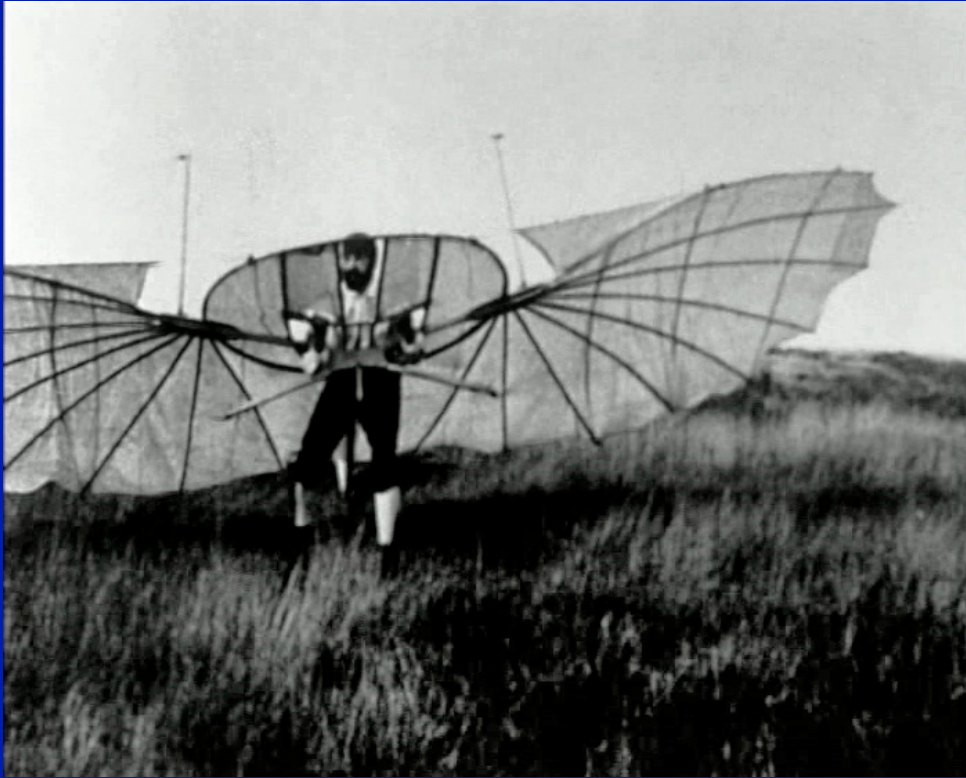


**Enregistrement de l' électrocardiogramme
par la méthode de Holter
chez 8 parapentistes de haut niveau**

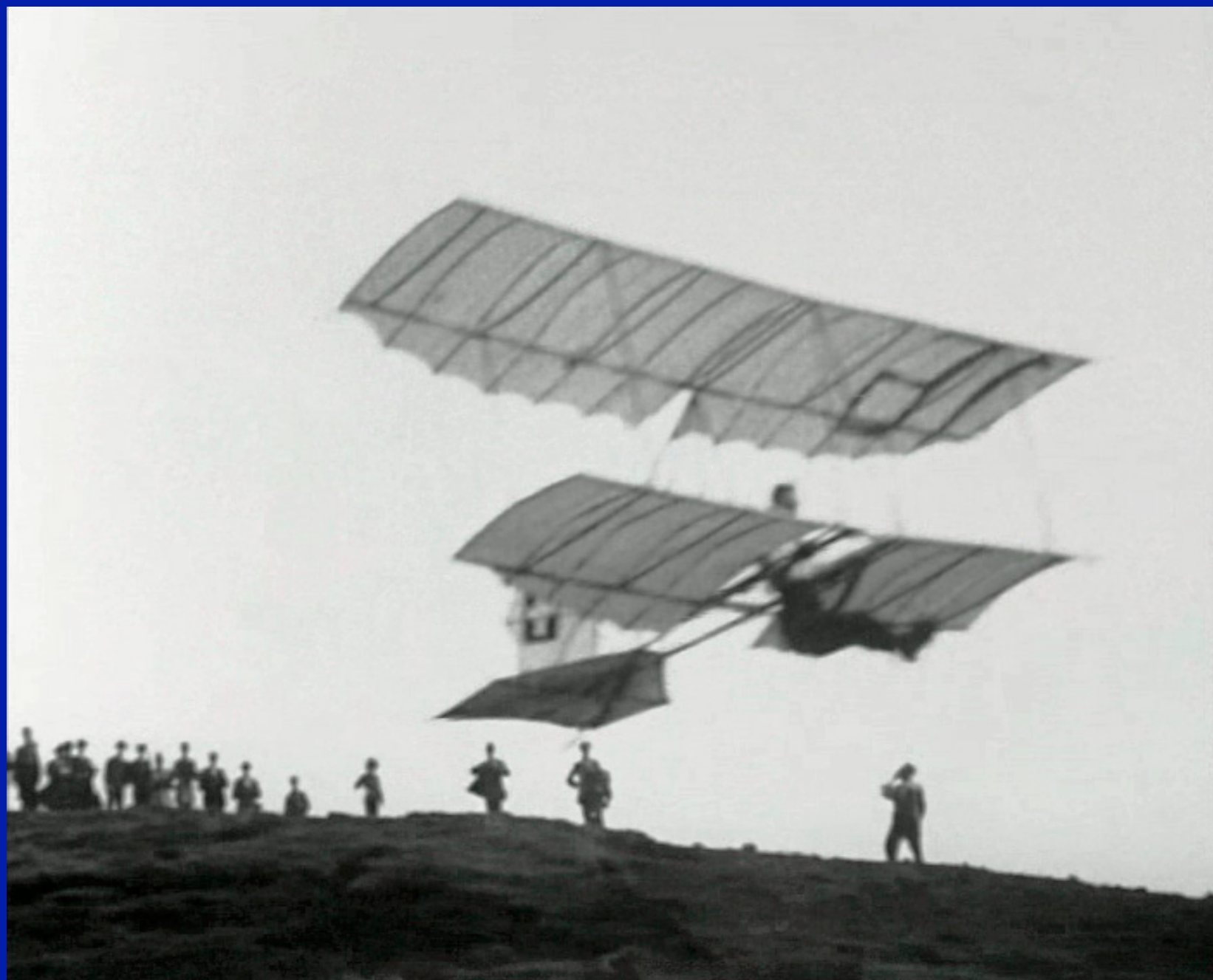
Thèse médecine LILLE 1995

Pdt de Thèse : Pr. Y. HOUDAS



« Nous devons voler et tomber, voler et tomber, jusqu'à ce que nous puissions voler sans tomber ».

Otto LILIENTHAL (1848 – 1896)

