soldats ayant répondu, qui est de 14 ans environ. Nous livrerons à l'issue de notre mission un rapport concernant les résultats de cette étude à la DGA.

À l'issue de l'exploitation de ces questionnaires nous pouvons conclure que l'amélioration du recul est un besoin de premier ordre pour les utilisateurs, car il s'agit d'une remarque revenant régulièrement. Cependant les principales préoccupations des utilisateurs concernent l'ancienneté des simulateurs qu'ils utilisent. En effet les premières versions du SITTAL livrées à l'armée ont maintenant plus de dix ans et commencent à devenir obsolètes.

3.2 UN MODELE MATHEMATIQUE POUR LE CALCUL DE L'ENERGIE DE REcul

Pour réaliser le modèle mathématique, nous avons adopté une approche en deux temps. Nous avons ainsi réalisé une première modélisation à partir de la mécanique du point. Cette modélisation permet d'obtenir un ordre de grandeur de l'énergie dégagée par le recul. Dans un second temps, nous avons réalisé une seconde modélisation en nous basant sur la mécanique du solide et la théorie des chocs afin d'obtenir une valeur de la force exercée par le recul plus proche de la réalité.

Pour la modélisation à partir de la mécanique du point, nous nous sommes basés sur une conservation de l'énergie cinétique. Ainsi, l'énergie cinétique dégagée par la balle et par les gaz s'échappant de l'arme est entièrement transmise à celle-ci. Connaissant déjà la masse de l'arme, il nous fallait déterminer sa vitesse, que nous avons trouvée grâce à la formule suivante :

$$Va = \frac{Vb * Mb + Vg * Mg}{Ma}$$

Où :

- Mb : masse d'une balle,
- Vg : vitesse des gaz s'échappant du canon,
- Mg : masse des gaz,
- Ma : masse de l'arme,
- Va : vitesse de l'arme,
- Vb : vitesse de la balle,

Nous avons alors pu déterminer la valeur de l'énergie de recul grâce à la formule suivante :

$$Er = \frac{1}{2} * Ma * Va^2$$

Pour déterminer les valeurs numériques, nous avons utilisé le tableur Excel.

Enfin, pour réaliser la modélisation à partir de la mécanique du solide, nous nous sommes basés sur la théorie des chocs. Nous avons pensé à utiliser cette théorie grâce à l'aide d'un des doctorants de l'école. Nous nous sommes donc intéressés à la force que dégage le choc entre la culasse et la crosse de l'arme lors d'un tir, car c'est ce choc même qui est à l'origine du recul. Pour cela, nous avons supposé que nous n'étions qu'en présence d'une variation d'énergie cinétique. Le système supposé est constitué de la culasse, qui représente l'objet percutant, d'un ressort que l'on peut situer entre la culasse et la crosse, et enfin de la crosse, représentant l'objet percuté. Nous obtenons après une étude énergétique et une étude du mouvement la formule suivante :

$$Fr = Ma * g + Mc * g * \eta - Pc$$

Avec :

Fr : la force exercée par le recul

Ma : la masse de l'arme

g : l'accélération de la pesanteur

Mc : la masse de la culasse

η : coefficient dynamique qui dépend des masses de l'arme et de la culasse, de la masse et de la raideur du ressort

Pr : précontrainte du ressort, le ressort n'étant pas entièrement relâché à l'initial mais partiellement comprimé pour une absorption optimale du choc.

Cette formule permet ainsi le calcul de la force exercée par le choc sur la crosse et donc, en supposant que l'arme soit collée à l'épaule, de la force exercée par le recul sur l'épaule.

3.3 UN PROTOCOLE EXPERIMENTAL PERMETTANT DE VALIDER LE MODELE MATHEMATIQUE

Afin de tester le modèle mathématique, nous avons dû établir un protocole expérimental permettant de calculer l'énergie de recul libérée lors d'un tir. Nous avons tout d'abord pensé à utiliser du papier pression que l'on aurait positionné sur l'épaule du tireur. Ce papier, un peu à la manière d'un papier pH, possède l'intéressante propriété de se colorer lorsqu'on lui applique une pression. Mais ce qui constitue l'atout principal de ce papier, c'est qu'en fonction de la pression appliquée, l'intensité de coloration obtenue n'est pas la même : elle est en effet directement proportionnelle à la force appliquée et donc, à l'énergie de recul libérée lors d'un tir.

Nous avons malheureusement dû abandonner cette idée pour deux raisons principales. La première est que cette mesure de pression n'est pas très précise. En effet, les couleurs obtenues sur le papier correspondent à des gammes de pression, et ne permettent donc pas de conclure quand à une valeur exacte de pression. Nous aurions seulement pu savoir dans quelle « fourchette » de pression se situe la pression exercée sur l'épaule du tireur. La seconde raison de notre abandon est plus matérielle. En effet, le papier pression ne se vend actuellement que par rouleaux de plusieurs mètres carrés. Ces rouleaux coûtent également très chers (1500 euros en moyenne pour 15 mètres carrés), et nous n'avions besoin que de quelques centimètres carrés de papier. Nous avons alors décidé de nous concentrer sur un autre protocole expérimental.

