



HAL
open science

Analyse des coordinations visuo-motrices impliquées dans l'exécution du tir rapide au pistolet

Hubert Ripoll, Robert Le Guern, Jean-Paul Papin

► To cite this version:

Hubert Ripoll, Robert Le Guern, Jean-Paul Papin. Analyse des coordinations visuo-motrices impliquées dans l'exécution du tir rapide au pistolet : Etude du comportement visuomoteur du tireur en situation réelle. [Rapport de recherche] Décision d'aide n° 88-213 DRET, Institut National du Sport et de l'Education Physique (INSEP). 1988. hal-01985547

HAL Id: hal-01985547

<https://insep.hal.science//hal-01985547>

Submitted on 18 Jan 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**INSTITUT NATIONAL DU SPORT
ET DE L'EDUCATION PHYSIQUE**
11, avenue du Tremblay
75012 PARIS

**SERVICE FACTEUR HUMAIN D.A.T
E.T.A.S. ANGERS**
49041 - ANGERS CEDEX

**Laboratoire de Neurosciences
du Sport**

**RIPOLL Hubert
LE GUERN Robert
PAPIN Jean-Paul**

**ANALYSE DES COORDINATIONS VISUO-
MOTRICES IMPLIQUEES DANS L'EXECUTION
DU TIR RAPIDE AU PISTOLET**

**I. Etude du comportement visuomoteur du tireur en
situation réelle**

**Compte Rendu de fin d'étude
d'une Recherche financée par :
Le Ministère de la Défense
Délégation Générale pour l'Armement
Direction des Recherches Etudes et
Techniques.**

Décision d'aide n° 88-213 DRET

AVANT PROPOS

Cette recherche a été réalisée avec le concours de :

- Monsieur le Médecin-Chef Poirier. DRET, Division 3, groupe 9.
- Monsieur le Lieutenant-Colonel Pleffiet, Chef du groupement facteur humain et ergonomie. Section technique de l'Armée de Terre (Camp de Satory).
- Monsieur le Lieutenant-Colonel Benomard. Etat-Major de l'Armée de Terre. Bureau Formation Instruction.
- Monsieur le Colonel , responsable du 151^e Régiment d'Infanterie de Thierville (Verdun), pour avoir mis à notre disposition les tireurs du 151^e Régiment d'Infanterie.
- Monsieur l'Adjudant chef Morel, pour son assistance au cours de la passation des tests des tireurs non experts.
- Les tireurs du 151^e Régiment d'Infanterie de Thierville.
- Monsieur Crochard, Président du club des Pistoliers d'Auteuil, pour avoir mis les installations du club à notre disposition.
- Monsieur Romain Didry, gérant du stand de tir du club de tir des Pistoliers d'Auteuil pour sa participation active et efficace aux différentes étapes de cette recherche.
- Les tireurs du club des Pistoliers d'Auteuil.
- Les étudiants du laboratoire de Neurosciences du Sport pour leur précieux concours.
- Les réalisations vidéo et informatique nécessaires au recueil des données vidéo ont été réalisées par Bruno Reine (laboratoire de Neurosciences du Sport de l'INSEP).
- Les réalisations technique, électronique, et électromécanique ont été réalisées par Alain Moreaux (laboratoire de Mesures de l'INSEP).
- Le travail de secrétariat a été assuré par Michelle Dormoy.

SOMMAIRE

Objet de la recherche	p. 4
Description de la tâche	p. 6
Enregistrement des mouvements du regard	p. 7
Enregistrement des paramètres moteurs	p. 8
Traitement des résultats	p. 8
Populations	p. 9
Analyse statistique	p.10
Résultats	p.10
1. Description des stratégies visuo-manuelles	p.10
2. Analyse chronométrique des coordinations visuo-manuelles	p.13
2.1. Durées des tirs	p.13
2.2. Phase dynamique de déplacement du bras-arme	p.16
2.3. Phase statique de positionnement du bras vers la cible	p.18
2.4. Déclenchement de la réponse manuelle	p.20
2.5. Délai de déplacement du regard	p.22
2.6. Effets comparés des facteurs pression temporelle et incertitude sur les temps de réaction motrice et de déplacement du regard	p.25
2.6.1. Tireurs experts	p.26
2.6.2. Tireurs non experts	p.28
2.7. Précision du tir	p.30
2.7.1. Précision chez les tireurs experts	p.31
2.7.2. Précision chez les tireurs non experts	p.32
2.8. Tireurs de haut niveau	p.32
Conclusions générales	p.34
Remarques terminales et prolongements de la recherche envisageables	p.36
Bibliographie	p.37

ANNEXES

I - Résultats statistiques	p.38
II - Paramètres comportementaux analysés	
II.1 - Résultats individuels tireurs experts	p.43
II .2 - Résultats individuels tireurs non experts	p.46
II.3 - Résultats individuels des tireurs de haut-niveau	p.49

Analyse des Coordinations visuo motrices impliquées dans l'exécution du tir rapide au pistolet

I. Etude du comportement visuo-moteur du tireur en situation réelle

Rapport final (contrat DRET n°88213)

Objet de la recherche

Cette recherche était destinée à étudier les mécanismes de coordination visuo-manuelle impliqués dans des épreuves de tir rapide "instinctif" et à comparer ces coordinations chez des populations de niveau d'expertise différent. Notre objectif était double : a) décrire, d'une part, les stratégies visuo-motrices en relation avec le niveau d'expertise et la performance ; cet objectif a été atteint en utilisant une technique vidéo-oculographique d'enregistrement du regard. b) décrire, d'autre part, les opérations de traitement de l'information impliquées dans les situations étudiées ; cet objectif a été atteint en utilisant une méthodologie de chronométrie mentale et de chronométrie du mouvement. L'originalité de la recherche consistait à coupler ces deux approches.

Le modèle général de traitement de l'information auquel nous faisons référence a été décrit par Theios (1975). Ce modèle décrit une série d'étapes, ou stades de traitement, intervenant entre la présentation d'un signal (une cible dans nos situations) et la production d'une réponse (un tir). Les premières étapes sont considérées comme des étapes précoces comparativement aux étapes terminales qui sont considérées comme plus tardives. Des stades intermédiaires sont impliqués entre ces stades d'entrée et de sortie. Le modèle décrit, de "l'entrée" vers la "sortie", différents stades : a) le processus sensoriel de capture et de codage du signal ; b) l'identification du signal ; c) la

détermination de la réponse ; d) la sélection du programme moteur, et e) la réponse motrice.

Par ailleurs, l'analyse des coordinations visuo-manuelles impliquées dans l'atteinte de cible fixes a fait l'objet de très nombreuses descriptions concernant l'atteinte manuelle, dans le cas d'épreuve de pointage (Ingle, Goodale & Mansfield, 1982 ; Jeannerod, 1990), et plus rarement dans l'exécution de tirs au pistolet (Ripoll, 1985 ; Ripoll & Papin, 1985 ; Ripoll, Papin, Guézennec, Verdy & Philip, 1985). Ces études convergent et démontrent l'existence de différentes phases qu'il devient dès lors possible d'associer aux étapes du modèle de traitement de l'information décrit plus haut. Ces phases concernent :

- l'identification de la cible impliquant un repérage de la cible en vision périphérique ;
- la localisation spatiale de la cible résultant du transport saccadique de l'oeil sur la cible. La commande et le transport saccadique sont susceptibles de contribuer au codage de la position de la cible ;
- l'ancrage de l'oeil sur la cible. Cet ancrage est susceptible de fournir une information de position de la cible grâce aux messages sensoriels fournis par les propriocepteurs des muscles extra-oculaires.
- le déclenchement de la réponse motrice ;
- le transport du bras et de l'arme vers la cible ;
- le guidage visuo-manuel terminal de l'arme vers la cible ;
- l'atteinte de la cible ou le tir.

L'objet de notre expérimentation consistait à étudier les effets consécutifs à la variation des conditions de pression temporelle et d'incertitude sur les différents paramètres visuels et moteurs qui viennent d'être décrits en référence au modèle général de traitement de l'information décrit plus haut. A cet effet, différentes conditions expérimentales ont été étudiées.

Description de la tâche

Le tireur était situé à 10 mètres de cinq cibles -numérotées conventionnellement de un à cinq et de gauche à droite. En condition de tir classique, ces cibles sont placées de profil et pivotent sur leur axe en apparaissant pendant un délai variable fixé à l'avance. Notre expérience étant destinée à évaluer les effets de facteurs : pression temporelle et incertitude sur les mécanismes de coordination visuo-manuelle, nous avons aménagé les conditions de tir selon le protocole qui suit.

Protocole et conditions expérimentales .

Vitesse optimale : Le tireur devait adopter son meilleur rapport vitesse-précision.

Vitesse maximale : le temps utilisé en vitesse optimale était déduit de 20 %

Condition sans incertitude : Avant chaque tir, une lampe s'allumait et pré-signalait une cible -le tireur savait par conséquent sur quelle cible il devait tirer. Lorsque les cinq cibles pivotaient et apparaissaient, la même lampe signalait la même cible sur laquelle le tireur devait tirer. Un signal préparatoire visuel précèdeait l'apparition des cibles d'un délai variable de 1 à 3 secondes.

Condition avec incertitude : Aucune information n'était donnée au tireur avant le tir. Lorsque les cinq cibles pivotaient, une lampe signalait l'une d'entre elles sur laquelle le tireur devait tirer. Un signal préparatoire visuel précèdeait l'apparition des cibles d'un délai variable de 1 à 3 secondes.

Les facteurs pression temporelle (2 niveaux) et incertitude (2 niveaux) étant croisés, l'expérience comprenait 4 épreuves de tir. Dans chaque épreuve 5 tirs étaient effectués sur chaque cible, soit un total de 100 tirs par sujet et par expérience.

- Epreuve 1 : 1 série de 25 tirs, réalisés à vitesse optimale, sans incertitude ;
- Epreuve 2 : 1 série de 25 tirs, réalisés à vitesse maximale, sans incertitude ;
- Epreuve 3 : 1 série de 25 tirs, réalisés à vitesse optimale, avec incertitude ;
- Epreuve 4 : 1 série de 25 tirs, réalisés à vitesse maximale, avec incertitude ;

Dans chacune de ces séries les tirs étaient effectués selon un ordre aléatoire.

L'analyse a concerné les effets des facteurs pression temporelle (2 niveaux : vitesse optimale vs vitesse maximale) et incertitude (2 niveaux : sans incertitude vs avec incertitude) sur l'organisation de la synergie visuo-manuelle.

Enregistrement des mouvements du regard

L'enregistrement a été réalisé en utilisant un capteur vidéo-oculographique de type "Nac Eye Mark Recorder 5". La méthodologie consiste à projeter un faisceau de lumière infra-rouge sur la cornée. Les déplacements de ce faisceau, qui sont proportionnels aux déplacements de l'oeil, sont enregistrés grâce à un dispositif de miroirs par une micro-caméra CCD filmant l'oeil. Une caméra de champ filme parallèlement la scène visuelle située frontalement devant le sujet ; cette scène se déplace en conséquence en relation avec les mouvements de la tête. Les deux images -reflets cornéen et scène frontale- sont superposées. Par conséquent, cette superposition permet de suivre dans l'espace -c'est à dire par rapport à l'environnement- et dans le temps les mouvements du regard. Ces mouvements du regard correspondent aux mouvements conjugués de l'oeil et de la tête. L'enregistrement est réalisé en utilisant un magnétoscope 3/4 de pouce (SONY 7630) et une base de temps

est incrustée en utilisant un générateur de code (SONY FCG 700). Ce signal vidéo est utilisé ultérieurement au cours du dépouillement vidéo.

Enregistrement des paramètres moteurs

Un dispositif électro-mécanique réalisé pour cette expérience détectait différents événements et sur-imposait sur la bande vidéo différents moments caractéristiques concernant : 1) le déclenchement de la ciblerie (entraînant le pivot et l'apparition des cibles), 2) le déclenchement de la réponse motrice (concernant le début du mouvement du bras précédant la saisie de l'arme dans son fourreau). Les déplacements de la main et de l'arme pendant la phase finale étaient analysés à partir de l'enregistrement vidéo fourni par la caméra frontale de l'oculomètre.

Traitement des résultats

L'analyse des résultats a été effectuée semi-automatiquement avec une précision de $\pm 33,33$ msec. Les repérages d'événements étaient repérés manuellement image par image (20000 saisies ont été effectuées pour l'ensemble des sujets). Chaque événement -visuel et moteur- analysé était saisi en frappant une touche correspondante sur le clavier de l'ordinateur. Une interface magnétoscope-ordinateur permettait d'affecter à chaque événement (en msec) la date d'intervention de cet événement, correspondant au moment par rapport au déroulement de la séquence de tir depuis l'origine -signalisation de la cible-, et la durée (valeur absolue) de l'événement. Ces données étaient transférées sur un tableur puis analysées.