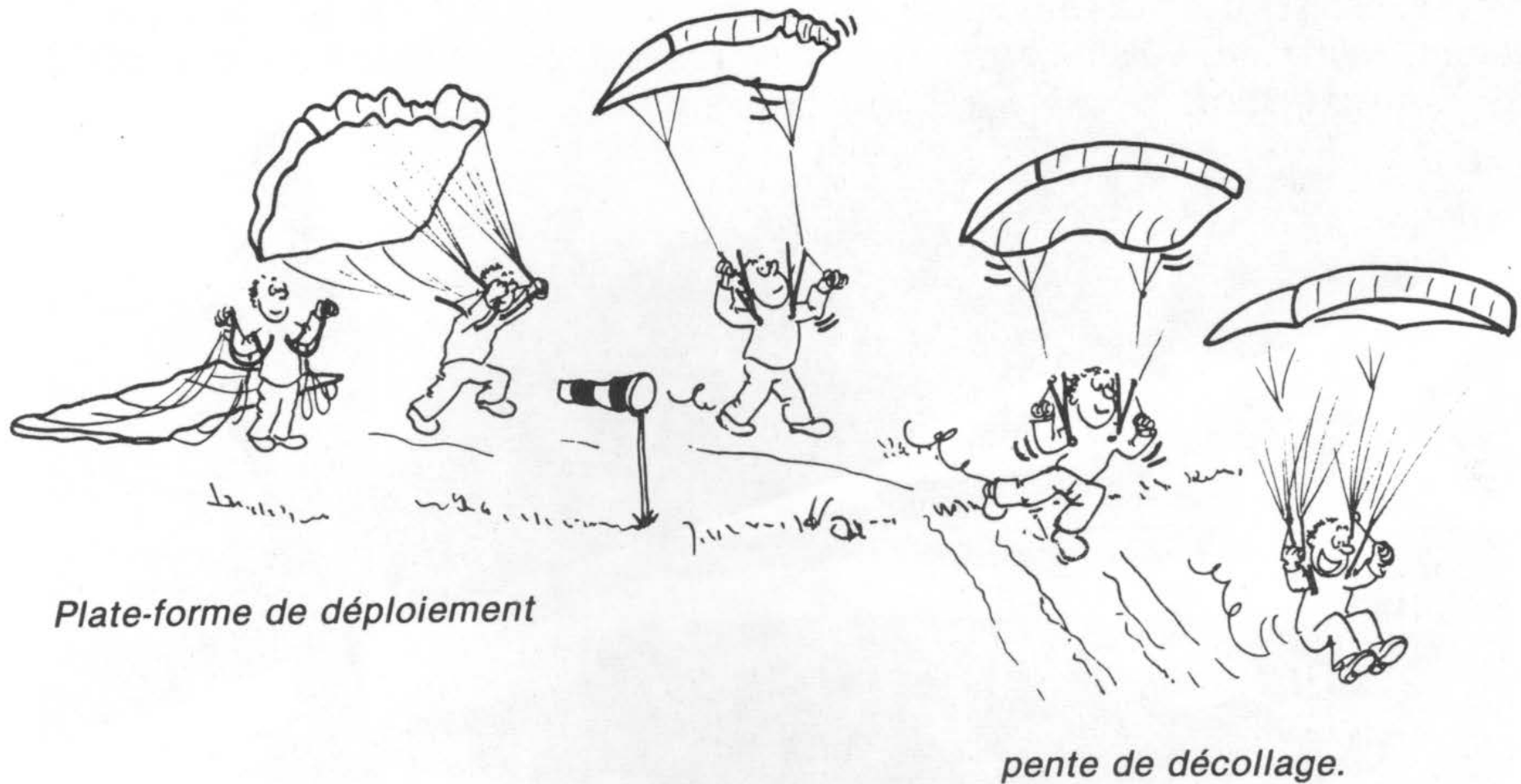


I - LE MATÉRIEL

- Un parapente c'est :
 - 100 m² de tissu (des nylons ou polyamides et aujourd'hui des tergals ou polyesters) raidit par enduction (résine silicone-polyuréthane) ;
 - 500 m de fil à coudre ;
 - 250 m de suspentes exemptes d'élasticité (kevlar, dyneema) ;
 - et quelques mètres de sangles pour l'attache de la sellette.

Soit 4 à 6 Kg de polymères synthétiques tenant dans un sac à dos.

- S'y ajoute une sellette pour l'assise du pilote.



Pour décoller, le parapentiste ne "saute" pas dans le "vide".
Il gonfle sa voile face au vent, court dans la pente et décolle en quelques pas.

II - Les contraintes de l'organisme liées à l'exercice du parapente

1°) L'environnement physique des vols

– L'altitude

- Altitude des décollages des sites de vol courants en montagne : entre 500 et 1500 m.
- Ascendances thermiques (sous nos latitudes) :
 - Vitesses ascensionnelles = 1 à 6 m/s.
 - Ampleur des ascendances = quelques mètres à 1000-2000 m.
- La plupart des vols se font ainsi généralement entre 500 et 2000/2500 m, gains compris.
 - L'exposition aiguë à un niveau compris entre 2000 et 2500/3000 m ne se ressent qu'à l'effort.
 - La fréquence cardiaque s'accélère au repos dès l'exposition à une altitude seuil variable selon les sujets avec un minimum de 1500 m. Elle est d'autant plus franche que l'élévation est rapide et l'altitude atteinte plus élevée (17,21,54). RICHLET et coll. (55) montrent qu'un abaissement de 1% de la SaO₂ s'accompagne au repos comme à l'effort d'une élévation de la FC de 1 bpm.
 - La consommation de tabac détermine chez l'individu une altitude apparente supérieure à l'altitude réelle par le biais d'un taux de carboxyhémoglobine accru (6).

– Le froid

■ Les parapentistes ont trois raisons de se refroidir en vol :

- La température liée aux saisons est toujours inférieure en vol à celle du corps. Les gains d'altitude expose de surcroît les sujets à une baisse de la température de $0,6^{\circ}/100$ m gagné.
- Le caractère très modeste de l'activité musculaire mise en jeu.
- Le déplacement permanent du parapentiste majore sa déperdition thermique par convection forcée (intérêt d'un coupe-vent +++).

■ Les facteurs agissant sur la susceptibilité de l'organisme au froid :

- Le port de vêtements détrempés (marche d'approche).
- La déshydratation (marche, randonnée, paralpinisme).
- L'hypoxie hypobarique accroît la sensibilité de l'organisme au froid.
- Toute gêne au retour veineux (sangles mal réglées d'un harnais heureusement devenu rare avec l'adoption des sellettes).
- Le tabac accroît la sensibilité des vaisseaux aux catécholamines tout en ayant un effet vasoconstricteur direct.

- LEBLANC (41) a trouvé que l'exposition au froid de la face seule produit une diminution de la FC proportionnelle à la température cutanée par une réaction vagale prédominante et, à l'inverse, qu'une exposition au froid d'une main produit une augmentation de la FC de 5 bpm d'origine adrénergique. Dans les deux cas se produit une élévation des PAS et PAD.

- D'autres études montrent :
 - que l'exposition cutanée localisée (main, visage) au froid provoque dans les 30 à 60" une élévation de la FC avec toujours une VC qui se généralise faisant augmenter les résistances périphériques totales. Ainsi, les effets du froid en parapente simplement localisé sur les mains ou le visage peuvent solliciter le système cardio-vasculaire de manière non négligeable.
 - qu'une exposition cutanée au froid augment chez le sujet sain le débit coronaire suite à une augmentation des résistances périphériques qui élèvent la post-charge du VG et donc l'activité du myocarde.
 - que des artères coronaires sièges de lésions importantes se mettent par contre souvent en VC par une hypersensibilité anormale des segments lésés à la réponse sympathique induite par le stimulus froid.

2°) Le stress

- La réaction de stress est une réponse physiologique normale de l'organisme qui cherche à conserver son état initial ou à trouver un nouvel équilibre par adaptation.
- Le vol est chez l'homme l'exemple type d'une situation antiphiysiologique à laquelle il devra s'adapter physiquement et psychiquement ou échapper.
- Comme personne n'est obligé de voler dans le cadre d'un loisir sportif, il ne reste que ceux qui surmontent sans difficulté cet état d'exception grâce à des réactions non spécifiques mettant en jeu dans une synergie d'action sous la coordination du SNC, l'axe catécholaminergique (CANNON) et l'axe hypothalamo-hypophyso-surrénalien (SELYE).
- A cette réaction adaptative de l'organisme à la troisième dimension s'ajoute chez le parapentiste d'autres sources de stress :
 - de causes environnementales :
 - L'hypoxie éventuelle du milieu.
 - Le froid.
 - La météorologie qui peut être changeante.
 - L'éloignement du terrain d'atterrissage qu'il faut atteindre pour se poser.
 - de causes contextuelles :
 - La proximité d'autres pilotes en vol dans une même ascendance.
 - Le contexte d'une compétition.

III - RÉALISATION DE NOTRE ÉTUDE

A/ But de l'étude

- Mieux connaître les contraintes cardiovasculaires d'une activité aérienne démocratisée en quelques années d'existence par la simplicité de son matériel et de son pilotage et dont le succès s'explique par sa réponse à l'un des plus vieux rêves de l'homme.
- Physiquement peu exigeant, le parapente est-il recommandable à tous les organismes sans précaution ou restriction particulière ?
- De nombreux pilotes abordent la compétition en parapente avec une préparation physique apportée par d'autres sports choisis préférentiellement en endurance voire par des méthodes de relaxation. Y a-t-il une vraie raison ?
- Y a-t-il une différence de sollicitation de l'appareil cardiovasculaire entre les pratiquants de base et les compétiteurs ? Une seule étude avait été réalisée chez 20 pilotes d'un club de Vol Libre à partir de Holter et de Sport-testers (CHEVALLIER, 16).

B/ Contexte des enregistrements

- Avec l'aide de Gérard JULLIEN, DTN auprès de la FFVL, nous avons effectué nos enregistrements Holters de l'ECG dans le contexte d'une compétition comptant pour la sélection des 15 pilotes qui composeront l'équipe de France de parapente en vue des premiers championnats du monde de la discipline.
- Cette compétition étalée sur 3 jours était précédée de 2 journées d'entraînement sous la directive du DTN. Quelques pilotes étrangers tête de série chez eux participaient aux épreuves en outsider pour une émulation et une mise en situation des pilotes.
- Parmi les 80 pilotes présents, nous nous proposerons d'enregistrer 10 pilotes volontaires parmi les plus sérieux prétendants à entrer dans cette équipe de France en proposant également aux outsiders d'y participer.
- Les enregistrements ont ainsi été réalisés à Millau (Aveyron) du 4 au 8 mai 1989.
- Les 2 sites de vols retenus se trouvaient à moins de 10 minutes en voiture de Millau situé à 380 m d'altitude, l'un à 840 m sans marche d'approche, l'autre à 720 m avec une marche d'approche de 15 minutes sur un faible dénivelé.
- 10 pilotes se prêteront facilement au jeu de nos enregistrements. Les pilotes étaient appareillés toute la journée durant pour des raisons matérielles (pose des Holters dans de bonnes conditions, isolement pour ne pas exclure les femmes) et pratiques (activité de plein air, dispersion des pilotes, changement possible rapide de site d'envol en fonction de la météo, contraindre le moins possible les pilotes devant l'enjeu de la compétition). Avec 2 appareils à notre disposition, nous pouvions effectuer 2 enregistrements par jour.
- Seuls les 4 premiers jours des épreuves sportives permirent de voler. La météo trop venteuse du 5^e jour annula toute possibilité de voler. 8 pilotes ont ainsi été enregistrés durant des vols.