Voici la description du protocole adopté. Pour pouvoir réaliser les expériences, il faudra tout d'abord trouver un moyen de suspendre une arme de simulation au plafond. Ce moyen dépend bien évidemment de l'endroit où se déroule l'expérience, et du type de plafond utilisé, nous ne pouvons donc pas détailler davantage cette première étape. La suspension de l'arme est cependant essentielle car si un utilisateur tenait l'arme lors du tir, une partie du recul serait encaissée par son épaule, et les résultats seraient faussés.

La seconde partie du protocole est le déclenchement du tir. Nous nous retrouvons maintenant face à un problème de taille : comment déclencher le tir sans avoir besoin d'appuyer sur la détente ? En effet, appuyer sur la détente créerait une force dans la même direction et le même sens que le recul, ce qui fausserait les résultats. Nous avons alors pensé à un système de pistons hydrauliques qui permettrait, grâce à deux pistons reliés entre eux par un petit tube flexible, de déclencher le tir tout en se situant à quelques mètres de l'arme. En compressant un piston rempli de liquide, l'utilisateur enverrait celui-ci dans le petit tube reliant les deux seringues hydrauliques. Le liquide, une fois arrivé au second piston fixé sur la détente, compressera l'embout métallique et déclenchera le tir.



Photographie de l'ensemble « Pistons hydrauliques/Arme »

Enfin, avec l'aide d'un accéléromètre permettant de mesurer l'accélération linéaire de l'arme selon les deux axes du plan vertical, nous pourrions récolter les données nécessaires au calcul de l'énergie de recul. Après avoir calculé cette énergie, nous pourrions alors la comparer à celle fournie par le modèle mathématique et valider ou non celui-ci.

4. UNE PROPOSITION DE VALEUR LIEE AU BUSINESS MODEL CANVAS

Le but de cette mission est d'apporter une innovation, tout en essayant de repenser l'approche de l'entreprise, afin d'améliorer cette sensation de recul. Notre proposition de valeur est la création d'une modélisation mathématique permettant de quantifier le recul d'une arme réelle. Pour cela, il suffit d'entrer les différents paramètres qui entrent en jeu au niveau de l'interface du programme. Ainsi, le modèle s'adapte à toutes les armes utilisées par l'entreprise GAVAP : cela représente un gain de temps et de facilité de mise en œuvre. Le but est également de pouvoir l'utiliser avec des armes de simulation. Ainsi, en jouant sur les différents paramètres entrant en jeu (tels que le poids de l'arme, la pression de l'air injecté dans le piston pour simuler le recul, etc.) on pourrait optimiser le recul de l'arme de simulation pour tendre vers un écart simulation-réel nul et ainsi, s'approcher du recul d'une arme réelle.

Bien que ce modèle ne soit pas une solution d'amélioration du recul en soi, il constitue la première étape de cette amélioration en quantifiant l'écart à la réalité, sans être obligé de réaliser un prototype.

Ainsi, cette modélisation mathématique fournit la valeur de l'énergie de recul libérée lors de la projection de la balle. Cependant, seulement une partie de cette énergie est transmise au tireur par le biais de l'action de la crosse sur l'épaule, une majorité s'échappant par les gaz d'échappement ou par l'amortissement d'un ressort interne. Pour quantifier l'énergie effectivement transmise au tireur, nous avons par la suite étudié le mécanisme interne de l'arme grâce à une approche de mécanique du solide. Cette étude nous a donc fourni l'écart entre le recul théorique d'une arme et le recul réellement ressenti par le tireur. C'est bien ce recul réellement ressenti qu'il faut prendre en compte lors de l'optimisation du recul de l'arme de simulation.

Les résultats obtenus représentent donc une grande avancée dans le domaine de la simulation de tir. En effet, GAVAP n'avait jusqu'à lors pas quantifié l'écart à la réalité en terme de sensation. L'entreprise n'avait d'ailleurs jamais quantifié le recul réellement ressenti par le tireur que ce soit avec l'arme de simulation ou avec l'arme réelle. Or, aucune littérature n'existe à ce sujet : il existe seulement des « tables » dans lesquelles sont référencées les énergies libérées par la balle ainsi que leur vitesse en sortie de canon, mais il n'existe aucune valeur chiffrée concernant le recul ressenti par un tireur. Le programme informatique permet donc de répondre à ce problème : nous savions que le recul de l'arme de simulation était inférieur à celui de l'arme réelle, nous sommes désormais capable de quantifier cet écart pour chaque arme utilisée.

Aussi, grâce à l'étude des questionnaires, il a été montré qu'il est pertinent selon les utilisateurs d'améliorer le recul de l'arme de simulation. En effet, cela contribue grandement au réalisme de l'expérience de tir. Ainsi, grâce à l'amélioration de la sensation de recul, c'est tout le ressenti de l'utilisateur lors d'un tir qui se voit amélioré : notre problématique est donc bien pertinente.

L'innovation que nous apportons grâce à ce programme mathématique est donc désirable et désirée, faisable et viable pour le commanditaire.

5. LES SUITES A DONNER AU PROJET

Notre mission Innov'Action est maintenant terminée. Après avoir remis nos prototypes à GAVAP, à savoir la modélisation mathématique permettant de calculer l'énergie de recul ainsi que le protocole expérimental destiné à valider ce modèle mathématique, que reste-t-il à faire ? Quelles actions supplémentaires l'entreprise pourrait-elle mener ?