Variables dépendantes : (les mesures sont effectuées à partir de la signalisation de la cible qui intervenait (en raison de contraintes mécaniques) 100 msec après le début du pivotement des cibles. Nous avons repéré différents événements :

- apparition de la cible ;
- déclenchement de la réaction manuelle -correspondant au déplacement initial de la main de sa position de repos sur la cuisse ;
- délai d'orientation du regard vers la cible -correspondant au temps mis pour déplacer l'oeil de sa position initiale vers la cible à atteindre ;
- transport de l'arme -correspondant au temps de transport de l'arme ;
- stabilisation de l'arme -correspondant à la durée de stabilisation de l'arme précédant le tir ;
- durée du tir -correspondant au délai entre la signalisation lumineuse de la cible et le tir.

Populations

Deux populations de niveau différent ont été analysées. Il s'agissait de :

Tireurs experts

Cette population comprenait huit tireurs de niveau national ayant un entraînement régulier et participant à des compétitions de niveau national. Ces tireurs sont spécialisés en tir pratique. Il s'agit d'une activité qui consiste à effectuer un parcours jalonné de cibles apparaissant dans des conditions d'incertitude totale. La performance tient compte du score obtenu (cibles touchées et précision) et du temps du parcours. Les caractéristiques de pression temporelle et d'incertitude de cette spécialité l'apparentent aux situations que nous avons étudiées dans la recherche.

Tireurs non experts

Cette population comprenait huit tireurs, militaires professionnels, pratiquant le tir au pistolet dans le cadre de leur entraînement régulier mais ne participant pas à des compétitions sportives. Leur pratique concernait

essentiellement le tir au pistolet de précision effectué sans pression temporelle ni incertitude.

Tireurs de haut niveau

Il s'agissait de deux tireurs de niveau international, en tir "pratique". Ces deux tireurs faisaient, à l'origine, partie de la population des tireurs experts. Cependant leurs performances et leurs comportements les différenciant nettement de cette population, ces deux tireurs ont été exclus de ce groupe et leurs résultats sont présentés indépendamment.

Analyse statistique

Des analyses de la variance avec facteur répété (Anova3R2) ont été effectuées pour identifier l'effet des facteurs population (tireurs experts vs tireurs non experts), pression temporelle (facteur répété à deux niveaux - pression vs non pression), incertitude (facteur répété à deux niveaux - incertitude vs non incertitude) et les interactions population*pression temporelle*incertitude pour chacun des paramètres analysés. Des analyses complémentaires (Anova2R2 et t test) ont été effectuées pour localiser plus précisément ces effets.

Résultats

1. Description des stratégies visuo-manuelles

On relève deux types de stratégies parfaitement différenciées (figure 1) :

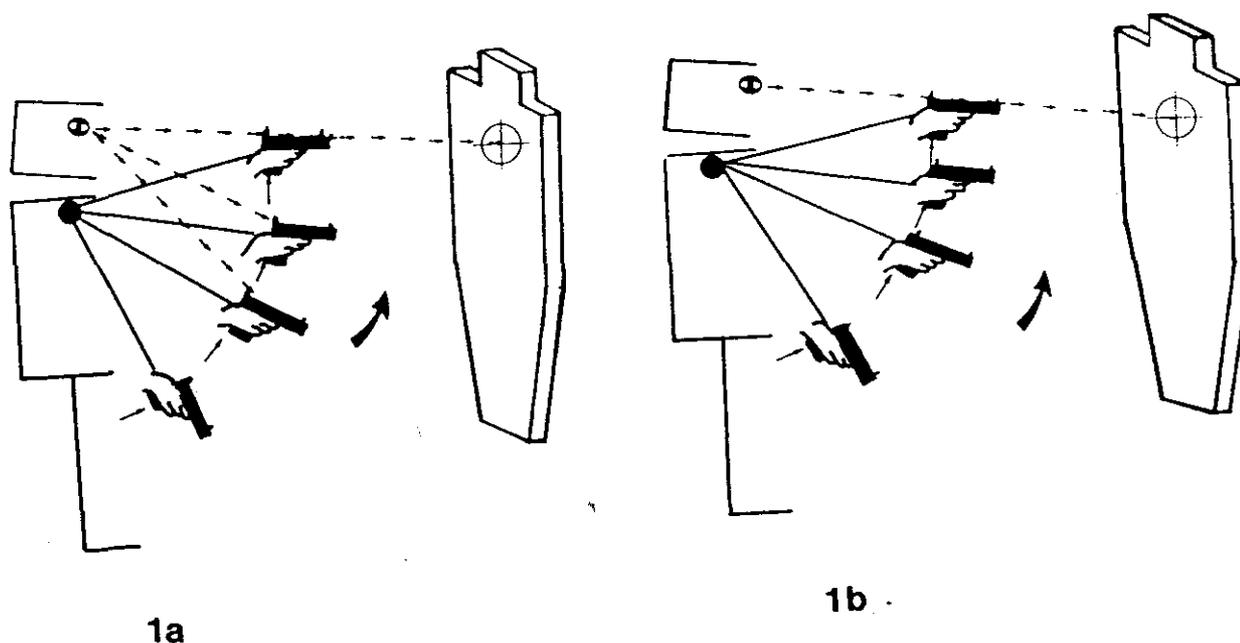


Figure 1. Stratégies visuo-manuelles utilisées par les tireurs experts (figure 1a : coordination regard-arme-cible) et non experts (figure 1b : coordination regard-cible-arme).

coordination regard-arme-cible : Cette stratégie (1a) consiste : a) à positionner le regard à environ 50cm-100cm du pied de la cible, b) à "capturer" au passage les organes de visée et c) à coordonner la position de l'arme par rapport à la position de la cible vue en périphérie et progressivement amenée en vision centrale. Différents contrôles réalisés en effectuant la mise au point de l'oculomètre sur l'arme ou sur la cible montrent que l'accommodation se fait sur les organes de visée de l'arme. Cette stratégie est utilisée systématiquement par les deux tireurs de niveau international (DI et VO) où ce comportement est stable quelles que soient les conditions expérimentales. Cette stratégie est utilisée occasionnellement, et seulement dans le cas de tirs effectués sous pression temporelle, chez trois tireurs experts, (SC, CR, SM), et très exceptionnellement chez un tireur expert (ES). Cette stratégie est également utilisée par quatre tireurs non experts (MA, ZA, PR, BA).

Coordination regard-cible-arme : Cette stratégie (1b), utilisée généralement par les autres tireurs, consiste à positionner le regard en direction de la cible et à amener l'arme en direction de l'oeil pris comme axe virtuel de référence. Des essais complémentaires effectués en effectuant la mise au point de l'oculomètre sur l'arme ou sur la cible montrent que cette stratégie implique une accommodation sur la cible ; l'arme étant guidée en vision périphérique et amenée dans le cône fonctionnel de la vision centrale, où elle est prise en charge par celle-ci.

Remarques :

Rappelons tout d'abord que dans une précédente recherche, nous avons montré un résultat contraire au résultat de la recherche actuelle (Ripoll & Papin, 1985). En effet, nous avons montré que, dans deux épreuves de tir au pistolet de précision -pistolet sport (Ripoll et al., 1985) et vitesse olympique, (Ripoll, 1985b), seuls les tireurs experts utilisaient une stratégie de coordination regard-cible-arme, alors que les non experts utilisaient une stratégie de coordination regard-arme-cible. Ce résultat, inverse à celui enregistré dans la recherche actuelle, peut surprendre. On remarquera toutefois que les deux épreuves présentent des caractéristiques spécifiques susceptibles d'expliquer les différences observées. En effet, il est probable que les épreuves de tir de précision, effectuées par conséquent sans contrainte extrêmes de vitesse, justifient l'adoption d'une stratégie -regard-cible-arme-consistant à amener l'arme dans la direction de l'axe optique pris comme source de référence. Cette stratégie permet d'effectuer un contrôle positionnel efficace mais temporellement coûteux. Cette coordination serait inexploitable dans les conditions de vitesse extrême que sont les épreuves de vitesse, telles que celles que nous avons étudiées dans la recherche actuelle. Ces épreuves, justifieraient l'adoption d'une stratégie de coordination regard-arme-cible

permettant une prise en charge visuelle plus précoce de l'arme et mieux adaptée aux exigences de vitesse.

Cette hypothèse, qui devra être validée expérimentalement, suggère que les épreuves de précision nécessiteraient l'utilisation d'une boucle de rétro-contrôle visuel interne-utilisant les messages proprioceptifs fournis par les muscles extra-oculaires, associées et une boucle de rétro-contrôle visuel externe - impliquant une réduction d'écart entre l'arme et la cible. L'arme serait alors alignée sur la direction "ressentie" de l'oeil dans l'orbite. Les épreuves de vitesse impliqueraient essentiellement un rétro-contrôle visuel externe impliquant la vision de l'arme et le guidage visuo-manuel de l'arme vers la cible. En effet, nos résultats montrent que la coordination regard-arme-cible permet d'atteindre des vitesses de déplacement de l'arme et un contrôle de la coordination visuo-manuelle plus rapide et plus efficace que la stratégie de coordination regard-cible-arme impliquant un réglage terminal du tir plus lent.

On remarque, de la même manière que lors de nos précédentes recherches, que les tireurs n'ont pas toujours conscience de la stratégie adoptée. En effet, seuls les tireurs de haut niveau adoptent la stratégie (coordination regard-arme-cible) qu'ils déclarent utiliser. Les tireurs experts, moins expérimentés que ces derniers, utilisent la stratégie de coordination oeil-cible-arme à leur "insu".

2. Analyse chronométrique des coordination visuo-manuelles

2.1. Durées des tirs

La durée des tirs ou temps d'action, TA, correspond au temps écoulé entre la signalisation de la cible et le déclenchement du tir.

L'analyse de la variance (Anova3R2) montre un effet du facteur population ($F(1,14)=51.22$, $P<.001$), et un effet du facteur pression temporelle ($F(1,14)=102.88$, $P<.001$). Il n'y a pas d'effet du facteur incertitude et aucune interaction population*pression temporelle*incertitude (voir tableau 1 annexe statistique).

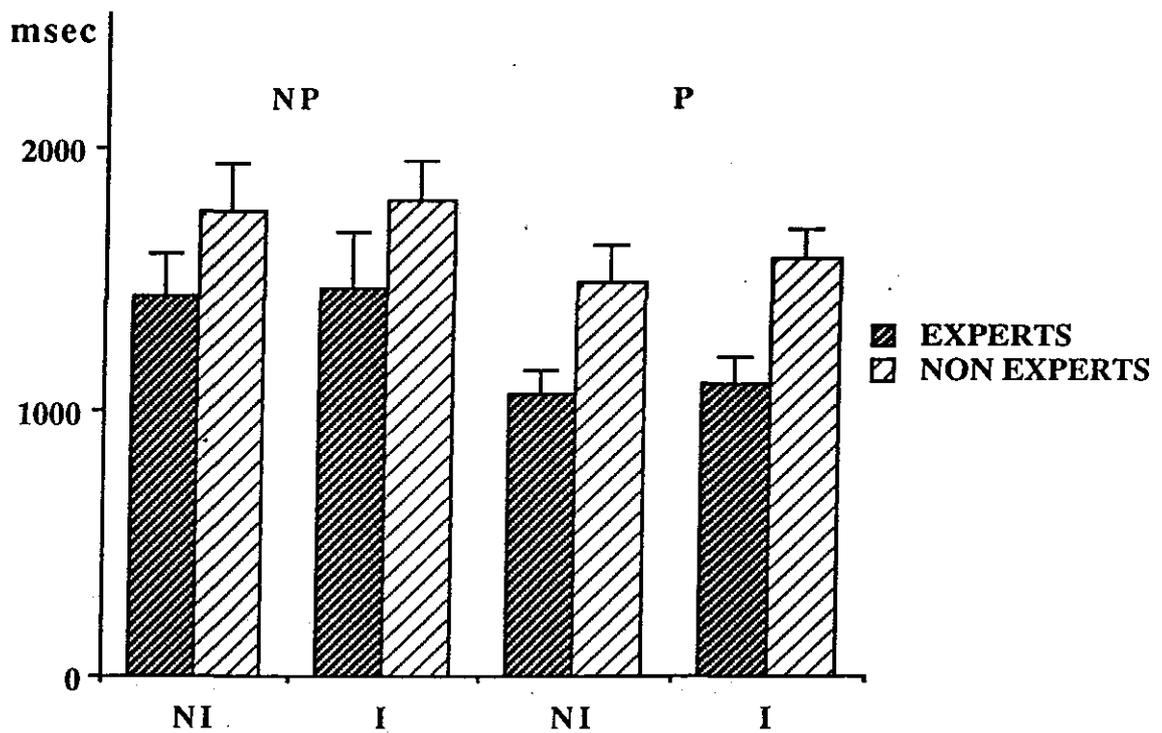


Figure 2 Durée totale du tir en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale (NP) vs vitesse imposée (P)) et du niveau d'incertitude (sans incertitude (NI) vs incertitude maximale (I)) et du niveau d'expertise (tireurs experts vs tireurs non experts)

	NP		P	
	NI	I	NI	I
EXP	1435 (161)	1462 (219)	1067 (89)	1104 (103)
NEXP	1761 (176)	1802 (143)	1490 (133)	1578 (112)
DIFF	-326	-340	-423	-474

Tableau 1. Durée totale du tir, écart type et différences (msec) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale (NP) vs vitesse imposée (P), du niveau d'incertitude (sans incertitude (NI) vs incertitude maximale (I) et du niveau d'expertise (tireurs experts (EXP) vs tireurs non experts (NEXP))

Interprétation

1) Le constat de la réduction importante du temps d'action, chez les tireurs experts, confirme les observations habituelles et le sens commun ; ce constat ne justifie pas, en soi, de plus amples commentaires. Plus pertinent, consiste à tenter d'identifier la nature des mécanismes sous-jacents responsables de cette diminution de la durée du tir. Différents mécanismes doivent être envisagés. Ils concernent :

a) une meilleure adaptation des mécanismes de rétro-contrôles visuels externes impliqués dans le contrôle visuel de la position de l'arme par rapport à la cible et le réglage terminal du tir.

b) une facilitation motrice, du fait de l'automatisation, de la programmation et du contrôle du mouvement.

c) une facilitation attentionnelle entraînant une diminution des temps de réaction visuel et moteur.