C/ Recueil et lecture des données

1) Les enregistreurs

- Nous avons utilisé :
 - 2 enregistreurs magnétiques 4 pistes-2 dérivations Ela Medical 2448 fonctionnant en modulation d'amplitude (analogiques).
 - Des cassettes C 60 audio à l'oxyde de fer avec une vitesse de défilement des bandes calée sur les enregistreurs à 1 mm/s.
 - Des électrodes autocollantes à usage unique pour test d'effort Graphic Controls, 3 Medi Trace à l'Ag/AgCl fixée après nettoyage et abrasion superficielle de la peau à l'aide de compresses imbibées d'un mélange 1/3-éther et 2/3-alcool.
 - Les dérivations utilisées ont été placées pour obtenir deux dérivations bipolaires, une dérivation dite CM5 et une dérivation orthogonale de type V1. La 5^e électrode servant de masse était en VR5.
 - Câbles et électrodes étaient solidement fixés par de larges bandes d'Elastoplaste (activité de plein air, frottement des bretelles du sac à dos pour porter le parapente durant la marche d'approche puis frottement des bretelles de la sellette durant tout le vol, surtout au décollage).

2) La lecture et le traitement des données

La lecture des Holters s'est faite sur trois appareils différents pour des spécificités propres d'analyse ou d'édition sur papier.

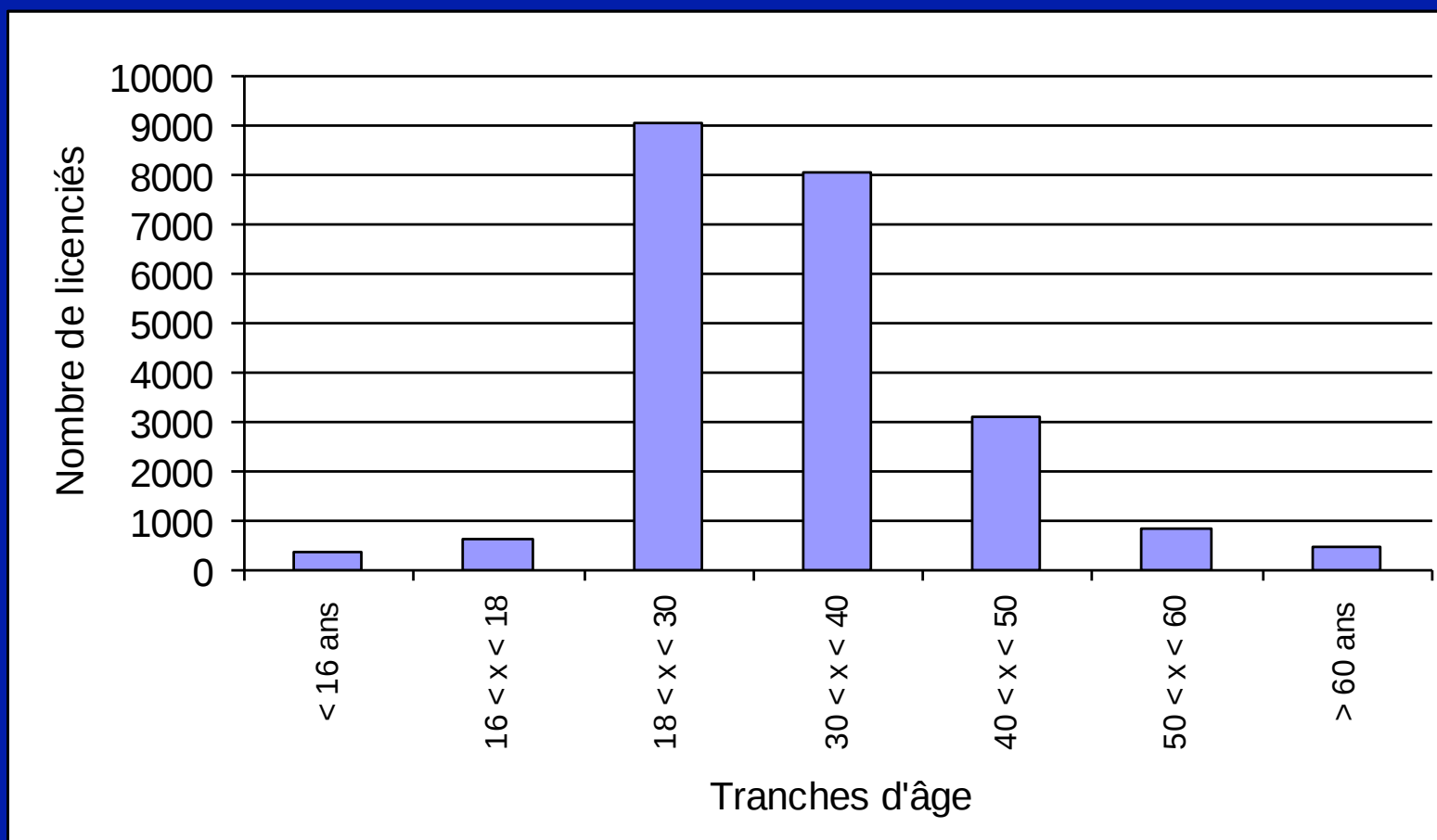
- La fréquence cardiaque a été analysée sur un appareil Anatec S2 MM 50 Ela Medical équipé du programme optionnel d'analyse de la fréquence cardiaque avec une résolution par pas de 15 secondes.
- L'étude du rythme cardiaque a été réalisée par une relecture des bandes sur un appareil Anatec 11 3B Ela Medical qui établit une mise en forme statistique des données sous la forme d'histogrammes de distribution des intervalles RR couplés chaque fois à un histogramme des écarts de ces périodes.
- L'analyse du segment ST réalisée dans une démarche systématique, a nécessité le recours à un appareil Elatec Ela Medical qui permet une analyse entièrement automatisée et paramétrable du segment ST après numérisation des 2 pistes ECG.

D/ Profil des huit pilotes étudiés

- 8 des 10 pilotes enregistrés sur 5 jours ont pu voler, 6 hommes et 2 femmes. Les 2 pilotes qui n'ont pas pu voler le dernier jour des épreuves ont été exclus de l'étude.
- L'âge moyen des 8 pilotes est de 25 ans (± 4) avec des extrêmes de 20 et 32 ans.
- 7 de ces pilotes sont de niveau international et un de celui du monitorat.
- 7 de ces pilotes seront retenus en équipe de France à l'issue de la dernière compétition qualificative qui s'est déroulée quinze jours plus tard à St Hilaire du Touvet (Isère).
- Sur le plan sportif, le parapente n'est pas un sport exclusif chez 7 des 8 pilotes. 4 en font profession. 2 sont liés professionnellement au ski durant l'hiver (moniteur/compétiteur).
- Parmi les disciplines de l'air, 4 pilotes se livrent à l'aile delta, 3 au parachutisme et 1 au planeur.
- 3 pilotes pratiquent régulièrement d'autres sports tout au long de l'année (course à pied, squash ou gymnastique).
- Leur expérience en parapente exprimée en nombre de vols ou d'heures de vol leur à été impossible à chiffrer.

PILOTES	A	B	C	D	E	F	G	H
Age	22	29	28	24	26	32	20	20
Sexe	M	M	M	M	F	M	F	M
Morphotype - taille (en cm) : - poids (en Kg) :	165 64	174 63	172 65	180 72	176 55	179 71	167 57	? 54
FMT (en bpm)	198	191	192	196	194	188	200	200
Pouls au repos (en bpm)	66	60	66	66	90	78	78	66
PA au repos (Syst./ Diast. en mm Hg)	130/70	125/70	130/70	120/70	140/80	130/80	140/80	125/80
Auscultation cardiaque	Arythmie respiratoire	Normale	Normale	Normale	Normale	Normale	Normale	Normale
Auscultation pulmonaire	Normale	Normale	Normale	Normale	Normale	Normale	Normale	Normale
Tabagisme (nombre de cigarettes/24h)	-	-	10	-	15 à 20	15 à 20	-	-
Traitement médical en cours	-	-	-	-	-	-	-	-
Observations	Consommation de réglisse. 6 tasses de café par 24h.	-	-	-	-	-	-	Consommation de réglisse.

Profil médical des sujets testés.



Répartition par âge des 22.500 licenciés à la FFVL en 1991, deltistes et parapentistes confondus.

L'âge moyen des parapentistes de l'étude se situe au sein de la classe modale des âges des libéristes recensés à la FFVL à laquelle ils appartiennent et qui est celle des 18-30 ans avec 40% des licenciés.