Tout d'abord, GAVAP devra effectuer les expériences que nous n'avons pas eu le temps de mener nous-mêmes. Grâce au protocole expérimental que nous avons rédigé, bien qu'il ne soit pas détaillé parfaitement, l'entreprise pourra tester le modèle mathématique que nous avons établi. Si les mesures d'énergies de recul trouvées correspondent aux calculs de ces mêmes énergies par le modèle, alors nous pourrions valider ce dernier. De la même façon, il faudra conduire des expériences supplémentaires, mais avec des armes réelles cette fois. Nous aurions d'ailleurs souhaité mener ces expériences par armes réelles avant de nous décider à nous concentrer exclusivement sur les expériences par armes de simulation. Cependant, le climat politique actuel, troublé par les récents attentats de Paris, nous en a empêché. En effet, la sécurité au sein de l'armée s'est encore renforcée, et il nous est devenu impossible d'obtenir des séances de tir avec de véritables armes et un tireur pour effectuer nos essais.

Comme notre modèle mathématique a été créé afin de pouvoir s'adapter à une multitude d'armes, il serait également intéressant de réaliser une batterie d'expériences utilisant des armes différentes du FAMAS sur lequel nous avons initialement travaillé. Si les résultats demeurent concluants, nous saurons alors que notre prototype est adaptable à toutes les armes légères.

Une autre suite à donner serait d'envisager des actions permettant de répondre davantage aux besoins des utilisateurs. En effet, nous avons réussi à cibler plus précisément ces besoins grâce au questionnaire que nous avons rédigé et envoyé à la DGA. Grâce au ressenti des fantassins lorsqu'ils utilisent le SITTAL, nous avons pu analyser les influences de chacun des paramètres du simulateur sur son réalisme. Nous avons également posé de nombreuses questions concernant la sensation de recul perçue par les utilisateurs, ce qui nous a confirmé ce que nous savions déjà : celle-ci est bien plus basse que celle ressentie sur une arme réelle. GAVAP pourrait donc utiliser pleinement l'analyse des données que nous avons pu tirer des réponses reçues, afin de cibler les points perfectibles du SITTAL, et, le cas échéant, engager des procédures d'amélioration.

Enfin, l'entreprise décidera sûrement de développer un dispositif technique permettant d'augmenter le recul du SITTAL de façon significative. Grâce à notre prototype, les ingénieurs de GAVAP pourront alors déterminer l'écart entre le recul atteint sur le simulateur et le recul réel et chercher à réduire cet écart au maximum. Le réalisme du simulateur se trouvera alors sensiblement augmenté, créant ainsi pour l'entreprise GAVAP une meilleure proposition de valeur.

6. ELEMENTS DE LA DEMARCHE

Pour réaliser la mission que nous a confié le commanditaire, nous avons, grâce aux cours d' « outil pour améliorer », réalisé un dossier de lancement. Celui-ci nous a permis d'identifier toutes les étapes et les ressources permettant d'arriver aux résultats présentés précédemment.

Nous avons donc pu identifier trois grands axes de notre démarche permettant de répondre aux attentes du commanditaire et de l'école : un axe portant sur l'amélioration du recul, un autre sur la réalisation du questionnaire de satisfaction du SITTAL, et enfin un axe portant sur la communication autour de ce projet.

Pour commencer, notre commanditaire ne nous a pas réellement demandé un système permettant l'amélioration du recul sur le simulateur. Il nous a demandé en premier lieu de construire un modèle mathématique ayant pour objectif de déterminer l'énergie dégagée par le recul. Ceci est le rendu principal imposé par l'entreprise, le système permettant l'amélioration du recul sur le simulateur n'était donc pas l'objectif principal, ce qui peut porter à confusion au vu de la problématique. A partir d'un rendez-vous avec M. Dupont, nous avons donc pu mettre en place un certain nombre d'étapes à réaliser afin d'aboutir à ce modèle. La première étape identifiée a été la réalisation d'une veille sur le fonctionnement d'une arme légère et sur son recul. Nous avons donc effectué des recherches bibliographiques en utilisant notamment les ressources fournies par le centre de documentation de l'école et les ressources internet classiques. La suite donnée à cette veille fut une analyse des données récoltées afin de séparer les données pertinentes de celles qui ne le sont pas. À partir de là, nous avons identifié deux axes à réaliser en parallèle : un premier concerne la construction du modèle mathématique théorique et un deuxième porte sur la réalisation d'un protocole expérimental permettant de valider ce modèle.

La première étape menant à la construction du modèle fut la détermination des paramètres pertinents qui influent sur le système et que l'on peut donc faire varier. Pour cela, nous nous sommes servis de la veille que nous avons déjà effectuée.

L'étape suivante fut de trouver l'équation mathématique donnant, à partir des paramètres, l'énergie dégagée par le recul. Pour permettre au commanditaire d'utiliser facilement le modèle, nous avons réalisé un classeur Excel permettant de le faire tourner en rentrant la valeur des paramètres. Cependant ce modèle n'était pas encore assez précis. En effet, nous n'avons effectué qu'une analyse mécanique du point, et il nous fallait également réaliser une étude mécanique du solide pour obtenir de meilleurs résultats. Afin de déterminer les grandeurs que nous cherchions, nous avons alors fait appel à un doctorant qui nous a aidés à utiliser la méthode des éléments finis, une méthode qu'aucun d'entre nous n'avait déjà utilisée.