2) Le fait que la pression temporelle diminue la durée du tir ne sera pas discuté ici, puisque tel était l'effet attendu des contraintes imposées par l'expérience, et respectées par les tireurs.

Le fait que l'augmentation de l'incertitude n'affecte pas, pour les deux populations, la durée du tir et ce, quelque soit la pression temporelle, révèle que cet effet pourrait intervenir dans les phase précoces de traitement de l'information, et plus précisément avant même que le sujet ne déclenche sa réponse.

3) L'absence d'interaction population*incertitude*pression temporelle montre que le comportement des tireurs répond à des principes de fonctionnement qui semblent indépendants du niveau de pratique. Ainsi, l'habitué des experts à gérer des situations temporellement stressées et incertaines ne facilite pas ces comportements par rapport aux tireurs non experts. On remarquera toutefois (bien que l'interaction ne soit pas significative) une accentuation du différentiel (experts vs non experts) sous l'effet du facteur pression temporelle. Ce résultat montre l'aptitude des experts à mieux "compresser" leur temps optimum que les non experts ; cette "compression" semble s'effectuer indépendamment du facteur incertitude.

2.2. Phase dynamique de déplacement du bras-arme

Cette phase, qui correspond à la phase de transport du membre et de l'arme, comprend le temps écoulé entre le déplacement de la main, quittant le contacteur placé latéralement sur la cuisse, et le début de la phase de stabilisation de l'arme en direction de la cible. L'analyse de la variance révèle un effet du facteur population ($F(1,14)= 7,88, p<.025$), un effet du facteur pression temporelle ($F(1,14)= 32,35, p<.001$). Il n'existe pas d'effet incertitude ($F(1,14)= 1.22, NS$). Il existe une interaction pression temporelle*incertitude ($F(1,14)= 6,80, p<.025$)(voir annexe statistique, tableau 2).

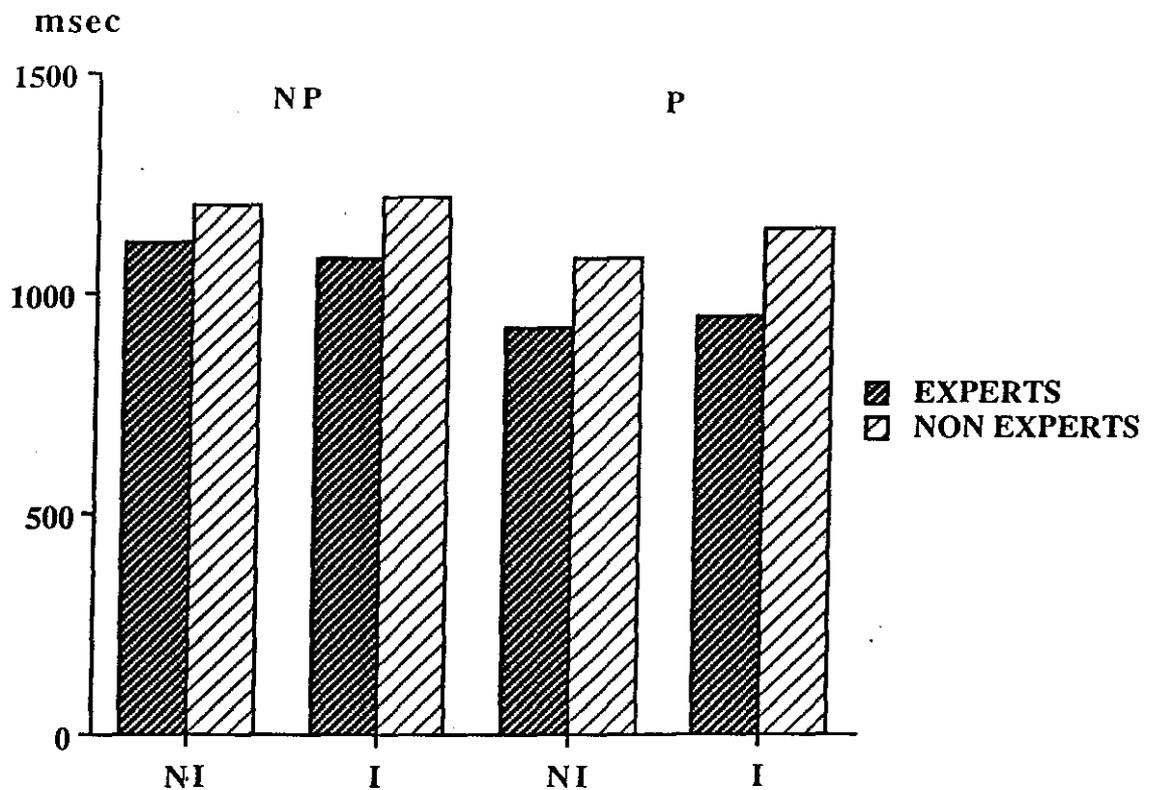


Figure 3 Durée de la phase dynamique de déplacement du bras-arme vers la cible en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale vs vitesse imposée), du niveau d'incertitude (sans incertitude vs incertitude maximale) et du niveau d'expertise (tireurs experts vs tireurs non experts)

	NP		P	
	NI	I	NI	I
EXP	1112 (157)	1080 (135)	922 (120)	945 (96)
NEXP	1197 (123)	1219 (85)	1080 (100)	1145 (73)
DIFF	-85	-139	-158	-200

Tableau 2. Durée de la phase dynamique de déplacement du bras-arme, écart type et différence (msec) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale (NP) vs vitesse imposée (P) et du niveau d'incertitude (sans incertitude (NI) vs incertitude maximale (I) et du niveau d'expertise (tireurs experts (EXP) vs tireurs non experts (NEXP))

Interprétation

1) Les différences des durées de la phase dynamique (experts vs non experts) confirment les résultats précédents (2.1) et montrent que le comportement de l'ensemble des tireurs répond à des principes de fonctionnement communs indépendamment de leur niveau d'expertise.

2) le fait que les effets de l'augmentation de l'incertitude n'interviennent pas sur la phase dynamique révèle que ces effets attentionnels agissent vraisemblablement plus sur des mécanismes précoces de traitement de l'information que sur des mécanismes tardifs d'exécution motrice.

3) l'interaction pression temporelle*incertitude révèle que les effets de l'incertitude sont plus marqués sous l'effet de la pression temporelle.

2.3. Phase statique de positionnement du bras vers la cible

Cette phase comprend le temps écoulé entre la fin de la phase dynamique et le déclenchement du tir. Elle correspond à la phase de contrôle visuel terminal et implique un rétro-contrôle visuel externe permettant l'ajustement de la position de l'arme par rapport à la cible. L'analyse de la variance (ANOVA 3R2) révèle un effet du facteur population ($F(1,14)=21.12, p<.001$) et du facteur pression temporelle ($F(1,14)=63.82, p<.001$). Il n'y a pas d'effet incertitude ($F(1,14)=.99$ NS) ni d'interaction population*pression temporelle*incertitude (voir annexe statistique, tableau 3).

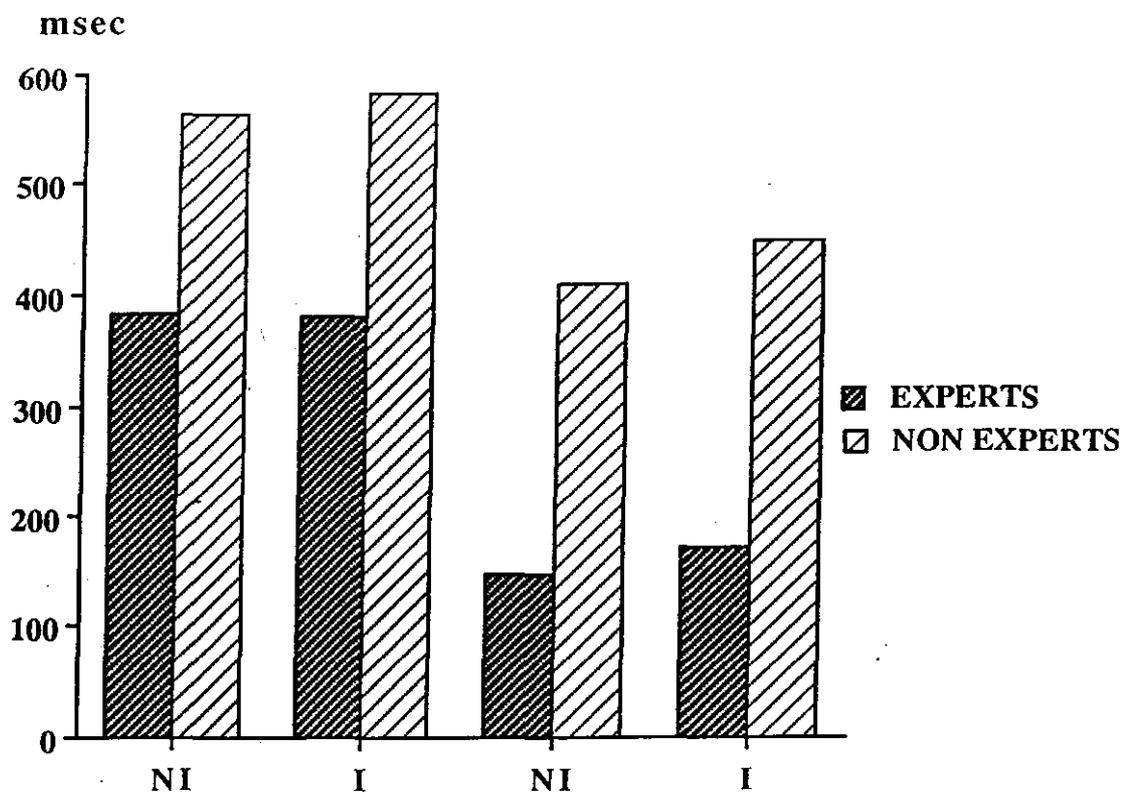


Figure 4. Durée de la phase statique de positionnement du bras-arme vers la cible en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale vs vitesse imposée), du niveau d'incertitude (sans incertitude vs incertitude maximale) et du niveau d'expertise (tireurs experts vs tireurs non experts)

	NP		P	
	NI	I	NI	I
EX	P382 (167)	381 (151)	146 (50)	171 (77)
NEXP	564 (125)	584 (85)	409 (88)	449 (103)
DIFF	-182	-203	-263	-278

Tableau 3. Durée de la phase statique de déplacement du bras-arme, écart type et différence (msec) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale (NP) vs vitesse imposée (P) et du niveau d'incertitude (sans incertitude (NI) vs incertitude maximale (I) et du niveau d'expertise (tireurs experts (EXP) vs tireurs non experts (NEXP))

Interprétation

1) Les différences des durées de la phase statique (experts vs non experts) confirment les résultats précédents (2.1 et 2.2) et montrent que le comportement de l'ensemble des tireurs répond à des principes de fonctionnement communs, indépendamment de leur niveau d'expertise. Cependant, ce résultat ne rend pas compte, des observations faites pendant le dépouillement et qui montraient notamment chez les non experts, dans les conditions associant la pression temporelle et l'incertitude, des corrections tardives du geste modifiant la trajectoire finale du mouvement. Ces corrections spatiales sembleraient donc intervenir sans affecter les paramètres temporels de cette phase.