PILOTES	A	B	C	D	E	F	G	H
Début en parapente	1986	1986	1985	1986	1986	1986	1987	1985
Qualité vis à vis du parapente	Amateur	Amateur	Professionnel	Professionnel	Professionnel	Professionnel	Amateur	Amateur
Niveau en parapente	International	International	International	International	Monitorat	International	International	International
Aile utilisée (Marque°)	Gemma (ITV)	Aries (ITV)	Gemma (ITV)	Eclipse (ADG)	Aries (ITV)	Eclipse (ADG)	Advance (Advance)	Gemma (ITV)
Tension psychique lors des vols en parapente - vol pour le plaisir : - vol en entraînement : - vol en compétition :	oui oui oui	oui oui oui	- - oui	- - -	- - -	- oui oui	- oui oui	- - oui
Autres sports aériens pratiqués - parachutisme : - aile delta : - planeur :	- - -	- - -	oui - -	oui oui oui	- oui -	oui oui -	- oui -	- - -
Autres sports pratiqués (intensif***, régulier**, occasionnel*)	Ski***	Cross** Musculature** Ski* Randonnée*	Squash** Montagne*	Ski***	Ski** Escalade**	Ski** Tennis*	Ski** Gymnastique**	- - -
Entraînement physique estimé par le pilote	Bon	Bon	Moyen	Moyen	Néant	Bon	Moyen	Néant

Profil sportif des sujets testés.

IV - LES RÉSULTATS

- Tous les enregistrements étaient de bonne qualité technique et relativement peu artéfactés par le port du parapente dans son sac à dos puis par la sellette où s'installe le pilote durant le vol.
- La durée moyenne des enregistrements était de 10h 50 correspondant chez tous les pilotes à une période diurne et de veille passée en plein air.
- Les 8 pilotes enregistrés ont effectués 23 vols. Seul les vols identifiables sans équivoque avec d'autres événements ont été retenus soit 17 vols au total. Ils ont une durée moyenne de 25 minutes (± 22) avec des extrêmes de 5 et 85 minutes. Ces 17 vols représentent 4% du temps enregistré.

Les fréquences cardiaques (FC)

● La FC des pilotes en dehors des vols

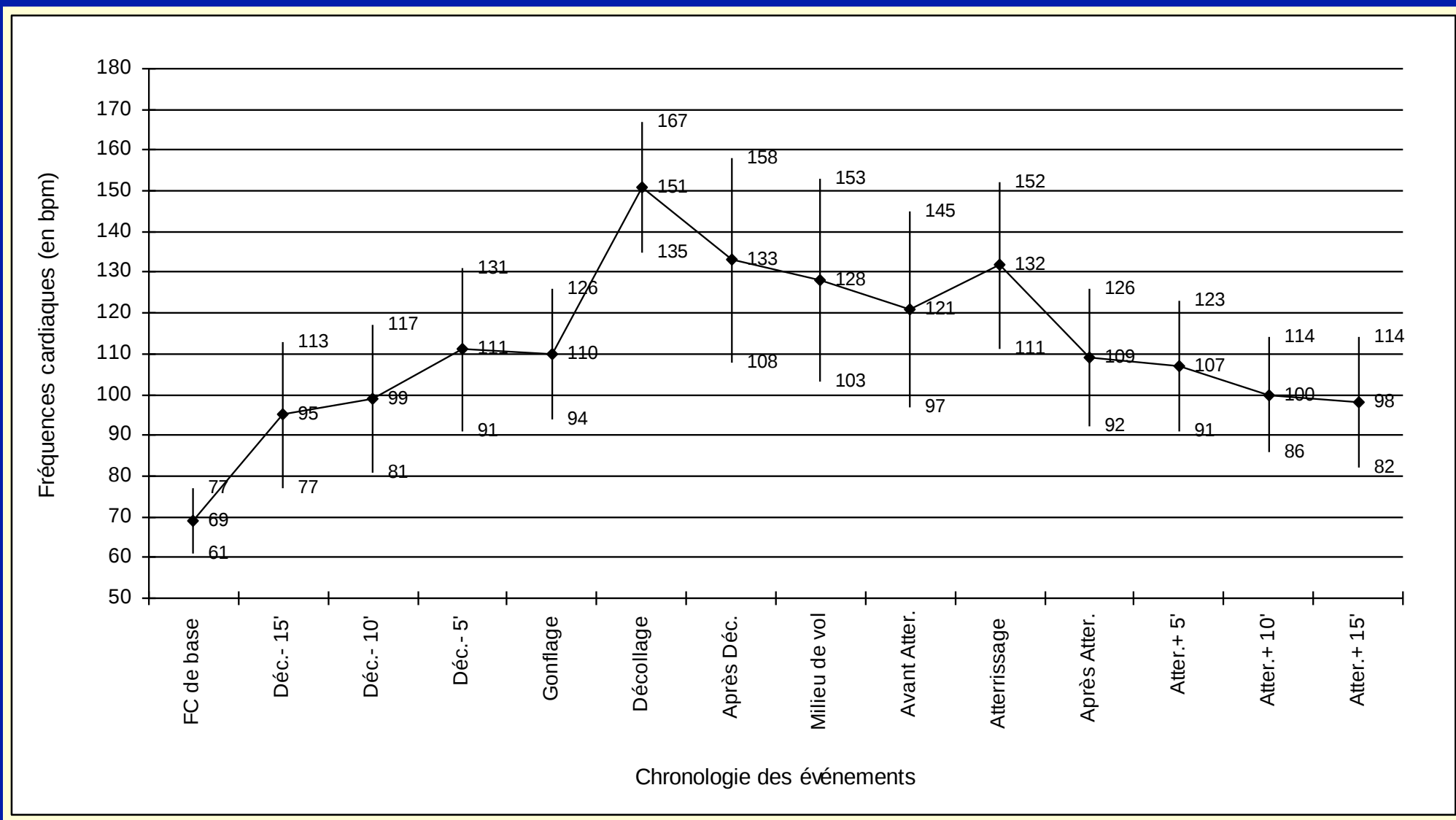
- La FC de base retenue comme référence était la FC mesurée au pouls chez les pilotes au repos juste avant la pose des Holters. Elle est de 71 bpm (± 10) avec des extrêmes de 60 et 90 bpm.
- La FC moyenne des pilotes hors vol donc mesurée sur 96% du temps enregistré est de 91 bpm (± 7). Selon les auteurs, 90 ou 91 bpm est la limite supérieure de la normale en Holter pour la FC moyenne diurne. Il s'agit donc d'une valeur plutôt élevée au regard de l'activité physique des pilotes durant la journée que l'on peut considérer à quelques événements près (marche, partie de tennis ou de tennis de table etc...) comme faible, et pour laquelle il existe une différence significative avec la FC de base ($p \leq 0,0005$). Le contexte de la compétition avec obligation de résultat en est certainement l'une des causes.
- Le dénominateur commun de cette élévation de la FC sans dépense physique proportionnelle semble être d'origine psychique. Le départ des pilotes en voiture vers le site d'envol ou leur arrivée sur le site de vol suffit à accroître la FC chez tous les sujets. La FC des pilotes juste avant le décollage est au repos de 110 bpm (± 16). La labilité de cette élévation fréquentielle par projection des vols se voit encore lorsque l'annulation d'une manche suffit à faire baisser la FC moyenne de 12 bpm dans la demi heure qui suit.
- Les deux pilotes qui n'ont pas pu voler le dernier jours ont été enregistrés pendant plus de 2 heures avant d'être déséquipés. Ils étaient de niveau international et âgés de 31 et 36 ans. Ils n'ont pas côtoyé les sites de vol ce jour là. Leur FC de base était de 72 et 54 bpm. Leur FC moyenne était de 71 et 68 bpm, bien en dessous des 8 premiers pilotes de notre étude.

● La FC des pilotes durant les vols

- Une constante retrouvée chez les 8 parapentistes est l'accélération nette de leurs FC en aval de chaque vol par anticipation. En se référant à la FC moyenne diurne hors vol de 91 bpm (± 7), l'augmentation de la FC est significative ($p = 0,023$) dans les 10 minutes qui précèdent le décollage en passant à 99 bpm (± 18).
- A partir de là, la FC passe à 111 bpm (± 20) 5 minutes avant le décollage et reste stable jusqu'au moment du gonflage de l'aile puisque encore à 110 bpm (± 16).
- Au décollage, la FC monte à 151 bpm (± 16) soit 77% de la FMT.
- Juste après le décollage, la FC redescend à 133 bpm (± 25) là où commence le tout début de l'évolution du pilote avec une baisse significative de cette valeur par rapport au décollage ($p \leq 0,025$).
- La FC moyenne en vol est de 125 bpm (± 21) soit 64% de la FMT. La FC y est dépendante des événements vécus: vol calme ou agité, vol en ascendance de pente ou en thermique, gain d'altitude ou point bas, fermeture de la voile. Bien que la FC semble diminuer au fur et à mesure du vol, il n'y a pas de différence significative entre le début et la fin de l'évolution.
- Vient enfin l'atterrissage qui coïncident avec l'arrondi marqué par un nouveau pic fréquentiel à 132 bpm (± 21) sans différence significative par rapport aux valeurs trouvées durant le vol.
- Un fois posé, le pouls chute très rapidement à 109 bpm (± 17).
- Ensuite la baisse de la FC est beaucoup plus lente et harmonieuse et il faut attendre 35 minutes pour retrouver une valeur de FC proche de la FC moyenne diurne qui est ici de 91 bpm.