En ce qui concerne la partie expérimentale, nous nous sommes d'abord concentrés sur le protocole de mesure à établir. Pour cela, nous avons notamment demandé de l'aide à deux professeurs du domaine IMAS, mais également à des contacts extérieurs tels que les bancs d'épreuve de Saint-Etienne et de Liège, mais aussi à un de l'école royale militaire de Liège. Une fois le protocole expérimental établi, nous n'avons malheureusement pas pu réaliser les expériences qui auraient permis de valider notre modèle mathématique. Il nous fallait en effet pour cela réquisitionner, le temps d'une journée ou plus, un tireur de l'armée ainsi que des locaux, ce qui, dans le contexte actuel des attentats de Paris, a été impossible à réaliser.

Concernant le questionnaire, la première étape de sa réalisation fut les journées de Design Thinking. En effet, il n'était initialement pas prévu avec le commanditaire qu'un questionnaire soit réalisé mais, nous nous sommes rendu compte lors de ces journées que cela était nécessaire afin d'établir une segmentation client des utilisateurs du SITTAL. Ce questionnaire nous a également permis de connaître les opinions des soldats quant au réalisme du simulateur et de statuer ensuite sur l'intérêt ou non de se focaliser sur l'amélioration de son recul. L'entreprise GAVAP fut très intéressée par l'idée de ce questionnaire car elle n'avait encore jamais demandé directement aux utilisateurs quels pouvaient être les axes d'amélioration du simulateur. Par la suite, nous avons réalisé un Excel permettant, en rentrant les données des questionnaires, d'en apprendre plus sur l'identité des utilisateurs ainsi que sur leurs souhaits.

Enfin, pour la partie communication du projet, on retrouve également deux sous-parties. En effet, il faut distinguer la communication avec l'école de celle établie avec le commanditaire, toutes deux différentes. Cette dernière s'est réalisée majoritairement par mail, mais quelques réunions furent aussi organisées à GAVAP (une fois par mois environ), afin de discuter face à face de l'avancement de la mission, de ce qu'il nous restait à faire et des moyens qu'on allait mettre en œuvre pour y arriver. La communication avec l'école fut relativement différente : chaque mois, un point étape était effectué et regroupait chaque équipe du groupe de TD ainsi que nos deux tutrices. Durant ces points étapes, chaque équipe présentait l'avancée de son projet et écoutait ensuite les avis et conseils prodigués par les autres groupes. Cela permettait notamment de fournir aux étudiants un point de vue extérieur à leur projet.

C'est donc grâce à cette démarche et à ces ressources, qui ont été essentiellement humaines et informatiques, que nous avons pu obtenir ces résultats.

7. UNE EXPERIENCE ENRICHISSANTE EN TOUT POINT DE VUE

Finalement, ce rapport est l'aboutissement de six mois de travail mené à cinq. De par sa durée et sa complexité, mais aussi par les liens que nous avons établis avec des professionnels, cette mission fut, sur bien des points, une expérience parfaitement nouvelle pour chacun d'entre nous. Cette nouveauté nous a d'ailleurs été très enrichissante, et nous sommes tous contents d'avoir vécu cette première véritable expérience du monde professionnel de l'ingénierie.

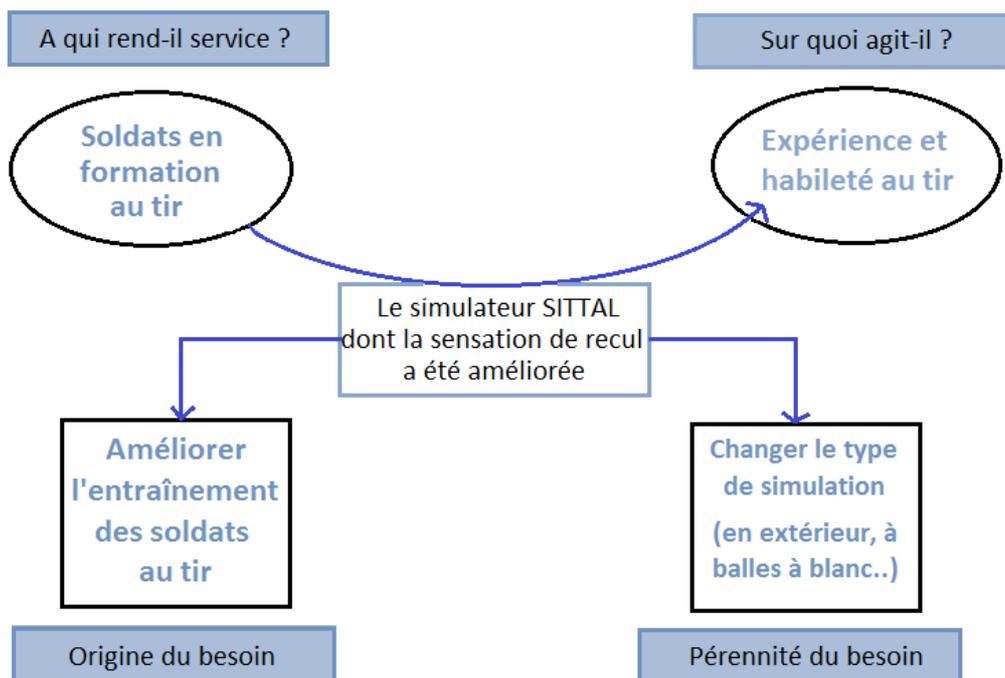
Suite à des problèmes que nous n'avions pas anticipés, le projet a toutefois connu de nombreux coups d'arrêt. Au sein même de notre groupe, nous n'étions pas forcément en accord sur tout. Par exemple, il nous a fallu pas mal de temps pour arriver à une entente complète entre tous les membres de l'équipe et permettre ainsi au groupe un fonctionnement optimal. Il nous a également fallu du temps pour décider de la façon dont nous devons gérer le désaccord initial entre l'école et notre commanditaire et choisir quelle position adopter. Mais ces désaccords, que nous rencontrerons également dans le monde du travail, nous ont permis de bien mieux comprendre les concepts de gestion des équipes et de management que l'on étudie à l'école, et ils auront ainsi été bénéfiques à tous les membres de l'équipe.