2) le fait que la pression temporelle affecte la durée de cette phase alors que l'incertitude ne l'affecte pas confirme nos précédentes analyses en faveur d'un effet de l'incertitude qui jouerait sur des mécanismes sensoriels et sensori-moteurs précoces (vraisemblablement pendant l'intervalle de temps écoulé entre l'apparition de la cible et le déclenchement de la réponse, alors que la pression temporelle jouerait sur des mécanismes moteurs plus tardifs.

2.4. Déclenchement de la réponse manuelle

Cette phase correspond au délai écoulé entre la signalisation de la cible et le déclenchement de la réponse motrice, consistant au déplacement de la main de son support. Il s'agit d'un temps de réaction visuo-moteur (TR). Les résultats de l'analyse de la variance révèlent l'absence d'effet population ($F(1,14)=1,30$, NS), l'effet des facteurs pression temporelle ($F(1,14)=32,70$, $p<.001$) et incertitude ($F(1,14)=21,53$, $p<.001$). Il n'y a pas d'interaction population*pression temporelle*incertitude (voir annexe statistique, tableau 4).

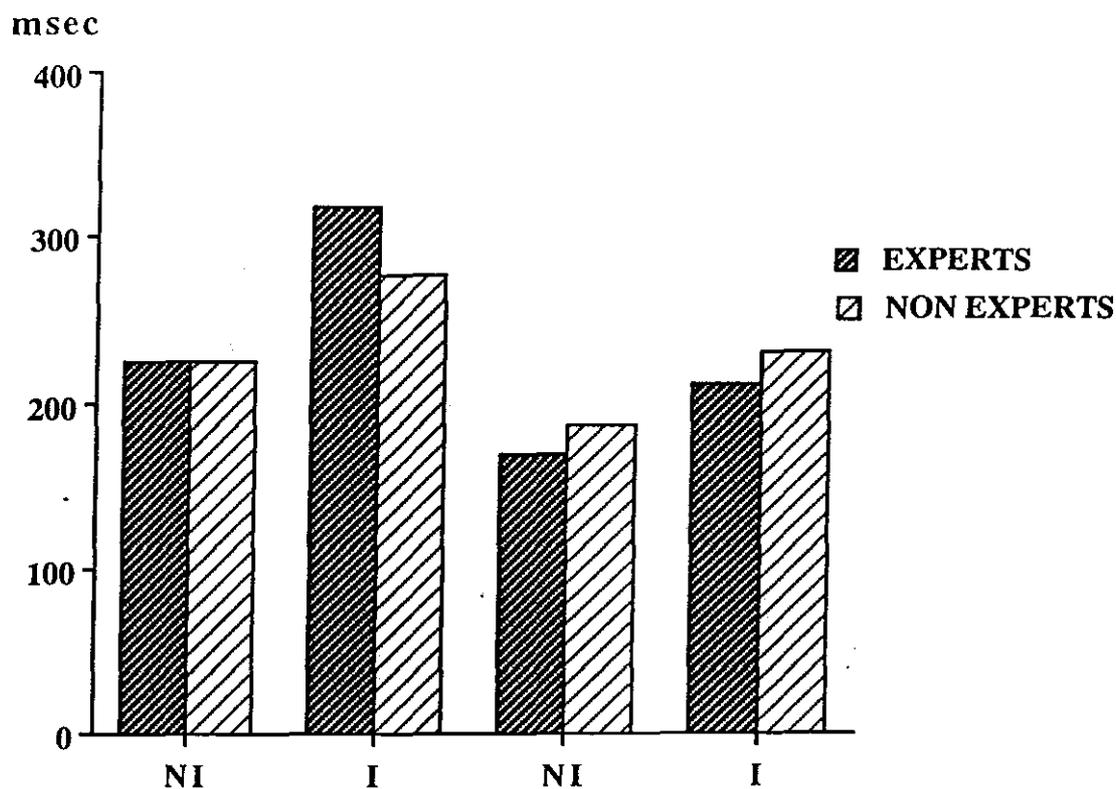


Figure 5. Temps de réaction manuel en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale vs vitesse imposée), du niveau d'incertitude (sans incertitude vs incertitude maximale) et du niveau d'expertise (tireurs experts vs tireurs non experts)

	NP		P	
	NI	I	NI	I
EXP	225 (57)	318 (82)	168 (48)	210 (61)
NEXP	225 (49)	276 (67)	186 (2)	230 (27)
DIFF	0	+42	-22	-20

Tableau 4. Temps de réaction manuel écart type et différence (msec) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale (NP) vs vitesse imposée (P) et du niveau d'incertitude (sans incertitude (NI) vs incertitude maximale (I) et du niveau d'expertise (tireurs experts (EXP) vs tireurs non experts (NEXP)

Interprétation

1) l'absence d'effet du niveau d'expertise sur le temps de réaction manuel révèle que la familiarité avec ce type de situation ne facilite pas, contrairement à ce qui pouvait être attendu, cette phase.

2) l'effet de la pression temporelle (diminuant le TR) et l'effet de l'incertitude (augmentant le TR) montre que ces effets interviennent précocément et de façon antagoniste. L'effet de l'incertitude peut être envisagé, d'une part, comme résultant de l'augmentation de la charge de travail et consécutive au codage visuel (localisation visuelle de la cible), et d'autre part, au délai nécessaire au codage moteur directionnel de la programmation du geste préalable à la réponse motrice proprement dite.

3) l'absence d'interaction montre que ces différents effets agissent de manière identique indépendamment du niveau d'expertise .

2.5. Délai de déplacement du regard

Ce délai correspond au temps écoulé entre la signalisation de la cible et l'atteinte visuelle de la cible. Cette phase comprend le temps de réaction visuel (qui pour des raisons techniques n'a pas pu être analysé) et le temps de déplacement de l'oeil pour atteindre la cible. Cette opération est impliquée dans le codage visuel en direction et en amplitude de la position de la cible. L'analyse de la variance ne révèle aucun effet du facteur population, un effet du facteur pression temporelle ($F(1,14)=6,92, p<.05$), et un effet du facteur incertitude ($F(1,14)=31,71, p<.001$). Il existe une interaction population*pression temporelle ($F(1,14)=4.71, p<.05$) (voir annexe statistique, tableau 5).

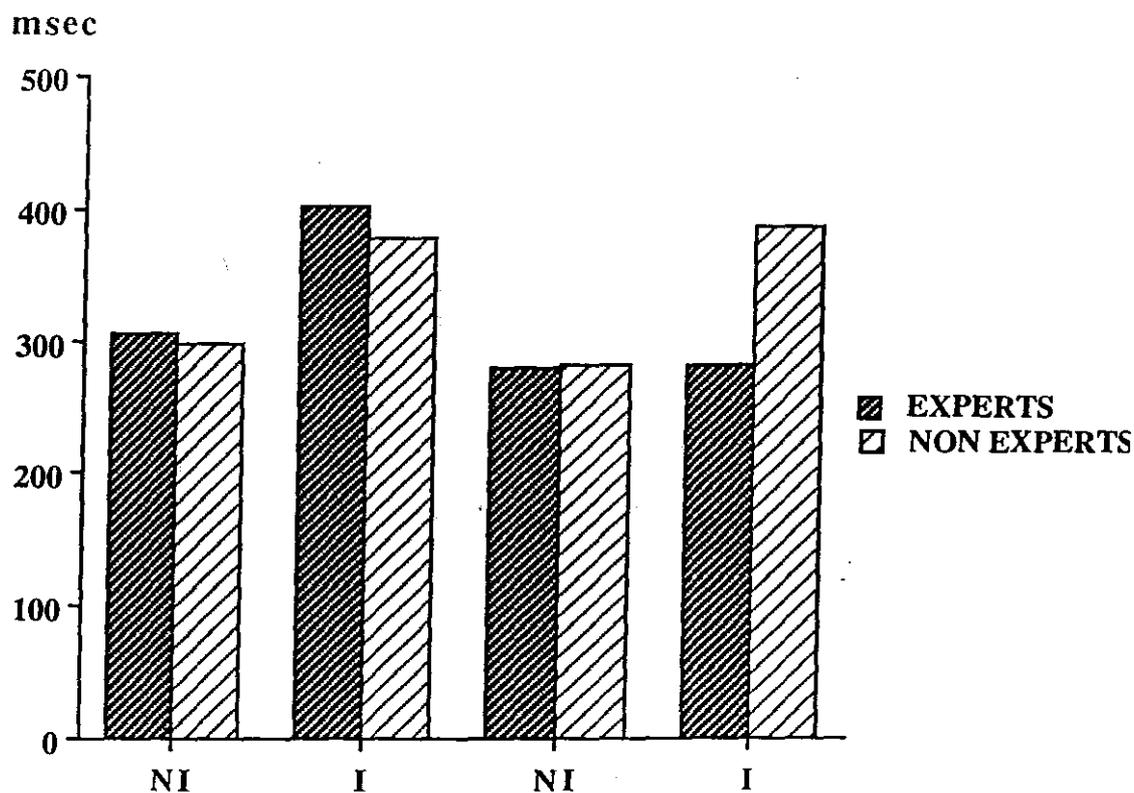


Figure 6. Délai de déplacement du regard en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale vs vitesse imposée), du niveau d'incertitude (sans incertitude vs incertitude maximale) et du niveau d'expertise (tireurs experts vs tireurs non experts)

	NP		P	
	NI	I	NI	I
EXP	305 (106)	401 (120)	279 (98)	341 (84)
NEXP	298 (84)	377 (96)	281 (63)	386 (83)
DIFF	+7	+24	-2	-45

Tableau 5. Délai de déplacement du regard, écart type et différences (msec) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale (NP) vs vitesse imposée (P) et du niveau d'incertitude (sans incertitude (NI) vs incertitude maximale (I) et du niveau d'expertise (tireurs experts (EXP) vs tireurs non experts (NEXP))

Interprétation

1) l'absence d'effet du niveau d'expertise sur le temps de réaction manuel révèle, comme précédemment (2.4) que la familiarité avec ce type de situation ne facilite pas, contrairement à ce qui pouvait être attendu, cette phase. La similitude des durées révèle qu'il s'agit vraisemblablement de limites de fonctionnement du système visuel qui semblent ne pouvoir être améliorées par un entraînement intensif.

2) de même que précédemment (2.4), la pression temporelle (diminuant le TR) et l'incertitude (augmentant le TR) révèlent des effets précoces et antagonistes. L'effet de l'incertitude peut être envisagé comme résultant de l'augmentation de la charge de travail, consécutive au codage visuel (localisation visuelle de la cible) et au codage directionnel et en amplitude de la position de la cible. Le dépouillement vidéo montrait l'existence, seulement en condition d'incertitude, d'un déplacement saccadique du regard comprenant très généralement deux saccades. Il est vraisemblable que la première saccade correspond au codage directionnel de la cible et que la deuxième saccade correspond au codage en amplitude de la position de la cible.

3) l'interaction population*pression temporelle révèle que les experts diminuent plus leur délai de déplacement du regard en condition de pression temporelle que les non experts. ce résultat tendrait à montrer que le codage visuel de la cible est mieux automatisé chez les experts que les non experts (figure 7).