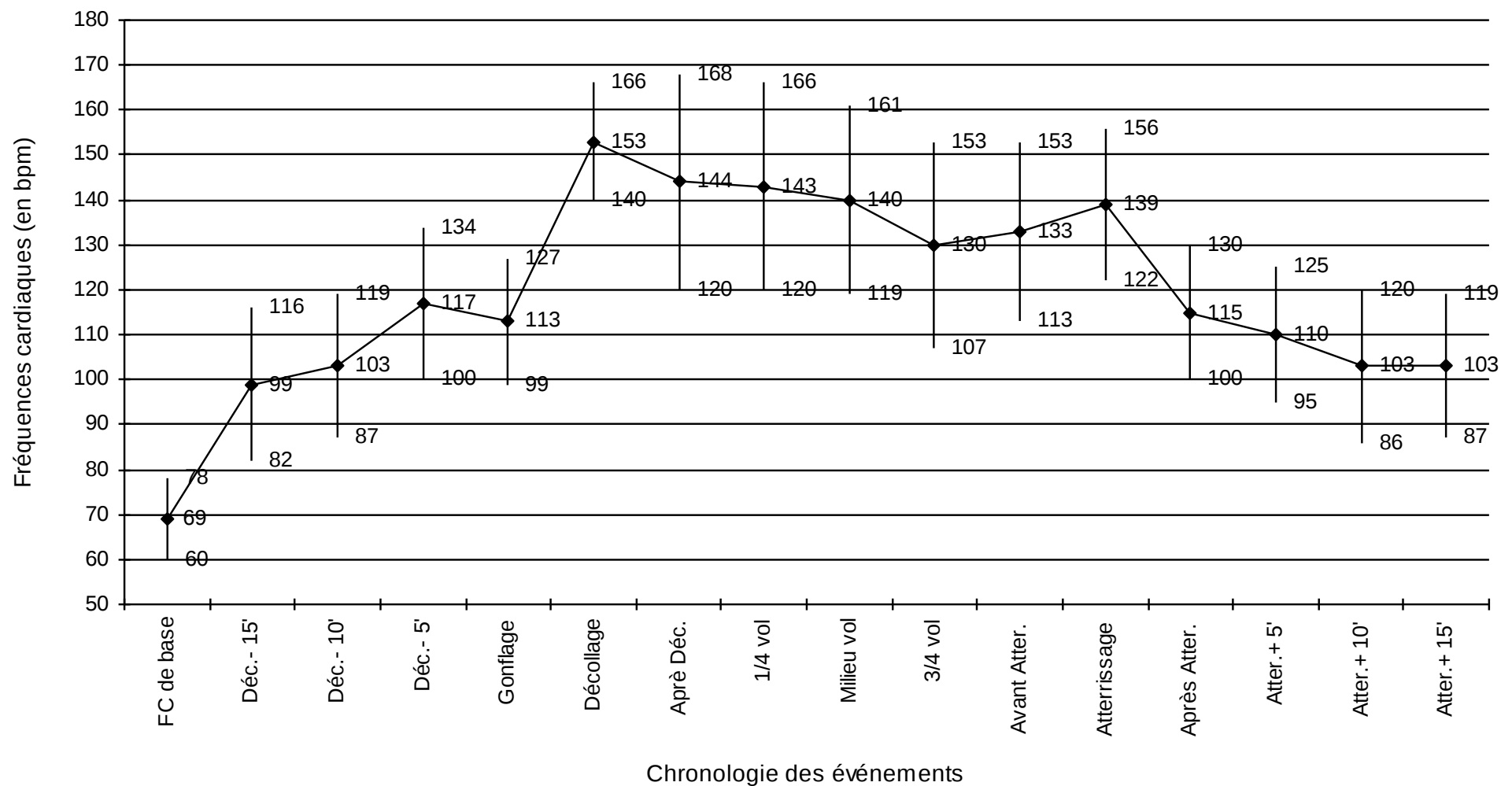
FC des pilotes	ENSEMBLE DES VOLS	VOLS ≥ 15 mn
Nombre de vols Durée des vols (en mn) Age FMT FC de base (en bpm) Nombre de pilotes et sexe	17 25 (± 22) 24 (± 4) 194 (± 4) 69 (± 8) 6 H et 2 F	11 35 (± 22) 25 (± 4) 195 (± 4) 69 (± 9) 6 H et 2 F
Fréquences cardiaques (bpm) : - au décollage - à l'atterrissage - maximale du vol % FMT - moyenne en évolution - minimale en évolution - 15 mn avant le vol - 10 mn avant le vol - 5 mn avant le vol - lors du gonflage - après le décollage - avant l'atterrissage - après l'atterrissage - 5 mn après le vol - 10 mn après le vol - 15 mn après le vol	151 (± 16) 132 (± 21) 159 (± 17) 82 (± 9) 125 (± 21) 111 (± 18) 95 (± 18) 99 (± 18) 111 (± 20) 110 (± 16) 133 (± 25) 121 (± 24) 109 (± 17) 107 (± 16) 100 (± 14) 98 (± 16)	153 (± 13) 139 (± 17) 165 (± 14) 85 (± 8) 133 (± 18) 118 (± 18) 99 (± 17) 103 (± 16) 117 (± 17) 113 (± 14) 144 (± 24) 133 (± 20) 115 (± 15) 110 (± 15) 103 (± 17) 103 (± 16)

Fréquences cardiaques obtenues sur l'ensemble des vols
et sur ceux dépassant 15 mn (moyennes $\pm$ ET).



Évolution de la fréquence cardiaque établie sur les 17 vols et leurs alentours
avec les valeurs moyennes $\pm$ ET.

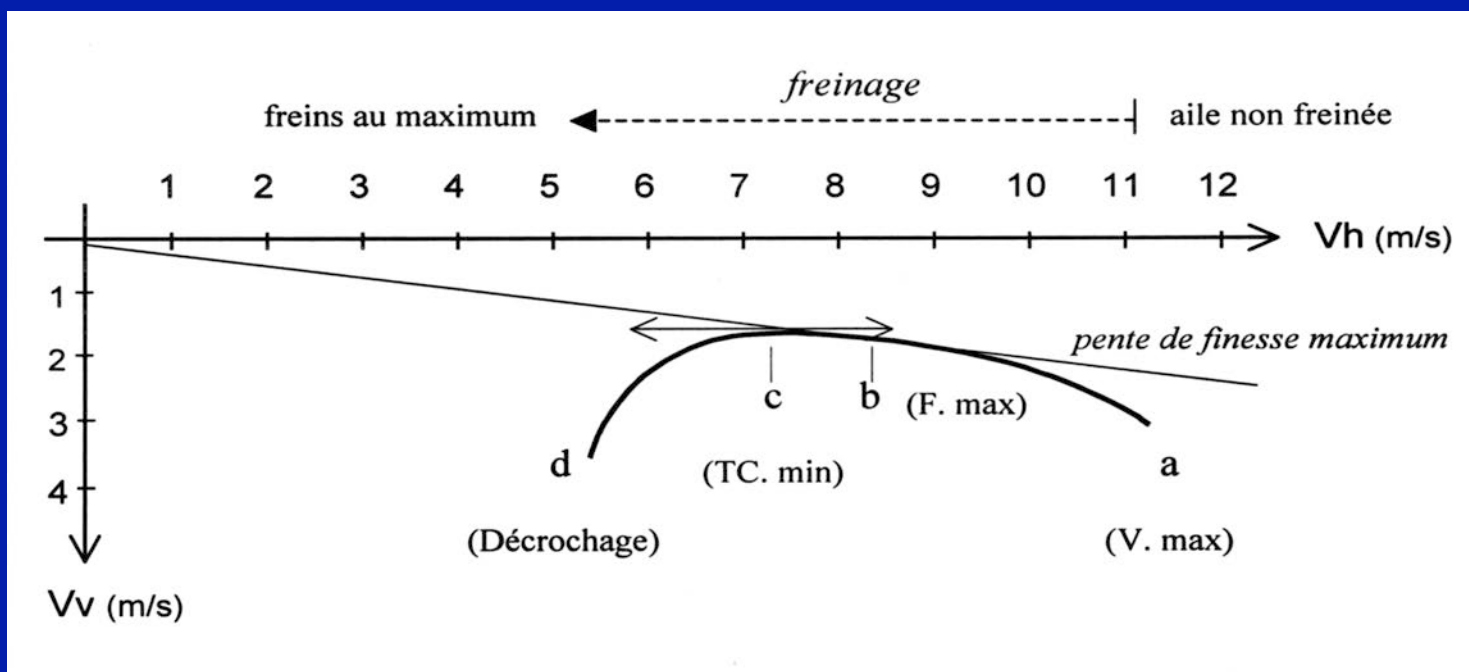
- La FC est significativement plus élevée au décollage qu'à l'atterrissage ($p = 0,0074$).
- La FC maximale rencontrée en vol qui n'est pas obligatoirement le fait du décollage atteint 159 bpm (± 17) soit 82% de la FMT. Elle correspond au décollage dans 53% des cas et à un autre moment du vol pour 47% des cas mais jamais à l'atterrissage.
- Les FC au décollage, en vol et à l'atterrissage ne sont pas liées à la valeur de la FC de base du pilote, ni à sa FC moyenne diurne ni à son âge.
- La valeur de la FC du pilote au décollage ne permet pas de prédire la FC moyenne qu'il aura en vol.
- Il n'y a pas de relation linéaire entre les valeurs des FC maximale, moyenne ou minimale et la durée des vols.
- L'analyse sur les seuls vols de plus de 15 minutes où chacun des 8 pilotes conserve encore un vol à son actif, montre une moyenne en évolution qui passe à 133 bpm (± 18) et dégage une tendance à voir réapparaître une augmentation de la FC en fin de vol correspondant sans doute à l'élaboration du plan de vol pour atteindre le terrain d'atterrissage. Il n'y a cependant pas de différence significative de cette remontée de la FC avec la FC moyenne trouvée en vol.