Enfin, ce projet nous a fait découvrir une situation relativement semblable à celle d'un ingénieur dans son travail. En tant que débutants, nous sommes évidemment tombés dans quelques pièges, mais grâce à cette mission, nous ne referons plus les mêmes erreurs. Au cours de ces six mois, de nouveaux objectifs se sont peu à peu rajoutés à notre projet initial et, même s'il est sûrement perfectible, nous sommes fiers du travail accompli et des résultats obtenus au terme de notre mission.

8. ANNEXES

8.1 LES PRINCIPAUX ELEMENTS TIRES DU DESIGN THINKING

Les trois journées de Design Thinking nous ont été très utiles, et nous ont notamment permis de faire émerger l'idée du questionnaire. Mais voici ce sur quoi nous avons également pu travailler afin d'améliorer notre compréhension du système sur lequel nous travaillions.



Bête à cornes du simulateur SITTAL

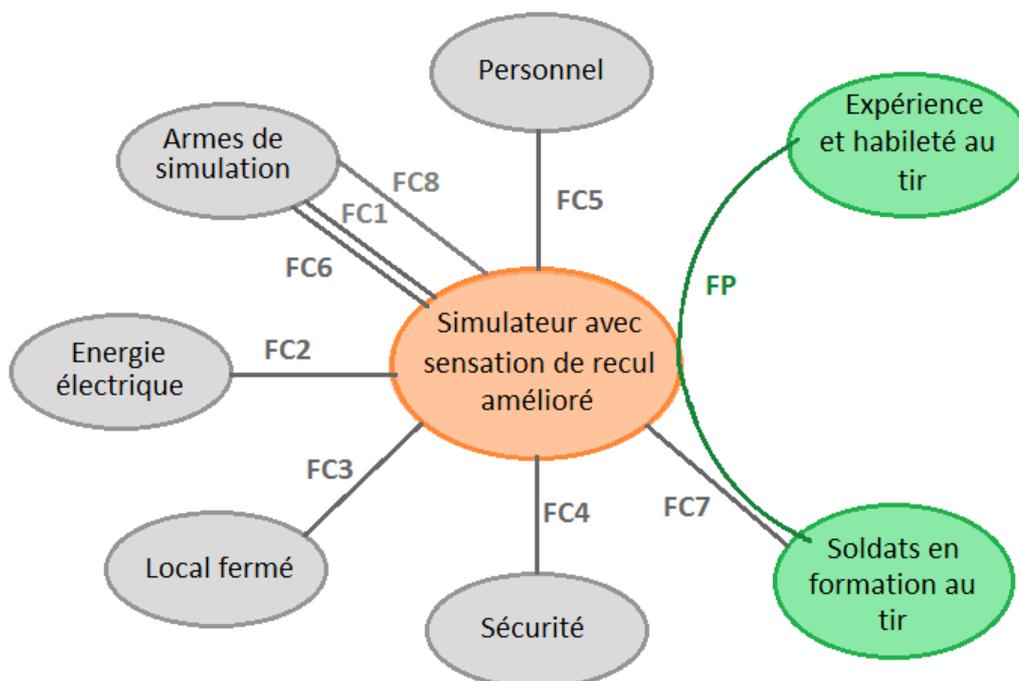
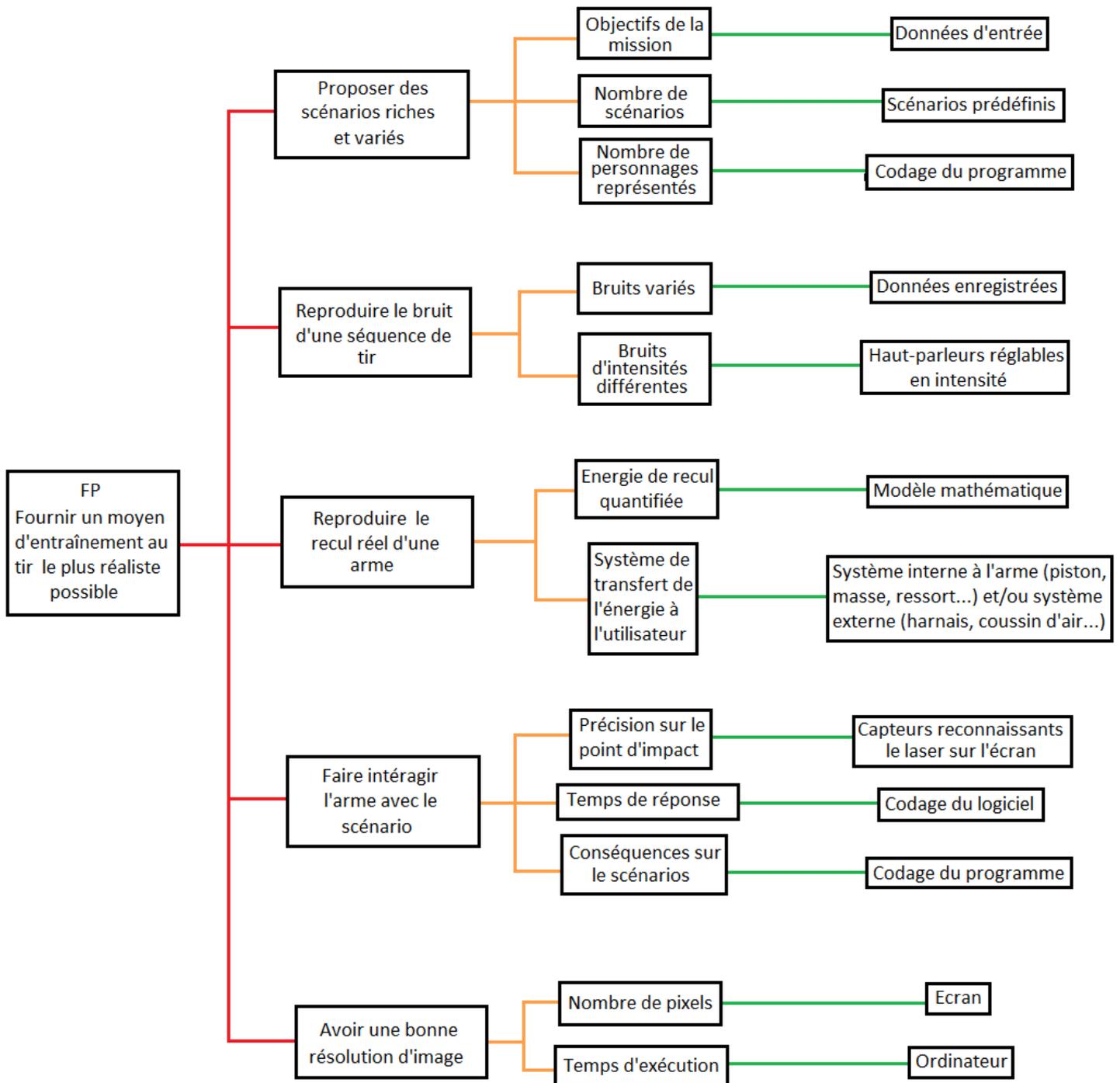