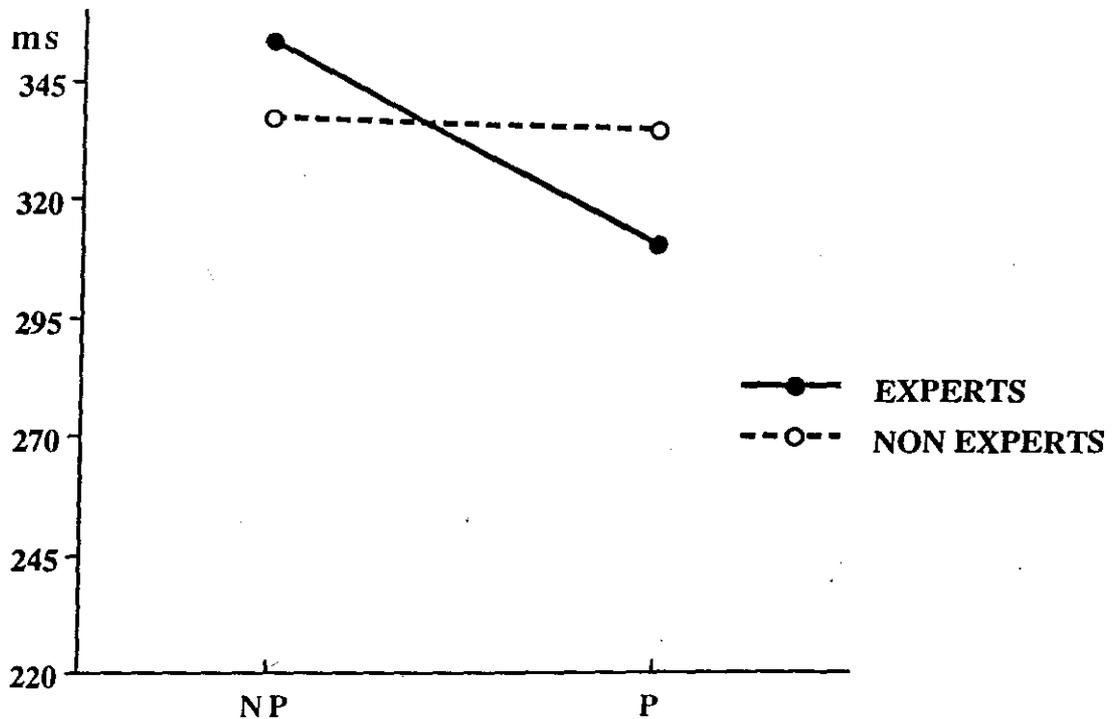


Figure 7. Interaction population*pression temporelle sur le délai de déplacement du regard (toutes conditions d'incertitude confondues)

2.6. Effets comparés des facteurs pression temporelle et incertitude sur les temps de réaction motrice (TR) et de déplacement du regard (TRd).

Ayant montré précédemment les effets des facteurs pression temporelle et incertitude sur les temps de réaction motrice (2.4) et d'ancrage visuel (2.5) en fonction des niveaux d'expertise, nous effectuons maintenant une analyse complémentaire séparée pour chacune des deux populations sur ces deux variables dépendantes.

2.6.1 Tireurs experts

L'analyse de la variance (Anova 3R2) révèle une différence de la durée des variables dépendantes (TRvs TRd), un effet du facteur pression temporelle ($F(1.14)=38.26$, $p<.001$), un effet du facteur incertitude ($F(1.14)=27.13$, $p<.001$), et une interaction pression temporelle*incertitude ($F(1.14)=7.70$, $p<.025$) (voir annexe statistique, tableau 6).

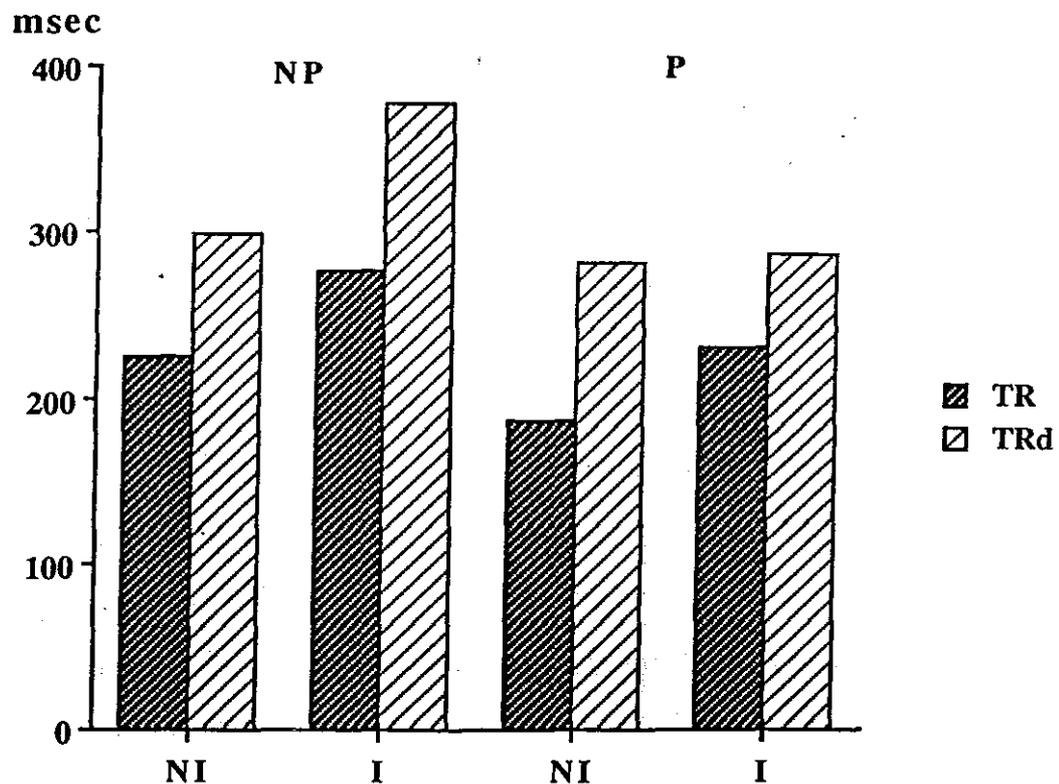


Figure 8 Délai du temps de réaction motrice (TR) et durée du déplacement du regard (TRd) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale vs vitesse imposée) et du niveau d'incertitude (sans incertitude vs incertitude maximale) chez les tireurs experts

	NP		P	
	NI	I	NI	I
TR	225	276	186	230
TRd	298	377	281	286
DIFF	-73	-101	-95	-56

Tableau 6. Délai du temps de réaction motrice et durée du déplacement du regard (msec) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale (NP) vs vitesse imposée (P) et du niveau d'incertitude (sans incertitude (NI) vs incertitude maximale (I) et du niveau d'expertise (tireurs experts (EXP) vs tireurs non experts (NEXP)

Interprétation

1) ces résultats indiquent un effet antagoniste des facteurs pression temporelle (diminuant la durée de ces deux opérations) et incertitude (augmentant la durée de ces deux opérations).

2) le déclenchement de la réponse motrice intervient avant que l'ancrage visuel n'ait été effectué. Ceci indique que le déclenchement de la réponse intervient vraisemblablement sur la base d'un repérage visuel de la cible effectué en vision périphérique. Les commandes visuelles et manuelles seraient alors effectuées en parallèle. L'arme serait déplacée vers la cible pendant que le codage visuel en amplitude de la cible intervient. Cette commande en parallèle durerait jusqu'au moment où le déplacement de l'arme serait assisté visuellement. Ce résultat confirme ceux obtenus par Martin et Prablanc (sous presse), et par Vercher, Prablanc, Magenes et Gauthier (sous presse) en faveur d'une commande en parallèle déclenchant des réponses oculaires et manuelles vers la cible et une reprise du contrôle de la main dans la phase finale du mouvement.

3) l'interaction pression temporelle*incertitude révèle que l'effet de l'incertitude est plus important en cas d'absence de pression temporelle que

dans le cas contraire. Ce résultat montre que les experts sont capables de limiter les effets de l'incertitude en cas de pression temporelle importante (figure 9).

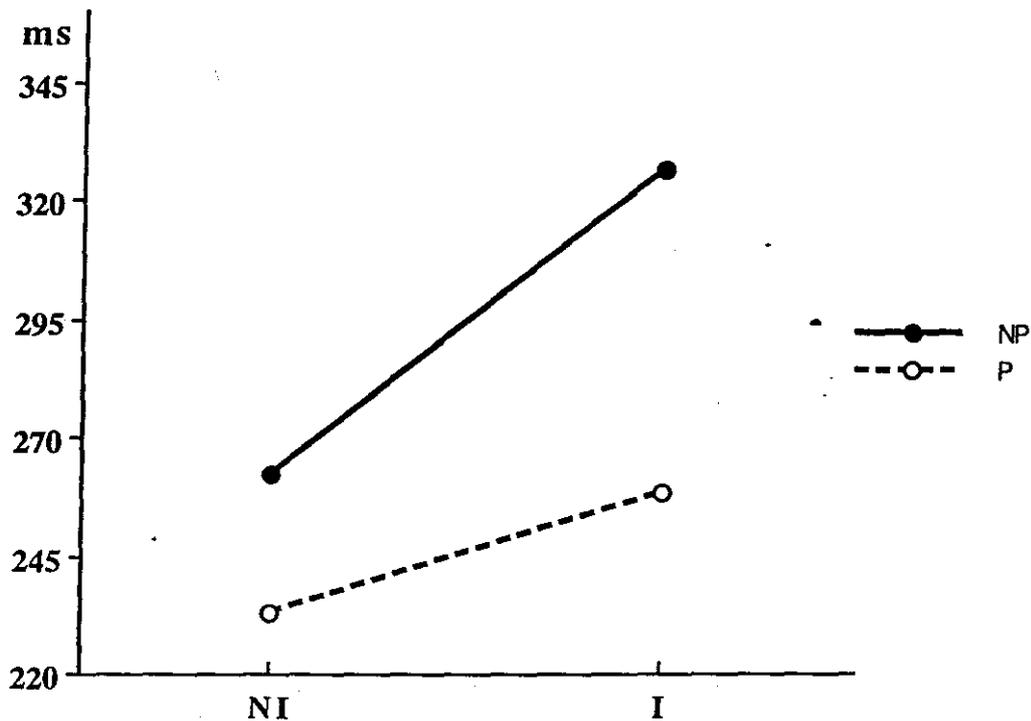


Figure 9. Interaction due aux effets de la pression temporelle (NP vs P) et à l'incertitude (NI vs I) sur les commandes manuelles et oculaires (confondues) chez les tireurs experts

2.6.2 Tireurs non experts

L'analyse de la variance (Anova 3R2) révèle une différence de la durée des variables dépendantes ($F(1,14)=12,98, p<.01$), un effet du facteur pression temporelle ($F(1,14)=5,63, p<.05$), un effet du facteur incertitude ($F(1,14)=26,11, p<.001$). Il n'existe pas d'interaction pression temporelle*incertitude (voir annexe statistique, tableau 7).

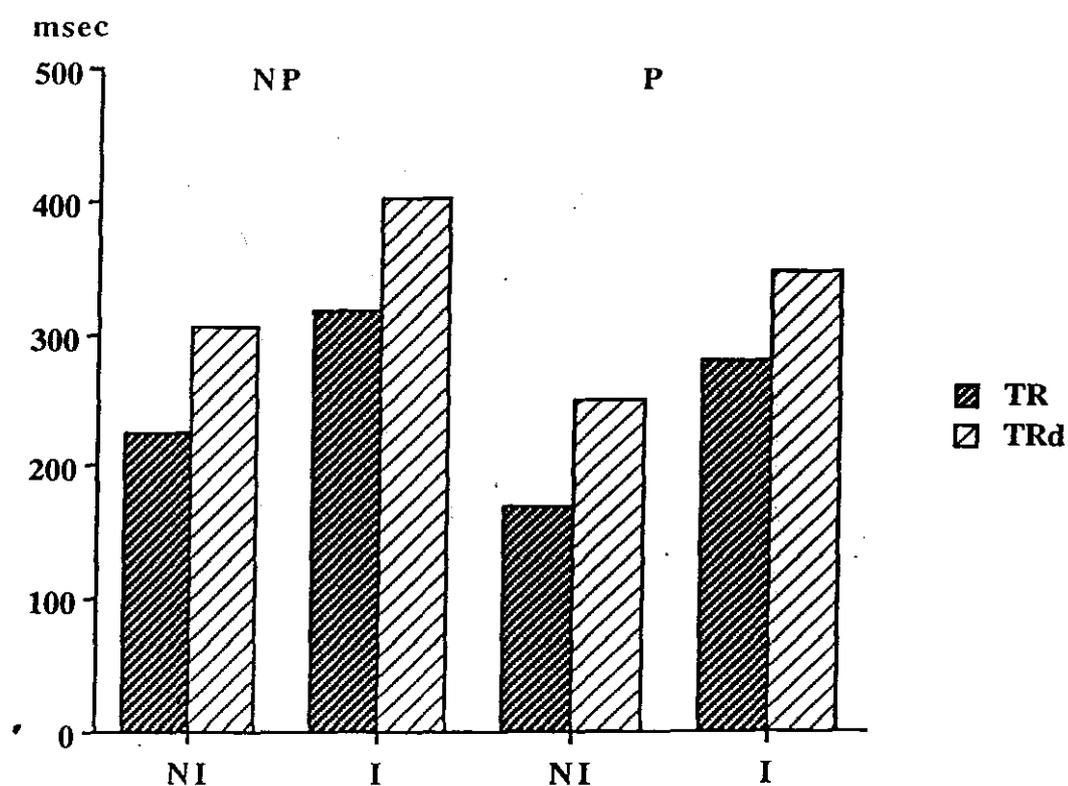


Figure 10. Délai du temps de réaction motrice (TR) et durée du déplacement du regard (TRd) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale vs vitesse imposée) et du niveau d'incertitude (sans incertitude vs incertitude maximale) chez les tireurs non experts

	NP		P	
	NI	I	NI	I
TR	225	318	168	250
TRd	305	401	279	345
DIFF	-80	-82	-111	-95

Tableau 7. Délai du temps de réaction motrice et durée du déplacement du regard en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale vs vitesse imposée) et du niveau d'incertitude (sans incertitude vs incertitude maximale) chez les tireurs non experts.