Évolution de la fréquence cardiaque établie sur les 11 vols de plus de 15 minutes et leurs alentours avec les moyennes ET.

Cause(s) des valeurs élevées de la FC chez les pilotes

- Nous avons vu que la FC au décollage était de 151 bpm (± 16), la moyenne en évolution de 125 bpm (± 21) et à l'atterrissage de 132 (± 21).
- Les accélérations de la FC exprimées par $\Delta FC = FC \text{ du moment considéré} - FC \text{ moyenne}$ donnent un ΔFC de 60 bpm au décollage, de 34 bpm en vol et de 41 bpm à l'atterrissage.
- Si on assimilait ces phases de vol à un travail on dirait d'après un barème de pénibilité (28) qu'elles sont toutes très lourdes avec un coût cardiaque absolu pour la phase de vol libre de 54 bpm.
- Mais le parapente n'est pas un travail et les accélération cardiaques semblent disproportionnées par rapport à la dépense énergétique réclamée par le pilotage.
- Seule la connaissance de la puissance en Watts que représente la traction permanente des commandes de frein par les membres supérieurs chez un sujet assis permettrait de connaître la FC utile au pilotage et par conséquent de déduire le coût cardiaque dû au stress lié au vol.



	V. max. 40 km/h	F. max. 30 km/h	T.C. mini. 25 km/h	Décrochage 20 km/h
Amplitude de la traction à exercer sur chaque commande de frein (en %)	0	0 - 30	40 - 50	80 - 100
Effort en kilo sur chaque commande	0	1 à 3	3 à 5	4 à 7

Valeurs des efforts à fournir sur les commandes de frein d'un parapente aux quatre points remarquables de sa polaire des vitesses.

- Bien que l'effort de pilotage paraisse peu important, il faut savoir qu'un travail effectué par les membres supérieurs détermine une FC plus élevée qu'un exercice de même puissance développé avec les membres inférieurs alors que le débit cardiaque reste identique (56). Il en va de même pour la TA.
- La FC des pilotes de notre étude juste avant le décollage est au repos de 110 bpm (± 16). L'élévation de la FC en parapente paraît être essentiellement psychique à l'instar des autres activités aériennes. Tout ce qui vole détermine chez l'homme une tachycardie réflexe physiologique attribuable au syndrome d'adaptation. Il s'agit d'une réponse normale de l'organisme s'intégrant dans une réaction de stress lui permettant non seulement de s'adapter mais également d'anticiper les actions à venir.
- Le tableau ci-dessous donne quelques exemples de ce l'on trouve à ce sujet dans d'autres disciplines aériennes :

Discipline et réf. biblio.	Nombre de sujets étudiés	Agés des pilotes	Nombre de vols étudiés	FC au décollage	FC moyenne en vol	FC à l'atter- rissage	% FMT atteint
Voltige aérienne (53)	23	39 ± 9	43	124 ± 22	133 ± 23*	124 ± 19	87
Vol à voile (31)	14	18 à 29	14	150	148 ± 18**	140	?
Aile delta (14)	3	26/29/40	4	170	100	170	92 et +
Aile delta (29)	10	33 ±10	9	169 ± 26	?	148 ± 16	89
Parapente (16)	20	28 ± ?	34	137	160 ± 26 109	140	77

(* moyenne voltige en entraînement ** moyenne voltige en compétition)

Fréquences cardiaques dans différents sports aériens

Influence de certains facteurs sur la FC des pilotes

- Le faible effectif des pilotes ne permet pas ici d'analyse statistique entre eux et donc de tirer des conclusions. Les facteurs intercurrents qui auraient pu intervenir sur les FC retrouvées étaient :
 - Le sexe. Avec 3 vols chez 2 femmes et 14 vols chez 6 hommes, aucune conclusion sérieuse n'est possible. Le pouls de repos chez elles était supérieur à ceux des hommes. Il en est de même concernant leur FC moyenne diurne qui avait 6 bpm/minutes de plus que leurs homologues masculins ce qui semble conforme aux données de la littérature sur le Holter (30).
 - La consommation ou non de tabac. La nicotine accélère le cœur par activation du système sympathique. Nous n'avons pas noté de différence dans les FC durant les vols entre les pilotes fumeurs et non fumeur, ni en dehors des vols. GROSOGÉAT et coll. montre qu'il n'y a aucune différence significative des FC maximale, moyenne et minimale entre les sujets fumeurs et non fumeurs enregistrés sur 24 heures (30).
 - Les jours d'entraînement / jours de compétition. Excepté les FC de base, les FC rencontrées lors des vols effectués les jours d'entraînement ou les jours de compétition nous ont paru superposables.
 - Les vols en entraînement / vols en compétition. Avec seulement 2 vols courus en compétition, aucune comparaison n'est possible. Les FC seraient plus élevées en compétition.
 - L'altitude atteinte. 2 pilotes se sont exposés lors de 2 vols à la moyenne altitude. Elle n'a d'effet que sur la performance maximale de l'individu. 1 pilote s'est exposé lors d'un vol à la haute altitude où les effets ne se ressentent qu'à l'exercice et d'autant plus qu'il est important. Avec un plus grand nombre de vols, on conclurait à la similitude des FC atteintes.
 - La température ambiante. La température ambiante n'a pas été discriminative sur le plan fréquentiel compte tenu de l'homogénéité des conditions météorologiques rencontrées durant les enregistrements hormis de manière très ponctuelle lors des vols ayant permis les gains importants d'altitude précités.

Vol	Altitude de décollage	Altitude maximale atteinte	Gain réalisé	Vitesse Ascensionnelle moyenne	Températures en vol à 840m et à l'alt. max.	Équivalents températures à 25 km/h
A2	840 m	2700 m	+1860 m	1,7 m/s environ	21° / 5°	17° / -5°
B2	840 m	2016 m	+1176 m	2 m/s environ	21° / 9,7°	17° / 2°
D5	840 m	1700 m	+ 860 m	1,8 m/s environ	22° / 10,5°	18° / 2,5°

FC et altitude de vol	BASSE ALTITUDE	MOYENNE ET HAUTE ALTITUDES
Nombre de vols	14	3
Age	24 (±4)	25 (±4)
FMT	196 (±4)	195 (±4)
FC de base (en bpm)	70 (±8)	64 (±3)
Nombre de pilotes et sexe	3 H et 2 F	3 H
Fréquences cardiaques (bpm) :		
- maximale du vol	157 (±17)	169 (±16)
% FMT	80 (±9)	87 (±10)
- moyenne en évolution	123 (±20)	132 (±27)
- minimale en évolution	110 (±18)	113 (±23)

Fréquences cardiaques moyennes et extrêmes des pilotes selon l'altitude de vol atteinte (moyenne ± ET).

FC rencontrées en parapente et en aile delta chez un même pilote le même jour

Chez ce pilote qui avait 7 ans d'expérience avec le deltaplane, les FC sont globalement toutes plus élevées avec cet appareil. Plus technique à piloter, le deltaplane est d'un poids très supérieur (25-30 kg) et vole plus vite (20-70 km/h). Pardonnant beaucoup moins les erreurs au décollage et à l'atterrissage par les forces inertielles engagées, cela pourrait expliquer une tension psychique plus importante en deltaplane et les FC qui en résultent.