Diagramme pieuvre du simulateur SITTAL



Function Analysis System technique (FAST) de notre mission

8.2 ELEMENTS CONCERNANT LE QUESTIONNAIRE ENVOYE A LA DGA

Formulaire de rentré de donnée

I Informations personnelles

Sexe <input type="radio"/> homme <input type="radio"/> femme	Taille <input type="radio"/> <1m65 <input type="radio"/> 1m65-1m75 <input type="radio"/> 1m75-1m85 <input type="radio"/> 1m85-1m95 <input type="radio"/> >1m95	Poids <input type="radio"/> <60kg <input type="radio"/> 60-70kg <input type="radio"/> 70-80kg <input type="radio"/> 80-90kg <input type="radio"/> >90kg	Grade <input type="radio"/> Soldat <input type="radio"/> Caporal <input type="radio"/> Caporal-chef <input type="radio"/> Sergent <input type="radio"/> Sergent-chef	Condition d'utilisation du SITTAL : Première expérience : <input type="checkbox"/> Préparation d'une mission : <input type="checkbox"/> Entretien des compétences : <input type="checkbox"/> Autres : <input type="text"/>
---	--	---	--	---

Âge : Nombre d'années dans l'armée :

II Simulateur SITTAL

Séquence de tir : Influence des éléments sur la sensation de tir :

	Positive	Neutre	Négative
Ambiance sonore :	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ambiance visuelle :	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sensation de recul :	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Liberté de mouvement:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Equipement de combat:	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

III Perception du recul lors d'un tir sur SITTAL

Sensation de recul sur FAMAS :	<input type="text"/>	Sensation de recul sur PA MAC 50 :	<input type="text"/>
Sensation de recul sur MINIMI :	<input type="text"/>	Sensation de recul sur AT4CS :	<input type="text"/>
Sensation de recul sur FRF1/FRF2:	<input type="text"/>	Importance du recul :	<input type="text"/>

IV) Expression libre

Noter les idées principales:

FIN

Capture d'écran du formulaire permettant de rentrer les données reçues grâce au questionnaire