Interprétation

1) ces résultats sont indentiques à ceux obtenus chez les experts (2.6.1) excepté l'absence d'interaction pression temporelle*incertitude. Ce dernier résultat montre que les non experts ne sont pas capables de limiter les effets de l'incertitude dans la condition de pression temporelle.

2.7. Précision du tir

Une analyse de la variance (Anova3R2) révèle un effet population ($F(1.14)=29,00$, $p<001$), un effet pression temporelle ($F(1.14)=12,30$, $p<.01$) et une interaction population*pression temporelle ($F(1.14)=14,31$, $p<.001$). Il n'existe pas d'effet incertitude (voir annexe statistique, tableau 8).

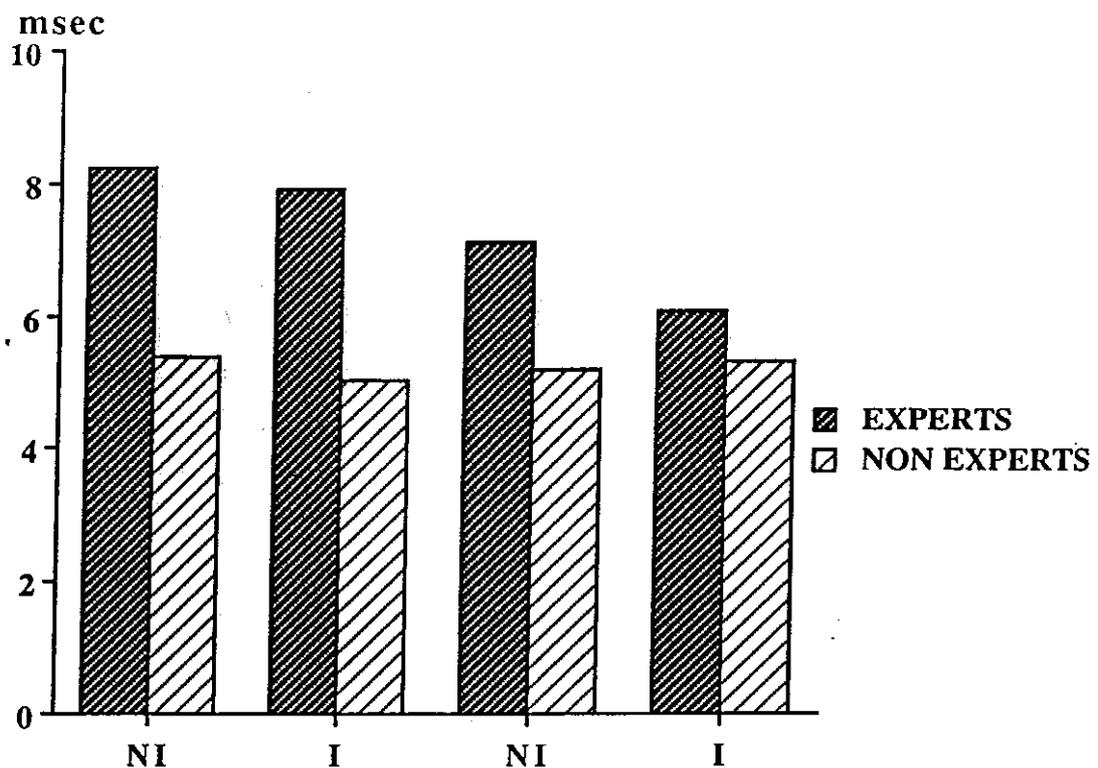


Figure 11. Précision moyenne des tirs (sur un total de 10 maximum) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale vs vitesse imposée), du niveau d'incertitude (sans incertitude vs incertitude maximale) et du niveau d'expertise (tireurs experts vs tireurs non experts).

	NP		P	
	NI	I	NI	I
EXP	8.25 (.62)	7.91 (.99)	7.11 (1.07)	6.07 (.84)
NEXEP	5.4 (.79)	5.02 (1.19)	5.18 (1.7)	5.32 (1.48)
diff	+ 2.85	+ 2.89	+ 1.93	- 56

Tableau 8. Précision moyenne des tirs (sur un total de 10 maximum) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale vs vitesse imposée), du niveau d'incertitude (sans incertitude vs incertitude maximale), et du niveau des tireurs.

Interprétation

1) les résultats montrent un niveau de précision plus élevé chez les tireurs experts. Une analyse complémentaire (t test) révèle que cette différence affecte toutes les conditions. Ce résultat, attendu ne sera pas discuté.

2) le fait que la précision soit affectée sous l'effet de la pression temporelle, alors que l'incertitude ne l'affecte pas, pourrait indiquer : a) que la performance est sous la dépendance directe des mécanismes tardifs d'exécution (dont nous avons précédemment vu qu'ils étaient particulièrement sensibles à la pression temporelle), alors que b) la charge de travail imposée sur les mécanismes précoces n'affecte pas la performance.

3) l'interaction population*pression temporelle, révèle un effet spécifique de ce facteur sur chaque population. Cet effet spécifique est illustrée par l'analyse complémentaire effectuée séparément pour chaque population.

2.7.1. Précision chez les tireurs experts

Une analyse de la variance (Anova 2R2) révèle un effet du facteur pression temporelle ($F(1,7)=32,28$, pour <001), aucun effet du facteur incertitude et l'absence d'interaction (voir annexe statistique, tableau 9).

2.7.2 Précision chez les tireurs non experts

L'analyse de la variance (Anova2R2) ne révèle aucun effet des facteurs pression temporelle, incertitude et aucun interaction (voir annexe statistique, tableau 10).

Interprétation

Les résultats obtenus par les experts sont conformes aux prédictions qui pouvaient être faites. Contrairement, les résultats obtenus par les non experts

ne le sont pas. Ce résultat pourrait signifier que les non experts n'ont pas, dans les conditions de vitesse optimale, adopté un rapport vitesse*précision proche de leur limite. Aussi, l'augmentation de la pression temporelle ne jouerait pas un effet aussi déstabilisateur que chez les experts. Ainsi, la pression temporelle tout en affectant significativement et temporellement les différents paramètres des commandes visuo-motrices n'affecterait pas la précision moyenne des tirs.

2.8. Tireurs de haut niveau

Rappelons que deux tireurs appartiennent à cette catégorie. Il s'agissait de deux tireurs de niveau international, en tir "pratique". Ces deux tireurs faisaient, à l'origine, partie de la population des tireurs experts. Cependant leurs performances et leurs comportements les différenciant nettement de cette population, ces deux tireurs ont été exclus de ce groupe et leurs résultats sont présentés indépendamment. Ne pouvant faire l'objet de traitement statistique, seuls leurs comportements sont représentés ci-dessous (figure 12).

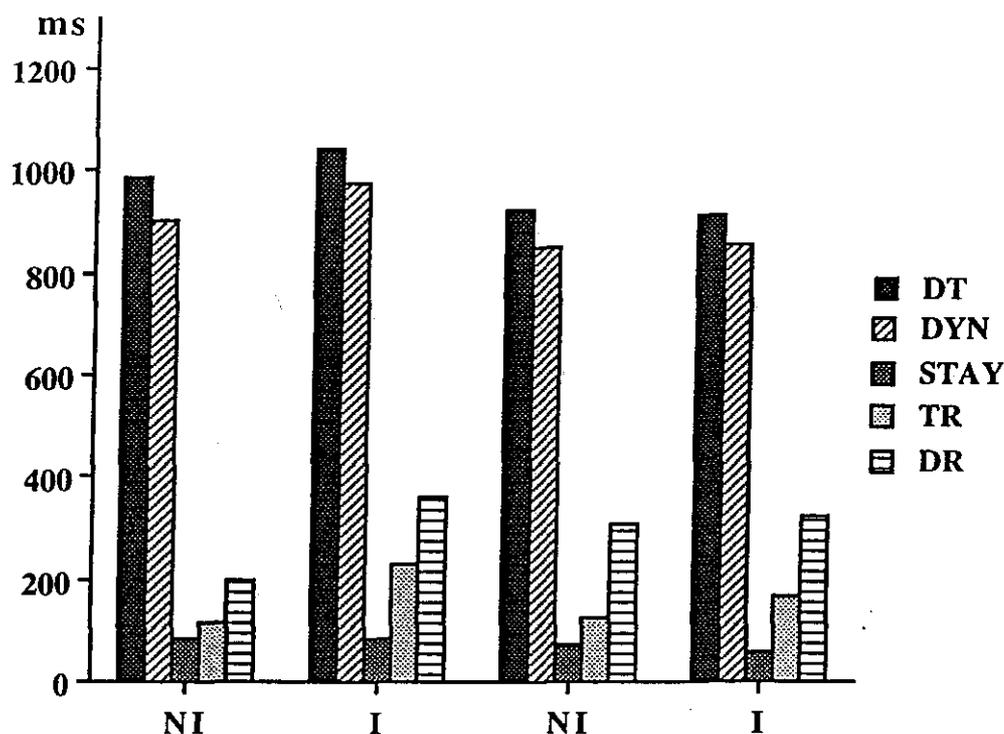


Figure 12. Durée du tir (DT), phase dynamique de déplacement de l'arme (DYN), phase statique de positionnement du bras-arme vers la cible (STA), déclenchement de la réponse manuelle (TR), et délai de déplacement du regard (DR) (msec) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale vs vitesse imposée), du niveau d'incertitude (sans incertitude vs incertitude maximale) Valeurs moyennes chez deux tireurs de haut niveau (international).

Commentaires

La comparaison de ces résultats avec ceux obtenus chez les autres tireurs, permet de faire les observations suivantes.

1) l'ensemble des paramètres est soumis à une diminution temporelle plus importante par rapport aux tireurs non experts et aux tireurs experts.

2) l'ensemble des paramètres semble cependant répondre aux principes de fonctionnement que nous avons décrits précédemment. Ils concernent notamment, une relative stabilité des mécanismes d'exécution (durée du tir,

phase dynamique et phase statique) qui sont indépendants de l'effet d'incertitude, alors que cet effet semble jouer sur les mécanismes plus précoces (temps de réaction manuel et délai de déplacement du regard).

3) la principale différence concerne l'absence d'effet du facteur pression temporelle sur la phase statique. En effet, cette phase atteint un seuil limite qui semble "incompressible" en condition de vitesse optimale (82msec et 81msec). La qualité du tireur semble bien ici être révélée par la qualité de cette phase terminale qui révélait, chez ces tireurs un tir "à la volée", c'est à dire dans le mouvement, et ne faisant pas appel à un contrôle positionnel statique proprement dit, contrairement aux autres tireurs et notamment les tireurs non experts.

4) la relation entre la diminution de la durée de la phase statique terminale et la performance (tableau 9) confirme l'hypothèse selon laquelle le mode de coordination oeil-arme-cible semble plus adapté que la coordination oeil-cible-arme utilisée par les autres tireurs.

	NP		P	
	NI	I	NI	I
HN	9.25	9.35	9.17	8.95

tableau 9. Performances de tir (sur un total de 10 maximum) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale vs vitesse imposée), du niveau d'incertitude (sans incertitude vs incertitude maximale) chez deux tireurs de haut niveau (international)

Conclusions générales

1) Nous avons décrit deux types de coordination. Il s'agit de la stratégie de coordination regard-arme-cible et de la stratégie regard-cible-arme. La stratégie regard-arme-cible fait vraisemblablement intervenir un rétro-contrôle visuel externe, utilisant la vision de la main par rapport à la cible, alors que la stratégie regard-cible-arme associe ce contrôle à un rétro-contrôle visuel interne, utilisant le sens de la position de l'oeil fourni par la

proprioception extra-oculaire. Cette dernière stratégie, dont nous avons précédemment montré qu'elle était très adaptée aux tirs de précision (Ripoll, 1986 ; Ripoll & Papin, 1985 ; Ripoll et al., 1985), nécessite un délai d'intervention minimum, pour que le contrôle positionnel intervienne. Ce délai semble incompatible avec des exigences de vitesse extrêmes telles que celles impliquées dans les tirs de vitesse qualifiés "d'instinctifs". Dans les conditions cumulant des impératifs contradictoires de vitesse et de précision, la stratégie de coordination regard-arme-cible semble mieux adaptée et associée au plus haut niveau de performance. Cette stratégie ne pourrait être adoptée qu'à un niveau relativement élevé d'expertise. Elle devrait pouvoir faire l'objet d'un enseignement spécifique et adapté.