Aile delta/Parapente	VOL EN PARAPENTE	VOL EN AILE DELTA
Durée du vol (en mn) Age et FMT FC de base (en bpm)	40 32 / 188 78	32 32 / 188 78
Fréquences cardiaques (bpm) : - au décollage - à l'atterrissage - maximale du vol % FMT - moyenne en évolution - minimale en évolution	166 132 166 89 116 (± 4) 103	176 156 176 93 129 (± 10) 115

Le rythme cardiaque

- Le rythme cardiaque est resté sinusal chez tous les pilotes et l'intervalle PR en CM5 a toujours été mesuré dans les limites de 120 à 200 ms. L'allure gaussienne et symétrique de tous les histogrammes des écarts des RR autour d'une médiane centrée sur l'écart nul ainsi que leur appui monopodal généralement de faible largeur traduisent à la fois l'unicité du rythme sinusal chez les 8 pilotes, sa permanence et le caractère toujours progressif de ses accélérations comme de ses ralentissements.
- 3 pilotes ont présenté des pauses sinusales ≥ 1500 ms. Au nombre de 15 au total, la plus longue a été de 1640 ms. Elles semblent provenir d'à-coups vagues au décours de phases de tachycardie sinusale. Elles n'ont jamais donné lieu à un échappement jonctionnel. Le nombre et la durée de ces pauses s'inscrivent dans la normalité (12,15,36).
- Les histogrammes des RR et des écarts confirment la quasi absence d'extrasystoles (ES) chez les 8 pilotes avec un total de 5 ESSV et de 7 ESV sur l'ensemble des enregistrements. La moitié de ces ES n'a pas de lien avec les vols. Les autres, apparues durant les vols, sont des ES tachycardo-dépendantes apparues à une FC moyenne de 155 bpm. Ces ES ont toujours été isolées et monomorphes chez un même pilote. Il n'y a jamais eu d'ES après les vols. Le parapente est chez ces pilotes même sous la pression d'une compétition, significativement non arythmogène.
- PUCHEUX et coll. (53) montrent que la voltige aérienne est arythmogène.
- HALLARD (31) trouve chez un de ses 14 vélivoles une extrasystolie ventriculaire liée au vol.
- GRANGIER (29) ne trouve aucun trouble du rythme chez des deltistes non débutants.
- BLANC (9) note lors de vols acrobatiques en aile delta des modifications très importantes des taux d'adrénaline, de noradrénaline, de STH et des béta-endorphines.

- CHEVALLIER (16) qui a étudié 20 parapentistes d'un club de Vol Libre ayant un âge moyen de 28 ans et un niveau allant du débutant au moniteur, trouve des valeurs de FC sensiblement différentes des nôtres avec des FC plus basses au décollage et en vol. Par contre il note un nombre élevé de troubles du rythme sans quantification précise : des ESSV chez 18 parapentistes, des ESV chez 11 parapentistes et une TPSV.
- Ainsi, nos résultats tendent à montrer comme dans les autres disciplines aériennes que l'expérience en parapente ne réduit pas les tachycardies inhérentes au vol. Mais dans notre étude, elle semble faire disparaître les troubles du rythme qui leurs sont liés. Pourtant, les valeurs élevées des FC prouvent que le stress reste bien présent quelque soit l'expérience du pilote. S'agit-il alors d'une réponse endocrinienne différente qui apparaît avec l'entraînement ?

L' étude du segment ST

Une telle analyse n' a de sens que replacée dans le contexte des enregistrements qui doit mettre en parallèle le type de patient à qui l' on a affaire, les évènements recherchés et la symptomatologie ressentie. La prudence est la règle pour l' interprétation des décalages du segment ST de découverte fortuite dès qu' on a affaire à une population non suspecte dans cette pathologie (20,23,37,58,62).

- L' analyse réalisée par l' Anatec n' a relevé que des modifications physiologiques tant sur les FC lentes hors vol que sur les FC rapides durant les vols où les modifications sont alors comparables à celles des épreuves d' effort menées sur bicyclette ergométrique.
- Dans les deux dérivations explorées, aucune dénivellation du segment ST n' a pu évoquer un aspect électrique d' ischémie coronarienne avant, pendant ou après les vols lors de la récupération même chez les pilotes fumeurs.
- HALLARD (31) au sujet du vol à voile comme PUCHEUX et coll. (69) au sujet de la voltige aérienne, ne trouvent pas d' anomalie de la repolarisation chez leurs pilotes.

Remerciements

- → Pour le prêt des enregistreurs Holter *Ela Médical 2448* :
 - au Pr D. FURON, Chef de Service de Médecine du Travail de la Faculté de Médecine de Lille;
 - à Mr ARMEL, Technicien de l'Agence Nord Ela Médical (59800 Lille).
- → Pour la mise à disposition des lecteurs-analyseurs :
 - *Ela Médical 11 3B*, et *Anatec*: au Pr C. LIBERSA, Service de Pharmacologie Hospitalière, Faculté de Médecine de Lille;
 - *Ela Médical S2 MM50*: au Dr L. DESPRETS, Chef de Service de Médecine, Hôpital de Saint Amand (Nord).
- → Pour le prêt de deux altimètres-variomètres PRETEL, *Alti Plus Vario V1* :
 - à la société Peyrin Réalisations et Etudes Electroniques (38640 Claix, France).
- → Pour sa médiation auprès des pilotes :
 - à Mr G. JULLIEN, Directeur Technique National auprès de la Fédération Française de Vol Libre; Entraîneur, en 1989, de l'équipe de France de Parapente.
- → Pour ses informations météorologiques :
 - à Mr G. SENNEQUIER, Technicien Supérieur de la Météorologie, Prévisionniste et Nivologue à la station météo de Briançon (Hautes-Alpes).
- → Pour son aide au traitement statistique des données :
 - au Dr F. DUFOSSEZ, Département Information Médicale, Hôpitaux de Roubaix et de St Amand.
- → Pour sa gentillesse de nous avoir confié ses enregistrements cardiaques réalisés par lui-même en parapente avec son Sport-Tester :
 - à Mr Thierry XX.
- → Pour leur service bibliographique :
 - aux Laboratoires BIOSEDRA, RIOM, BAYER PHARMA et SERVIER MEDICAL.
- → Ainsi qu'à :
 - Mr Th. MARET; Mr K. AGBESSI; et au Dr J. GAVALDA (Cardiologue à Rodez, Aveyron).

Et plus particulièrement, aux dix parapentistes qui se sont prêtés à nos mesures.

BIBLIOGRAPHIE

1. AUBERT J.-M. - *Etude par enregistrement Holter de la variation de l'espace QT en fonction de l'âge et de la fréquence cardiaque chez des patients non traités*. Thèse Méd., Univ. P. et M. Curie, Paris VI, 1985, n° 101 A, 68 p.
2. AUPETIT H. - *Le manuel du vol libre*. Editions Rétine, 2e édit., 1993, 239 p.
3. AUPETIT H. - *Traité de pilotage et de mécanique du vol. (Le nouvel ABC du Parapente, Tome 2)*. Editions Rétine, 1990, 385 p.
4. AUPETIT H. - *L'ABC du parapente*. Editions Rétine, 2e édit., 1986, 151 p.
5. AUPETIT H. - *Les Visiteurs du Ciel (Guide de l'Air pour l'Homme Volant)*. Editions Rétine, 1989, 364 p.
6. BAILLIART O. et MARTINEAUD J.-P. - Incidence de l'hypoxie d'altitude sur le transport de l'oxygène. (II) Retentissement sur la pathologie cardiovasculaire et respiratoire. *Revue de Médecine*, 1980; 21: 2113-2118.
7. BERTEAU P. et PIRNAY F. - *Electrocardiographie du sportif*. Collection ABC Médecine du Sport, Masson, Paris, 1982, 102 p.
8. BJERREGAARD P. - Différenciation entre ce qui est "normal" et "anormal" en électrocardiographie ambulatoire. *L'information cardiologique*, 1983; 9-20.
9. BLANC D. - Etude des différents facteurs biologiques et hormonaux liés au stress lors des vols delta-acrobatiques. *Rev. Méd. Suisse Romande*, 1987, 107, p. 925-934, in FERRY M. - Le parapente, sport à risque. Bilan et prévention des accidents. Thèse Méd., Nancy I, 1990, n° 114, 121 p.
10. BONNEAU P. - La folle histoire... *Parapente Mag*, 1993; Hors-Série n° 4: 50-54.
11. BOUILLOUX P. - Sellette et stabilité... *Parapente Mag*, 1991; n° 17: 46-49.
12. BRION R., HUET F., BOISSEAU H. et OLLIVIER J.-P. - 24 heures d'enregistrement Holter chez 80 sportifs de haut niveau de 20 ans. *Cœur et Sport 1989*. Bayer Pharma. Résumé des communications du 2e Congrès International sur l'Homme à l'Effort. Paris, 2, 3 et 4 Fév. 1989; p. 47.
13. CARRE F. - *Les particularités électrocardiographiques du rythme et de la conduction chez le sportif de haut niveau. Intérêt de l'enregistrement électrocardiographique continu. (Méthode de Holter)*. Thèse Méd., Univ. Paris V René Descartes, Fac. Méd. Paris-Ouest, 1984, n° 189, 68 p.
14. CHAMOUX A., GEILLE A., FONCK Y., CAUX O., PETIT G. et CATILINA P. - Libérisme et mort subite en vol. *Médecine du sport*, 1989; 63: 275-279.
15. CHAUVIN M., WOLFF F. et BRECHENMACHER C. - L'enregistrement continu de l'électrocardiogramme (Holter). Les critères de normalité. *Ann. Cardiol. Angéiol.*, 1987; 36: 155-158.
16. CHEVALLIER C. - *De l'approche cardiologique du parapente: aspect énergétique et rythmologique*. Thèse Méd., Lyon I, 1990, n° 68, 440 p.
17. COLIN J. - Physiopathologie liée à l'altitude et aux vols dans l'atmosphère et l'espace. *Encycl. Méd. Chir.* (Paris-France), Intoxications, 1981; 16506 A10, 3: 1-4 et 16.
18. COUMEL P. et SLAMA R. - Le Holter: pour quoi faire ? *Acta Cardiologica*, 1980; 35: 169-177.
19. COUVREUR P. - *Sémiologie des histogrammes de répartition des périodes cardiaques (Application à un essai contrôle d'un anti-arythmique ventriculaire: le Tocainide)*. Thèse Méd., Lille, 1982, n° 81, 179 p.