A	B	C	D	E	F	G
1 Informations personnelles	1	2	3	4	5	6
2 Sexe	homme	homme	homme	homme	homme	homme
3 Taille	<1m65	1m75-1m85	1m65-1m75	1m75-1m85	1m75-1m85	1m75-1m85
4 Poids	60-70kg	70-80kg	70-80kg	80-90kg	70-80kg	70-80kg
5 Age	39	39	36	38	30	37
6 Nb année dans l'armée	20	22	14	18	9	17
7 Grade	Caporal-chef	Caporal-chef	Caporal-chef	Caporal-chef	Caporal-chef	Sergent-chef
8 Condition d'utilisation						
9 Première expérience de tir	non	oui	non	oui	oui	oui
10 Préparation d'une mission	non	oui	non	oui	non	oui
11 Entretien des compétences	non	oui	oui	oui	oui	oui
12 Autres	Utilisateur cellule 126	non renseigné	non renseigné	non renseigné	non renseigné	non renseigné
13 Simulateur SITTAL						
14 Séquence de tir [0;10]	5	8	5	6	5	9
15 Influence des éléments [-1;1]						
16 Arme démilitarisée	négatif	neutre	neutre	neutre	neutre	positif
17 Ambiance sonore	négatif	positif	positif	négatif	positif	positif
18 Graphisme	négatif	positif	neutre	neutre	positif	neutre
19 Sensation de recul	neutre	neutre	neutre	positif	neutre	négatif
20 Présence de câbles	neutre	neutre	négatif	neutre	négatif	négatif
21 Perception du recul [0;10]						
22 Sensation sur FAMAS	5	8	5	7	4	4
23 Sensation sur Minimi	6	8	5	3	4	5
24 Sensation sur FRF WRF2	5	8	6	4	NR	5
25 Sensation sur PA MAC 50	4	5	4	8	4	3
26 Sensation sur AT4CS	7	8	6	4	0	5
27 Importance du recul	9	8	5	8	7	9
28 Expression libre						
Les idées principales	Sittal NG1 trop vieux (scénario, graphisme, IA, armes et son à MAJ), GAVAP très bien, Manque de personnalisation des entraînements.	Armes utilisées à MAJ, Gestuelle MOAL non praticable	Retirer les câbles.	Manque de diversité des scénarios.	non renseigné	Les câbles gênent la manipulation du SITTAL

Données des 6 premiers questionnaires complétés par les soldats.

8.3 ET ENFIN, NOUS VOUS PRESENTONS L'INTERFACE DE NOTRE MODELE !

The screenshot shows a window titled "EcranCalcule" with a close button in the top right corner. The interface is set against a dotted grid background. It features four input fields on the left, each with a label and unit options on the right. The labels are "Masse du projectile", "Vitesse du projectile", "Masse de la poudre", and "Masse de l'arme". The unit options are "En Kg" and "En grain" for mass, and "En m/s" and "En ft/s" for velocity. To the right of these fields are two radio buttons for unit selection: "Unités SI" (selected) and "Unités Américaine". At the bottom left, there is a warning text: "*Attention, les décimales doivent être séparées par une virgule*". At the bottom right, there is a large blue button labeled "Calculer".

Capture d'écran de notre modèle mathématique

Voici donc comment se présente l'interface entre l'utilisateur et le modèle mathématique que nous avons créé. Mais, si cette interface représente la forme de notre modèle, qu'en est-il du fond ? Voici maintenant une partie des lignes de codes que nous avons dû rentrer pour pouvoir créer ce modèle.

```

1 Private Sub Calcule_Click()
2
3 'déclaration variable'
4 Dim rien
5 Dim Mproj As Single
6 Dim Mpou As Single
7 Dim Pa As Single
8 Dim Vproj As Single
9 Dim Vpou As Single
10 Dim Elr As Single
11 Dim Vlr As Single
12
13
14 'test que les 4 paramètres sont présent et dans le bon format, message d'erreur
15 If IsNumeric(TextMproj.Value) Then
16     Mproj = TextMproj.Value
17 Else
18     MsgBox "Veuillez rentrer une valeur numérique pour la masse du projectile."
19     Exit Sub
20 End If
21 If IsNumeric(TextMpou.Value) Then
22     Mpou = TextMpou.Value
23 Else
24     MsgBox "Veuillez rentrer une valeur numérique pour la vitesse du projectile."
25     Exit Sub
26 End If
27 If IsNumeric(TextPa.Value) Then
28     Pa = TextPa.Value
29 Else
30     MsgBox "Veuillez rentrer une valeur numérique pour la masse de poudre."
31     Exit Sub
32 End If
33 If IsNumeric(TextVproj.Value) Then
34     Vproj = TextVproj.Value
35 Else
36     MsgBox "Veuillez rentrer une valeur numérique pour la masse de l'arme."
37     Exit Sub
38 End If
39
40
41 'Vérification choix unité et, si besoin, conversion aux unités SI
42
43 If uniteUSA.Value = True Then
44     Mproj = TextMproj.Value * 15.4324
45     Mpou = TextMpou.Value * 15.4324
46     Pa = TextPa.Value * 2.20462
47     Vproj = TextVproj.Value / 3.28084
48 Else
49     If uniteSI.Value = False Then
50         MsgBox "Veuillez Choisir un système d'unités."
51         Exit Sub
52     End If
53 End If
54
55 'Calcul de la vitesse d'ejection des gazs
56
57 Vpou = Vproj * 1.75
58
59 'Calcul de l'énergie et de la vitesse libre de recul
60
61 Elr = ((Mpou * Vpou + Mproj * Vproj) ^ 2) / (2 * Pa)
62 Vlr = (2 * Elr / Pa) ^ (0.5)
63
64 'Affichage des résultats
65
66 Sheets("Calculateur").Range("I5").Value = Elr
67 Sheets("Calculateur").Range("I6").Value = Vlr
68 EcranCalcule.Hide
69 End
70 End Sub

```

Capture d'écran de quelques-unes de nos lignes de code

9. GLOSSAIRE – INDEX

DGA : Direction générale de l'Armement

FAMAS : Fusil d'Assaut de la Manufacture d'Armes de Saint-étienne

IMAS : Ingénierie des Matériaux Avancés et des Structures

SITTAL NG : Système d'Instruction Technique du Tir aux Armes Légères Nouvelle Génération

10. BIBLIOGRAPHIE

OUVRAGES

- Brossard (Jean-Pierre), Mécanique générale, édition INSA de Lyon, 2003, 855p.
Pages consultés : 786 à 810.

Cet ouvrage nous a servi de base théorique concernant la théorie des chocs.

- Journée Général. V. Les sensations de recul dans le tir. Leur rapport avec les valeurs mécaniques du recul. In: L'année psychologique. 1923 vol. 24. pp. 91-127.

Ce livre explique clairement le processus générant le recul et la sensation perçue par le tireur. Cet ouvrage, consultable en ligne, nous a permis de mieux comprendre ce que nous devons modéliser.

- Textbook for Small Arms, Naval & Military Press, 1929.

Ce livre est cité à de nombreuses reprises par d'autres sources. Il formalise l'expression de l'énergie libérée à chaque tir et transférée à l'arme.

RESSOURCES WEB

- NobleEmpire, FAMAS F1 (full disassembly and operation), vidéo, 2012 (Page consultée le 08/09/2015), Adresse URL : <https://www.youtube.com/watch?v=JmS77opQdfI>

Cette vidéo nous a permis de comprendre le mécanisme de fonctionnement du FAMAS grâce à une vue en coupe. Elle nous a également permis d'observer les mécanismes entrant en jeu lors du recul.

- Norme TOP 3-2-504, Safety Evaluation of Hand and Shoulder Weapons, 1 March 1977, (Page consultée le 09/01/2016), Adresse URL : <http://handle.dtic.mil/100.2/ADA045340>.

Ce fichier pdf nous a éclairés sur la méthode utilisée aujourd'hui pour mesurer l'énergie de recul libérée lors d'un tir. Il s'agit du document présentant la norme des années 70 encore utilisée aujourd'hui

EXPERTS ET CONTACTS

- GAVAP SAS, M. DUPONT Julien, Responsable du pôle mécanique, septembre-mars 2015-2016, emails et visites dans l'entreprise.
- ECOLE ROYALE MILITAIRE DE LIEGE, Capitaine TRUYEN Elie, Doctorant du Département de Systèmes d'Armes & Balistique, novembre-décembre 2015, emails.
- L'ATELIER VERNEY-CARRON, M. LANOUE Jérôme, Maître Armurier, septembre-octobre 2015, téléphone et emails.
- ECOLE DES MINES DALBI CARMAUX, M. GOMES Romeu, Doctorant au centre IMAS, Janvier-Fevrier 2016, multiples entretiens.

11. TABLE DES MATIERES

1.	SYNTHESE	2
2.	COMMENT AMELIORER LE REALISME DU SIMULATEUR AFIN DE RENDRE L'EXPERIENCE DE TIR LA PLUS REALISTE POSSIBLE ?	3
3.	NOS RESULTATS, DE L'ETUDE DU BESOIN JUSQU'A LA VALIDATION DU MODELE MATHEMATIQUE	4
3.1	UN OUTIL D'ENTRAINEMENT	4
3.2	UN MODELE MATHEMATIQUE POUR LE CALCUL DE L'ENERGIE DE REcul	5
3.3	UN PROTOCOLE EXPERIMENTAL PERMETTANT DE VALIDER LE MODELE MATHEMATIQUE	6
4.	UNE PROPOSITION DE VALEUR LIEE AU BUSINESS MODEL CANVAS... ..	7
5.	LES SUITES A DONNER AU PROJET	8
6.	ELEMENTS DE LA DEMARCHE.....	9
7.	UNE EXPERIENCE ENRICHISSANTE EN TOUT POINT DE VUE	11
8.	ANNEXES	12
8.1	LES PRINCIPAUX ELEMENTS TIRES DU DESIGN THINKING	12
8.2	ELEMENTS CONCERNANT LE QUESTIONNAIRE ENVOYE A LA DGA.....	14
8.3	ET ENFIN, NOUS VOUS PRESENTONS L'INTERFACE DE NOTRE MODELE !.....	16
9.	GLOSSAIRE – INDEX.....	18
10.	BIBLIOGRAPHIE.....	18
	OUVRAGEs	18
	RESSOURCEs WEB.....	18
	EXPERTs ET CONTACTs.....	19
11.	TABLE DES MATIERES	20