2) le tir de vitesse qualifié "d'instinctif" implique différentes opérations qui concernent successivement : a) la détection de la cible en vision périphérique, b) le codage directionnel visuel de la cible également effectué en vision périphérique, c) le codage en amplitude de la cible fourni par le déplacement du regard sur la cible, d) le transport de l'arme vers la cible, e) le réglage terminal de la position de l'arme par rapport à la cible qui fait intervenir un rétro-contrôle visuel sollicitant la vision périphérique puis la vision centrale.

3) nous avons identifié des mécanismes sensori-moteurs précoces qui concernent le traitement visuel de l'information (détection, codage de la direction et de l'amplitude, et moteur -déclenchement du tir- et des mécanismes de contrôle visuo-moteur plus tardifs -contrôle positionnel et réglage terminal arme-cible ou cible-arme. Les commandes visuelles et motrices semblent être déclenchées en parallèle, dans les phases précoces, et contrôlées "en ligne" dans les phases tardives d'exécution. Cette analyse justifie de considérer que l'expertise entraîne une amélioration du contrôle visuo-moteur terminal.

4) l'incertitude affecte les phases précoces de traitement de l'information, alors que la pression temporelle affecte les phases plus tardives.

5) les athlètes experts, bien qu'utilisant des mécanismes identiques aux athlètes non experts, démontrent la capacité de réduire significativement l'ensemble des paramètres comportementaux. Ils sont les seuls à diminuer dans les conditions de contraintes extrêmes les paramètres précoces (2.5) impliqués dans le traitement de l'information et le déclenchement de la réponse.

Remarques terminales et prolongements de la recherche envisageables

L'analyse vidéo montrait des modifications comportementales importantes, concernant l'organisation spatiale du geste, en relation avec les conditions de pression temporelle et d'incertitude. Ceci est conforme avec l'hypothèse d'un déclenchement visuel et moteur effectué en parallèle, suivi par un contrôle visuel servo-assisté en fin de geste. Ces modifications apparaissent être spécifiques et en relation avec le niveau d'expertise des tireurs. Elles rendent compte des mécanismes de traitement de l'information, de programmation, de commande et de contrôle du geste. Cette analyse, qui n'a pu être effectuée dans notre recherche, mériterait d'être envisagée en utilisant, dans des conditions similaires à celles présentées ci-dessus, une technique vidéo bi-dimensionnelle ou tri-dimensionnelle d'analyse du mouvement. Un autre prolongement intéressant pourrait concerner la mise en oeuvre de procédures pédagogiques d'apprentissage de tir au pistolet en utilisant notamment une méthode de simulation permettant de fournir au tireur un retour d'information rapide sur différents paramètres du tir susceptibles d'être pris en compte dans l'exécution des tirs suivants. Cette connaissance des effets indirects du tir pourraient entraîner une facilitation de l'apprentissage.

Bibliographie

- Ingle, D.J., Goodale, M.A., & Mansfield, R.J.W. (1982). Analysis of visual Behavior. The MIT Press. Cambridge, Massachusetts. London, England.
- Jeannerod, M. (1990). The Neural and Behavioural Organization of Goal-Directed Movements. Oxford Psychology Series. Clarendon Press : Oxford.
- Martin, O., Prablanc, C. (sous presse). Optimisation du guidage bi-manuel des mouvements segmentaires par contrôle automatique des trajectoires motrices. In : Actes de la Recherche en STAPS V. M. Laurent & P. Therme (Eds.) Presse de l'Université d'Aix-Marseille II.
- Ripoll, H. (1986). The study of visuo-manual coordination in rapid fire pistol. In : Sport and Elite Performers. D. Landers (Ed.). Champaign : Illinois. Human Kinetics Publishers, Vol 3, 153-162.
- Ripoll, H., & Papin, J.P. (1985). Modalités de traitement des prises d'information visuelles dans l'exécution du tir au pistolet. Rapport D.G.R.S.T. Biologie et pathologie de l'exercice musculaire et du sport. N° 82J.0150.
- Ripoll, H., (1985). Papin, J.P., Guezennec, J.Y., Verdy, J.P. & Philip, M., Analysis of visual scanning patterns of pistol shooters : speed shooting in duelling pistol. Journal of Sport Sciences, 3, 93-103.
- Theios, J. (1975). The components of response latency in simple human information processing tasks. In P. Rabbitt and S. Dornic (Eds.), Attention and Performance V, (pp: 418-440). London: Academic Press.
- Vercher, J.L., Prablanc, C., Mages, G., & Gauthier, G.M. (1991). Coordination de l'oeil, de la tête, et de la main dans le pointage de cible fixe. In : Actes de la Recherche en STAPS V. M. Laurent & P. Therme (Eds.) Presse de l'Université d'Aix-Marseille II.

ANNEXES

I - RESULTATS STATISTIQUES

	SUM OF SQUARES	DEGREES FREEDOM	MEAN SQUARE	F-TEST RATIO
FACTOR A	2439072	1	2439072	51.22625
ERROR	666592	14	47613.72	
FACTOR B	1495728	1	1495728	102.882
A TIMES B	54528	1	54528	3.750649
ERROR	203536	14	14538.29	
FACTOR C	36688	1	36688	1.343855
A TIMES C	4400	1	4400	.1611688
ERROR	382208	14	27300.57	
B TIMES C	3264	1	3264	.3097278
A * B * C	1280	1	1280	.1214619
ERROR	147536	14	10538.29	

Tableau 1 - Durée totale du tir en fonction des sujets (Facteur A : Experts vs non experts), de la pression temporelle (Facteur B : pression vs sans pression), et de l'incertitude (Facteur C : incertitude vs sans incertitude) (ANOVA 3R2)

	SUM OF SQUARES	DEGREES FREEDOM	MEAN SQUARE	F-TEST RATIO
FACTOR A	339456	1	339456	7.880502
ERROR	603056	14	43075.43	
FACTOR B	266648	1	266648	32.35571
A TIMES B	18320	1	18320	2.222993
ERROR	115376	14	8241.143	
FACTOR C	6024	1	6024	1.225387
A TIMES C	9096	1	9096	1.850285
ERROR	68824	14	4916	
B TIMES C	9672	1	9672	6.803055
A * B * C	120	1	120	8.440514E-02
ERROR	19904	14	1421.714	

Tableau 2 - Durée de la phase dynamique de déplacement du bras-arme en fonction des sujets (Facteur A : Experts vs non experts), de la pression temporelle (Facteur B : pression vs sans pression), et de l'incertitude (Facteur C : incertitude vs sans incertitude) (ANOVA 3R2)

	SUM OF SQUARES	DEGREES FREEDOM	MEAN SQUARE	F-TEST RATIO
FACTOR A	857013	1	857013	21.11728
ERROR	568169	14	40583.5	
FACTOR B	541696	1	541696	63.82226
A TIMES B	24414	1	24414	2.876441
ERROR	118826	14	8487.571	
FACTOR C	7182	1	7182	.9973912
A TIMES C	1225	1	1225	.1701203
ERROR	100811	14	7200.786	
B TIMES C	2186	1	2186	.3854894
A * B * C	36	1	36	6.348407E-03
ERROR	79390	14	5670.715	

Tableau 3 - Durée de la phase statique de positionnement du bras-arme en fonction des sujets (Facteur A : Experts vs non experts), de la pression temporelle (Facteur B : pression vs sans pression), et de l'incertitude (Facteur C : incertitude vs sans incertitude) (ANOVA 3R2)

	SUM OF SQUARES	DEGREES FREEDOM	MEAN SQUARE	F-TEST RATIO
FACTOR A	10.5	1	10.5	1.301409E-03
ERROR	112954.5	14	8068.179	
FACTOR B	63504	1	63504	32.70302
A TIMES B	6480.25	1	6480.25	3.337171
ERROR	27185.75	14	1941.839	
FACTOR C	52785	1	52785	21.5278
A TIMES C	1701.75	1	1701.75	.6940405
ERROR	34327.25	14	2451.947	
B TIMES C	3422.25	1	3422.25	2.222575
A * B * C	2025	1	2025	1.315133
ERROR	21556.75	14	1539.768	

tableau 4 - Temps de réaction manuel en fonction des sujets (Facteur A : Experts vs non experts), de la pression temporelle (Facteur B : pression vs sans pression), et de l'incertitude (Facteur C : incertitude vs sans incertitude) (ANOVA 3R2)

	SUM OF SQUARES	DEGREES FREEDOM	MEAN SQUARE	F-TEST RATIO
FACTOR A	256	1	256	7.679616E-03
ERROR	466690	14	33335	
FACTOR B	8930	1	8930	6.915971
A TIMES B	6084	1	6084	4.711844
ERROR	18077	14	1291.214	
FACTOR C	116964	1	116964	31.71045
A TIMES C	650	1	650	.1762234
ERROR	51639	14	3688.5	
B TIMES C	56.5	1	56.5	4.260706E-02
A * B * C	3660.5	1	35660.5	2.760409
ERROR	18565	14	1326.071	

tableau 5 - Délai de déplacement du regard en fonction des sujets (Facteur A : Experts vs non experts), de la pression temporelle (Facteur B : pression vs sans pression), et de l'incertitude (Facteur C : incertitude vs sans incertitude) (ANOVA 3R2)

	SUM OF SQUARES	DEGREES FREEDOM	MEAN SQUARE	F-TEST RATIO
FACTOR A	164430.5	1	164430.5	5.976815
ERROR	385159.5	14	27511.39	
FACTOR B	63759.5	1	63756.5	38.26101
A TIMES B	6399.5	1	6399.5	3.840413
ERROR	23329	14	1666.357	
FACTOR C	86289	1	86289	27.13095
A TIMES C	517.5	1	517.5	.1627121
ERROR	44526.5	14	3180.464	
B TIMES C	7353	1	7353	7.69516
A * B * C	315.5	1	315.5	.3301813
ERROR	13377.5	14	955.5357	

tableau 6 - Délai du temps de réaction motrice et durée du déplacement du regard (Facteur A) chez des tireurs experts en fonction de la pression temporelle (Facteur B : pression vs sans pression), et de l'incertitude (Facteur C : incertitude vs sans incertitude) (ANOVA 3R2)

	SUM OF SQUARES	DEGREES FREEDOM	MEAN SQUARE	F-TEST RATIO
FACTOR A	180412.5	1	180412.5	12.98699
ERROR	194485	14	13891.79	
FACTOR B	8836	1	8836	5.639829
A TIMES B	6006	1	6006	3.833501
ERROR	21934	14	1566.714	
FACTOR C	77284	1	77284	26.10946
A TIMES C	8010	1	8010	2.706081
ERROR	41440	14	2960	
B TIMES C	390	1	390	.204158
A * B * C	1106	1	1106	.578971
ERROR	26744	14	1910.285	

Tableau 7 - Délai du temps de réaction motrice et durée du déplacement du regard (Facteur B) chez des tuteurs non experts en fonction de la pression temporelle (Facteur B : pression vs sans pression), et de l'incertitude (Facteur C : incertitude vs sans incertitude) (ANOVA 3R2)

	SUM OF SQUARES	DEGREES FREEDOM	MEAN SQUARE	F-TEST RATIO
FACTOR A	71.1919	1	711.1919	29.00482
ERROR	34.36279	14	2.454485	
FACTOR B	8.197068	1	8.195068	12.30333
A TIMES B	9.532227	1	9.532227	14.31082
ERROR	9.325196	14	.660854	
FACTOR C	2.521485	1	2.521485	1.615553
A TIMES C	1.35083	1	1.35083	.8654972
ERROR	21.85059	14	1.560756	
B TIMES C	4.394531E-02	1	14.394532E-02	1.253864
A * B * C	1.4104	1	1.4104	
ERROR	15.7478	14	1.124843	

tableau 8 - Précision des tir en fonction de la pression temporelle (Facteur B : pression vs sans pression), et de l'incertitude (Facteur C : incertitude vs sans incertitude) (ANOVA 3R2)

	SUM OF SQUARES	DEGREES FREEDOM	MEAN SQUARE	F-TEST RATIO
FACTOR A	17.70178	1	17.70178	32.28353
ERROR	3.838257	7	.5483224	
FACTOR B	3.78186	1	3.78186	3.377465
ERROR	7.838135	7	1.119734	
A TIMES B	.9793701	1	.9793701	1.446181
ERROR	4.740479	7	.6772113	

Tableau 9 - Précision des tirs chez les tireurs experts en fonction de la pression temporelle (Facteur A), et de l'incertitude (Facteur B) (ANOVA 2R2)

	SUM OF SQUARES	DEGREES FREEDOM	MEAN SQUARE	F-TEST RATIO
FACTOR A	.0255127	1	.0255127	.032548
ERROR	5.486939	7	.7838484	
FACTOR B	.0904541	1	.0904541	4.518805E-02
ERROR	14.01209	7	2.001726	
A TIMES B	.4752198	1	.4752198	.302213
ERROR	11.007726	7	1.572466	

Tableau 10 - Précision des tirs chez les tireurs non experts en fonction de la pression temporelle (facteur A) et de l'incertitude (Facture B) (ANOVA 2R2)

II - 1. RESULTATS INDIVIDUELS DES TIREURS EXPERTS

tableau 11

	Sans Pression Temporelle		Pression Temporelle	
	sans Incertitude	Incertitude	sans Incertitude	Incertitude
Sujets				
JO	1397	1465	1192	1251
CR	1290	1398	994	1043
SC	1260	1071	1030	947
SA	1387	1376	1025	1133
HU	1286	1918	928	1082
ED	1651	1538	1197	1183
ES	1724	1518	1123	1247
SN	1489	1417	1049	1045
moyenne (msec)	143 7	1462	1067	1104
écart type (msec)	(161)	(218.9)	(89.2)	(103.5)

Durée totale du tir et écart type (msec) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale (NP) vs vitesse imposée (P), du niveau d'incertitude (sans incertitude (NI) vs incertitude maximale (I) chez des tireurs experts.

tableau 12

	Sans Pression Temporelle		Pression Temporelle	
	sans Incertitude	Incertitude	sans Incertitude	Incertitude
Sujets.				
JO	1300	1284	1127	1137
CR	919	987	805	871
SC	1010	925	893	835
SA	929	924	841	833
HU	1375	1279	820	942
ED	1173	1144	1039	1028
ES	1041	1070	911	951
SN	1150	1080	939	961
moyenne (msec)	1112	1080	922	945
ecart type (msec)	(156,5)	(135,1)	(111,9)	(96,3)

Durée de la phase dynamique de déplacement du bras-arme et écart type (msec) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale (NP) vs vitesse imposée (P) et du niveau d'incertitude (sans incertitude (NI) vs incertitude maximale (I) chez des tireurs experts .

tableau 13

	Sans Pression Temporelle		Pression Temporelle	
	sans Incertitude	Incertitude	sans Incertitude	Incertitude
Sujets.				
JO	97	182	65	113
CR	370	412	189	172
SC	249	146	138	112
SA	457	442	184	300
HU	324	639	108	139
ED	683	499	213	296
ES	537	393	158	155
SN	339	337	111	87
	(167.5)	381 (150.9)	146 (49.6)	171 (77.4)

Durée de la phase statique de déplacement du bras-arme et écart type (msec) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale (NP) vs vitesse imposée (P) et du niveau d'incertitude (sans incertitude (NI) vs incertitude maximale (I) chez des tireurs experts.

tableau 14

	Sans Pression Temporelle		Pression Temporelle	
	sans Incertitude	Incertitude	sans Incertitude	Incertitude
Sujets.				
JO	223	331	156	280
CR	200	281	140	162
SC	183	196	117	105
SA	196	257	126	156
HU	327	492	188	279
ED	282	349	165	256
ES	133	286	168	190
SN	255	356	281	248
moyenne (msec)	225	318.5	168	210
Ecart type (msec)	(57.3)	(82.04)	(48)	(61.1)

Temps de réaction manuel et écart type (msec) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale (NP) vs vitesse imposée (P) et du niveau d'incertitude (sans incertitude (NI) vs incertitude maximale) chez des tireurs experts.

tableau 15

	Sans Pression Temporelle		Pression Temporelle	
	sans Incertitude	Incertitude	sans Incertitude	Incertitude
Sujets.				
JO	557	578	509	493
CR	230	333	222	304
SC	225	228	148	218
SA	265	466	278	382
HU	327	552	273	383
ED	315	447	277	402
ES	327	300	267	275
SN	194	305	190	271
moyenne (msec)	305	401	279	341
Ecart type (msec)	(106,4)	(119,6)	(98,09)	(83,7)

Délai de déplacement du regard et écart type (msec) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale (NP) vs vitesse imposée (P) et du niveau d'incertitude (sans incertitude (NI) vs incertitude maximale (I) chez des tireurs experts.

tableau 16

	Sans Pression Temporelle		Pression Temporelle	
	sans Incertitude	Incertitude	sans Incertitude	Incertitude
Sujets.				
JO	8,3	8,1	5,2	6,7
CR	8,4	9,3	6,2	6,8
SC	8,3	6,3	7,8	4,6
SA	7,1	8,2	8,2	5,2
HU	7,5	6,4	7,1	6,1
ED	8,4	8,3	6,8	5,9
ES	8,9	8,0	6,9	6,0
SN	9,1	8,7	8,8	7,4
	(.62)	7,91 (.99)	7,11 (1,07)	6,07 (.84)

Précision moyenne des tirs (sur 10 maximum) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale vs vitesse imposée), du niveau d'incertitude (sans incertitude vs incertitude maximale), chez des tireurs experts.

II - 2. RESULTATS INDIVIDUELS DES TIREURS NON EXPERTS

tableau 17

	Sans Pression Temporelle		Pression Temporelle	
	sans Incertitude	Incertitude	sans Incertitude	Incertitude
Sujets.				
BA	1809	1725	1495	1710
ZA	1773	2037	1337	1524
PA	1932	1949	1683	1723
QU	1781	1676	1480	1450
MA	1940	1732	1565	1490
MAV	1779	1885	1632	1729
FO	1333	1844	1253	1484
PR	1742	1571	1479	1516
<hr/>				
moyenne (msec)	1761	1802	1490	1578
écart type (msec)	(176)	(143)	(133)	(112)

Durée totale du tir et écart type (msec) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale (NP) vs vitesse imposée (P), du niveau d'incertitude (sans incertitude (NI) vs incertitude maximale (I) chez des tireurs non experts.

tableau 18

	Sans Pression Temporelle		Pression Temporelle	
	sans Incertitude	Incertitude	sans Incertitude	Incertitude
Sujets.				
BA	1155	1153	1074	1174
ZA	1091	1241	915	1033
PA	1436	1376	1278	1283 R
QU	1315	1204	1137	1145 R
MA	1248	1247	1140	1181 R
MAV	1128	1109	1052	1096
FO	1025	1300	1013	1179
PR	1181	1120	1033	1072
<hr/>				
moyenne (msec)	1197	1219	1080	1145
écart type (msec)	(123,1)	(85,8)	(100,5)	(72,98)

Durée de la phase dynamique de déplacement du bras-arme et écart type (msec) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale (NP) vs vitesse imposée (P) et du niveau d'incertitude (sans incertitude (NI) vs incertitude maximale (I) chez des tireurs non experts.

tableau 19

Sans Pression Temporelle		Pression Temporelle		
sans Incertitude	Incertitude	sans Incertitude	Incertitude	
Sujets .				
BA	655	572	421	536
ZA	683	796	423	502
PA	496	581	407	456
QU	467	471	348	316
MA	692	485	425	401
MAV	651	776	580	633
FO	308	544	240	305
PR	561	451	428	444
<hr/>				
moyenne (msec)	564	584	409	449
écart type (msec)	(125,5)	(123,5)	(11,4)	(103,1)

Durée de la phase statique de déplacement du bras-arme et écart type (msec) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale (NP) vs vitesse imposée (P) et du niveau d'incertitude (sans incertitude (NI) vs incertitude maximale (I) chez des tireurs non experts .

tableau 20

Sans Pression Temporelle		Pression Temporelle		
sans Incertitude	Incertitude	sans Incertitude	Incertitude	
Sujets.				
BA	227	214	192	244
ZA	168	436	140	193
PA	325	303	233	279
QU	275	221	200	200
MA	207	275	167	214
MAV	229	251	215	257
FO	181	279	181	232
PR	192	229	160	219
<hr/>				
moyenne (msec)	225.5	276	186	230
écart type (msec)	(49)	(67)	(28)	(27.3)

Temps de réaction manuel et écart type (msec) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale (NP) vs vitesse imposée (P) et du niveau d'incertitude (sans incertitude (NI) vs incertitude maximale (I) chez des tireurs non experts.

tableau 21

	Sans Pression Temporelle		Pression Temporelle	
	sans Incertitude	Incertitude	sans Incertitude	Incertitude
Sujets.				
BA	398	397	353	491
ZA	188	197	177	207
PA	430	480	380	448
QU	376	490	304	418
MA	253	381	300	330
MAV	263	252	218	354
FO	220	405	252	433
PR	258	413	263	407
moyenne (msec)	298	377	281	386
écart type (msec)	(84)	(96)	(63)	(82,7)

Délai de déplacement du regard et écart type (msec) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale (NP) vs vitesse imposée (P) et du niveau d'incertitude (sans incertitude (NI) vs incertitude maximale (I) chez des tireurs non experts.

tableau 22

	Sans Pression Temporelle		Pression Temporelle	
	sans Incertitude	Incertitude	sans Incertitude	Incertitude
Sujets.				
BA	5,8	4,74	4,83	5,17
ZA	8,8	8,38	6,63	8,2
PA	5,4	2,51	3,44	1,64
QU	4,6	4,9	5,3	5,8
MA	4,8	6,5	7,2	5,8
MAV	5,5	5,5	2,5	6,6*
FO	4,9	4,6	4,3	6,4
moyenne (msec)	5.4	5,025	5,18	5,32
écart type (msec)	(.79)	(1.19)	(1.7)	(1.48)

Précision moyenne des tirs (sur un score de 10 maximum) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale vs vitesse imposée), du niveau d'incertitude (sans incertitude vs incertitude maximale), chez des tireurs non experts.

II - 3. RESULTATS INDIVIDUELS DES TIREURS DE HAUT NIVEAU

tableau 23

	Sans Pression Temporelle		Pression Temporelle	
	sans Incertitude	Incertitude	sans Incertitude	Incertitude
Sujets.				
RO	1072	1113	927	908
VO	900	980	920	923
moyenne (msec)	986	1046	923	915

Durée totale du tir et écart type (msec) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale (NP) vs vitesse imposée (P), du niveau d'incertitude (sans incertitude (NI) vs incertitude maximale (I) chez des tireurs de haut niveau.

tableau 24

	Sans Pression Temporelle		Pression Temporelle	
	sans Incertitude	Incertitude	sans Incertitude	Incertitude
Sujets.				
RO	1008	1025	907	876
VO	800	926	793	838
moyenne (msec)	904	975	850	857

Durée de la phase dynamique de déplacement du bras-arme et écart type (msec) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale (NP) vs vitesse imposée (P) et du niveau d'incertitude (sans incertitude (NI) vs incertitude maximale (I) chez des tireurs de haut niveau.

tableau 25

	Sans Pression Temporelle		Pression Temporelle	
	sans Incertitude	Incertitude	sans Incertitude	Incertitude
Sujets.				
RO	64	88	20	32
VO	100	74	126	84
<hr/>				
moyenne (msec)	82	81	73	58

Durée de la phase statique de déplacement du bras-arme et écart type (msec) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale (NP) vs vitesse imposée (P) et du niveau d'incertitude (sans incertitude (NI) vs incertitude maximale (I) chez des tireurs de haut niveau.

tableau 26

	Sans Pression Temporelle		Pression Temporelle	
	sans Incertitude	Incertitude	sans Incertitude	Incertitude
Sujets.				
RO	183	260	173	215
VO	44	220	75	123
<hr/>				
moyenne (msec)	113	230	124	169

Temps de réaction manuel et écart type (msec) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale (NP) vs vitesse imposée (P) et du niveau d'incertitude (sans incertitude (NI) vs incertitude maximale (I) chez des tireurs non experts.

tableau 27

r	Sans Pression Temporelle		Pression Temporelle	
	sans Incertitude	Incertitude	sans Incertitude	Incertitude
Sujets.				
RO	170	318	280	313
VO	222	404	133	333
moyenne (msec)	196	361	206	323

Délai de déplacement du regard et écart type (msec) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale (NP) vs vitesse imposée (P) et du niveau d'incertitude (sans incertitude (NI) vs incertitude maximale (I) chez des tireurs de haut niveau.

tableau 28

	Sans Pression Temporelle		Pression Temporelle	
	sans Incertitude	Incertitude	sans Incertitude	Incertitude
Sujets.				
RO	9,35	9,5	8,95	8,8
VO	9,15	9,2	9,39	9,1
moyenne/10	9,25	9,35	9,17	8,9

Précision moyenne des tirs (sur un total de 10 maximum) en fonction de la pression temporelle (vitesse optimale vs vitesse imposée), du niveau d'incertitude (sans incertitude vs incertitude maximale), chez des tireurs de haut niveau .