20. DEANFIELD J. E. - Holter Monitoring in assessment of Angina Pectosis. *Am. J. Cardiology*, 1987; 59: 18C-22C.
21. DE WERRA P. - Cardiopathies et altitude moyenne. *Réalités Cardiologiques*, 1993; n° 43: 22-28.
22. DUCARDONNET A., ESCOURROU M.-T., POUZOLS J., PORTE G. et BONNET M. - Holter ECG et médecine du sport. *Science & sports*, 1986; 1: 277-290.
23. DUFLOCQ T. - *Etude du segment ST par la méthode de Holter. Intérêt pour la surveillance des cardiopathies ischémiques à partir de 23 cas.* Thèse Méd., Univ. Paris VII, Fac. Méd. X.-Bichat, 1983, n° 233, 101 p.
24. ESCOFFIER E. - Objectif cross. *Parapente Mag*, 1990; n° 12: 56-57.
25. "FFVL" - Fédé Infos. *PPm (Parapente Mensuel)*, 1991; n° 31: 35-38.
26. FILLETTE F. - *Manuel d'interprétation de l'enregistrement Holter du cœur normal et pathologique.* Masson Edit., Paris, 1986, 141 p.
27. FILLETTE F., FONTAINE G., DUCARDONNET A. et GROSGOGEAT Y. - L'enregistrement ambulatoire de l'ECG. Techniques, méthodes et indications. *Ann. Méd. Interne*, 1981; 132: 267-283.
28. FRIMAT P. - Fréquence Cardiaque et Travail. *Rev. médecine du travail*, 1990; 17: 61-63.
29. GRANGIER C. - *Stress et sport: populations à risques et prévention. Enregistrement Holter de la fréquence cardiaque chez dix sujets sains libéristes montrant les effets cardiaques du stress émotionnel intense.* Thèse Médecine, Grenoble, 1985, n° 132, 145 p.
30. GROSGOGEAT Y., DUCARDONNET A., VALTY J., DUMOULIN P., KHIREDINE M. et al. - Etude des limites physiologiques des variations de la fréquence cardiaque par la méthode de Holter chez 134 sujets normaux. *Arch. Mal. Cœur*, 1986, 79: 324-331.
31. HALLARD F. - *Intérêt de l'enregistrement électrocardiographique continu par la méthode de Holter chez les pilotes de vol à voile.* Thèse Méd., Paris Créteil, 1980, n° 222, 67 p.
32. HANNE-PAPARO N. et KELLERMANN J. J. - Long-term Holter ECG monitoring of athletes. *Med. Sci. Sports Exercise*, 1981; 13: 294-298.
33. HOUDAS Y. et GUIEU J.-D. - *La fonction thermique.* Simep-Edition, 1977, 233 p.
34. HOUDAS Y. et CARETTE G. - *L'organisme au froid (échanges thermiques, réactions physiologiques et protection vestimentaire).* in RICHLET J.-P., *Médecine de l'alpinisme*, Collection de Monographies de Médecine du Sport, Masson, Paris, 1984; p.56-69.
35. HOUDAS Y., DEKLUNDER G., LECROART J.-L. et CHAMMAS E. - Froid et circulation coronaire. *Réalités Cardiologiques*, 1993; n° 43: 29-34.
36. HOUILLE F., LOUVET J.-M. et DUCARDONNET A. - *L'enregistrement Holter normal et pathologique.* Laboratoire Biosedra, JR Troubat édit., 1986, 109 p.
37. HUG C. - *Intérêt de l'électrocardiogramme ambulatoire (méthode de Holter) pour l'étude du segment ST dans l'angine de poitrine.* Thèse Méd., Montpellier, 1980, n° 213, 74 p.
38. HUGLA O. - *Contribution de l'enregistrement électrocardiographique continu à l'étude du comportement physiologique du pilote de rallye automobile.* Thèse Méd. Paris V René Descartes, 1984, n° 117, 74 p.
39. KIVOL P. - Interview de Laurence CLARET-TOURNIER. *Parapente Mag*, 1992; n° 20: 8.

40. LALANNE-MAGNE P. - *Enregistrement par la méthode de Holter de l'ECG chez le parachutiste. Comparaison entre les sauts en ouverture automatique et en ouverture retardée.* Thèse Méd., Bordeaux II, 1985, n° 103, 83 p.
41. LEBLANC J. - *Man in the cold.* Ch. C. Thomas, Springfield édit., 1975, 195 p.
42. LEDOUX X. - Bilan d'une saison. *PPm (Parapente mensuel)*, 1990; n° 19: 21-24.
43. LEDOUX X. - Accidents de parapente. Bilan 1990. *Ascendances*, 1992; n° 64: 16-21.
44. LEDOUX X. - Quelle protection passive en vol libre ? *Ascendances*, 1991; n° 52: 19-20.
45. LEDOUX X. - " Froid, moi ? Jamais ! " *Ascendances*, 1990; n° 50: 17-19.
46. LEDOUX X. - Le syndrome du baudrier. *Vol Libre*, 1988; n° 140: 28.
47. LEGLISE H. - *Aptitude et exigences cardiovasculaires en rapport avec diverses activités sportives*, in J.-P. BROUSTET, Cardiologie sportive, Collection de Monographie de Médecine du Sport, Masson Edit., Paris, 1978; 83-125.
48. MISSOUM S., BOUDARD N. et ROUCHON A.-M. - Sport de haut niveau et adaptation comportementale au stress. *Psychologie médicale*, 1986; 18: 721-727.
49. MUNDLER P. - Portrait Roger Fillon. *Parapente Mag*, 1989; n° 2: 48-51.
50. MURILLO X. - *La folle histoire du parapente.* Edition Glénat, Grenoble, 1989, 127 p.
51. NAEIJE R. - Circulation pulmonaire et altitude. *Réalités Cardiologiques*, 1993; n° 43: 35-42.
52. PLAS F. - *Guide de cardiologie du sport.* J.B. Baillière Edit., Paris, 1976, 157 p.
53. PUCHEU A., CHANTON E., LECHAT P., MUZERGUES G., REVELLAT F. et coll. - Fréquence et rythme cardiaques en vol chez les pilotes civils pratiquant la voltige aérienne. Etude par la méthode de Holter. *Arch. Mal. Cœur*, 1993; 86: 1589-1595.
54. RICHALET J.-P. - *Les réactions de l'organisme à l'altitude.* in RICHALET J.-P., *Médecine de l'alpinisme*, Collection de Monographies de Médecine du Sport, Masson, Paris, 1984; p.30-55.
55. RICHALET J.-P., KEROMES A., CARILLION A., MEHDIOUI H., LARMIGNAT P. et al. - Réponse cardiaque à l'hypoxie et susceptibilité au mal des montagnes. *Arch. Mal. Cœur*, 1989; 82, n° spécial II: 49-54.
56. RIEU M. - Adaptation de l'appareil cardio-vasculaire lors des différents types d'exercices. in *Cœur et Sport 1987*, Bayer Pharma, Actes du Congrès International sur l'Homme à l'Effort les 12 et 13 Nov. 1987.
57. SCHMIDER C. - Le parapente au féminin. *Parapente Mag*, 1990; n° 7: 54-57.
58. SELLIER P. et MAURICE P. - Utilisation de l'enregistrement électrocardiographique continu (méthode Holter) dans le diagnostic de l'insuffisance coronaire. *Méd. et Hyg.*, 1979; 37: 2173-2176.
59. SONNELITTER G. - *Enquête sur l'examen médical de non contre-indication à la pratique du parapente.* Thèse Méd., Strasbourg, 1991, n° 144, 60 p.

- 60. STROEBEL I. - Les accidents de parapente. *Impact médecin*, 1992; n° 136: 35.
- 61. TRINQUIER R. - Du parachute au parapente. *Alpinisme et Randonnée*, 1988; Hors-Série n° 1: 8.
- 62. VANDERPOTTE J.-M. - *L'enregistrement continu de l'électrocardiogramme selon la méthode de Holter au cours de l'insuffisance coronarienne*. Thèse Méd., Lille, 1981, n° 333, 73 p.
- 63. VIITASALO M.T., KALA R. et EISALO A. - Ambulatory electrocardiographic recording in endurance athletes. *Br. Heart J.*, 1982; 47: 213-220.
- 64. VOVAN A., LALAUX V., MAKANDJA AR., PHILIPPE J. et LESBRE JP. - Les nouveaux critères de positivité de l'épreuve d'effort. *L'information cardiologique*, 1988; 12: 831-840.

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX