MINISTERE DE LA SANTE
REGION LORRAINE
INSTITUT DE FORMATION EN
MASSO-KINESITHERAPIE DE NANCY

ETUDE PLETHYSMOGRAPHIQUE DES BAINS ECOSSAIS SUR LA CIRCULATION CUTANEE

Rapport de travail écrit personnel
présenté par **Gérald ETIENNE**
étudiant en 3ème année de kinésithérapie
en vue de l'obtention du diplôme d'état
de masseur-kinésithérapeute
1994-1995.

SOMMAIRE

Page

RESUME

1. INTRODUCTION ---------- 1

2. RAPPELS ANATOMO-PHYSIOLOGIQUES ---------- 2

2. 1. Les rôles de la peau ---------- 2

2. 2. Les transferts de chaleur ---------- 3

2. 2. 1. Les pertes caloriques ---------- 3

2. 2. 2. Régulation des échanges thermiques ---------- 4

2. 3. Physiopathogénie de l'oedème ---------- 8

3. MATERIEL ET METHODE ---------- 9

3. 1. Matériel ---------- 9

3. 1. 1. Population ---------- 9

3. 1. 2. Matériel expérimental ---------- 9

3. 2. Méthode ---------- 12

3. 2. 1. Protocole ---------- 12

3. 2. 2. Prise de mesures ---------- 13

3. 2. 2. 1. Installation du sujet ---------- 13

3. 2. 2. 2. Mode d'emploi du pléthysmographe ---------- 14

3. 2. 2. 3. Mesure et interprétation ---------- 16

4. RESULTATS ---------- **16**

4. 1. Tableau de mesures ---------- **16**

4. 2. Interprétation des résultats ---------- **17**

4. 2. 1. Interprétation des histogrammes ---------- 17

4. 2. 2. Interprétation statistique ---------- 19

5. DISCUSSION ---------- **20**

5. 1. Interprétation des résultats ---------- **20**

5. 2. Conditions générales d'examen des résultats ---------- **21**

5. 3. Analyse des différences observées ---------- **21**

5. 4. L'installation du sujet et du matériel ---------- **22**

5. 5. La température de l'eau ---------- **23**

5. 6. Perspectives ---------- **24**

6. CONCLUSION ---------- **25**

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

RESUME

Nous avons étudié l'action des bains écossais sur la circulation cutanée de 24 sujets issus d'une population saine au niveau du membre supérieur.

Nous avons réalisé des mesures de débit sanguin cutané à l'aide d'un pléthysmographe à jauge de contrainte.

Les résultats nous montrent une augmentation des débits cutanés après la séance de bains écossais, cette augmentation étant significative jusqu'à 30 minutes après la fin de la séance.

Ceux-ci nous permettent de définir certaines règles à respecter dans l'application des bains écossais, afin d'obtenir des résultats optimaux.

1. INTRODUCTION

En matière de traitement de la main traumatique et chirurgicale, l'ennemi n° 1 reste l'oedème : il fige la main en attitude vicieuse, organise une fibrose qui "colle" les espaces de glissement et s'oppose à la mobilisation précoce, qui est la base thérapeutique pour obtenir des résultats optimaux du point de vue fonctionnel (1, 2, 3, 4).

Rappelons que l'oedème post-traumatique ou chirurgical a plusieurs origines et que les insuffisances veineuse et lymphatique sont mécaniques (5).

La lutte contre l'oedème consiste à limiter son apparition, faciliter et accélérer sa résorption. Parmi les différents moyens couramment utilisés en rééducation, on peut citer en post-opératoire immédiat le pansement compressif, la mise en déclive, la mobilisation active (manoeuvres de MÖBERG) lorsque celle-ci est possible ; puis le massage classique de retour veineux, le drainage lymphatique manuel et la pressothérapie suivis du port d'un gant de compression pour maintenir le résultat obtenu ; enfin, après cicatrisation entre 12 et 20 jours parafangothérapie, paraffine ou bains d'eau chaude pour leur action antalgique et vasodilatatrice, des bains froids pour leur action antalgique et vasoconstrictrice.

Autre technique pratiquée : les bains écossais, encore appelés bains alternés, associent l'eau chaude puis l'eau froide tour à tour un certain nombre de fois. Bien que couramment utilisés et souvent cités dans la littérature, aucun protocole n'est clairement défini, chaque auteur proposant le sien (1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11). Pour notre étude, nous utilisons celui décrit par P. DOTTE qui l'a le mieux développé. Nous nous sommes particulièrement intéressés à l'action des bains écossais sur la circulation cutanée, car au niveau de la main la proportion de peau et de tissus sous-cutané est très importante, ainsi que leur perfusion, compte tenu du grand nombre d'anastomoses artério-veineuses qui y règnent. Quant aux autres tissus : muscles, tendon, os et tissu adipeux, ils sont peu réactifs aux stimulations thermiques (tab. I).

Tableau I : Composition des différents segments de membre supérieur chez l'homme en pourcentage du volume total.

	Main en %	Avant-bras en %
Peau et tissu sous-cutané	30	13
Muscle	16	59
Os et tendon, tissu adipeux	54	28

Tiré de MARTINEAUD et SEROUSSI (12).

Notre étude se propose d'approcher l'effet des bains écossais sur la circulation cutanée du membre supérieur d'une population saine à l'aide d'un pléthysmographe à jauge de contrainte.

2. RAPPELS ANATOMO-PHYSIOLOGIQUES

2. 1. Les rôles de la peau

La peau, tissu de revêtement, est aussi un organe à part entière qui occupe plusieurs fonctions.

Elle assure un rôle de soutien des tissus, de protection du corps contre les agressions extérieures. C'est aussi un organe sensitif : elle contient des mécano-récepteurs qui interviennent au niveau de la sensibilité grossière et discriminative (stéréognosie),

- des thermorécepteurs au chaud et des thermorécepteurs au froid dont les plages de fonctionnement sont respectivement de 30 à 45°C pour les premiers, de 10 à 30°C pour les

seconds. En dessous de 10°C et au dessus de 45°C leur activité cesse, le relais étant pris par les nocicepteurs thermosensibles (13).

- des récepteurs à la douleur mis en jeu pour des pressions très fortes.

La vascularisation de la peau est très riche (ANNEXE I). Elle assure la régulation des échanges thermiques du corps avec le milieu ambiant pour maintenir une température interne constante.

2. 2. Les transferts de chaleur

2. 2. 1. Les pertes caloriques

Différents phénomènes vont concourir au transfert de chaleur de la profondeur de l'organisme (ou noyau) où elle est produite vers la superficie (ou écorce) où elle se disperse (fig. 1) (12).

- La conduction : la chaleur se transmet à travers les différents tissus de proche en proche.
- La convection : la chaleur est transportée par le sang.

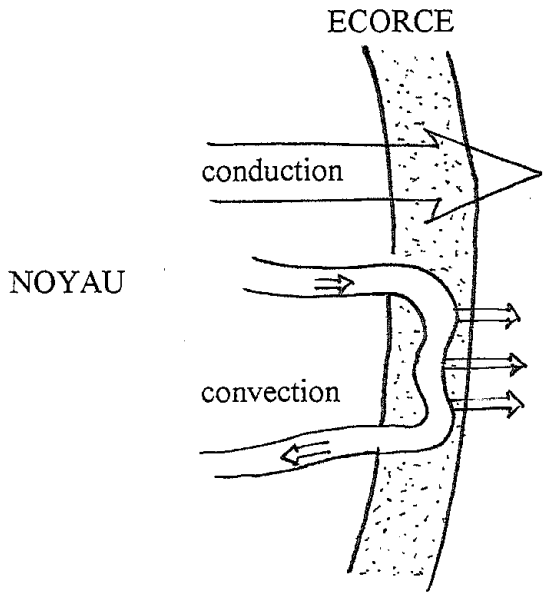


Figure 1 : La conductance physiologique

Il en résulte la conductance physiologique qui est la somme de la convection et de la conduction.

En fait, la quantité de chaleur échangée avec le milieu ambiant est minorée par ce que l'on appelle le contre-courant thermique (fig. 2) : un transfert de chaleur se fait précocement entre les artères et les plexus veineux qui les accompagnent, ainsi, la température du sang artériel vers le noyau est lui réchauffé, ce qui va dans le sens d'une économie d'énergie. Ce système sera surtout efficace lorsque les débits sont faibles, car le temps nécessaire aux échanges sera plus long (fig. 3).

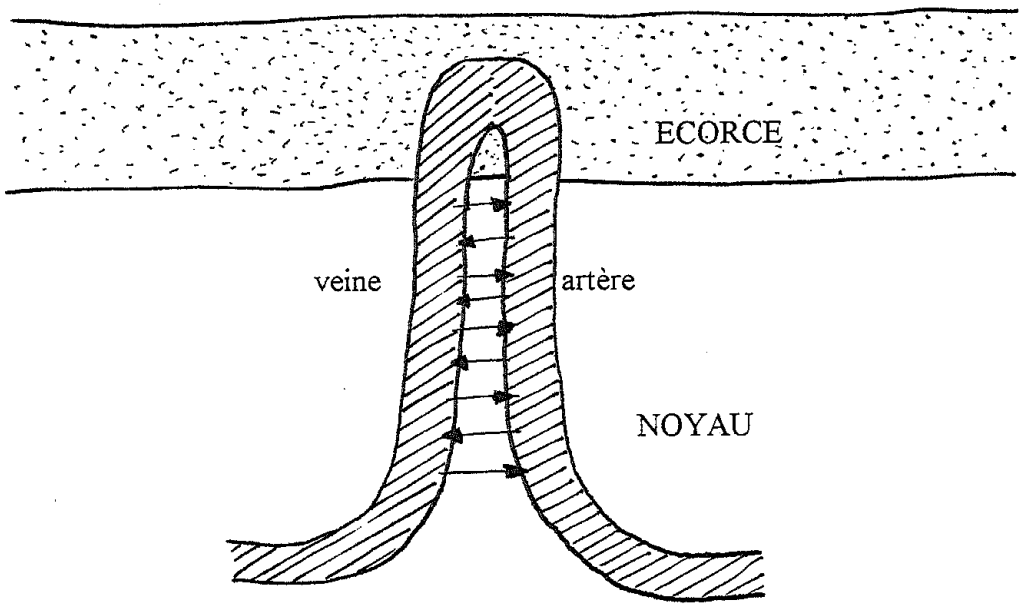


Figure 2 : Courant thermique : les échanges de chaleur se font de façon précoce entre artères et veines adjacentes.

2. 2. 2. Régulation des échanges thermiques

Le seul moyen que va avoir l'organisme pour contrôler ces échanges, c'est l'ajustement des débits cutanés sanguins. Celui-ci se fera pour des variations de la température ambiante ou localisée de façon rapide, très efficace et visible surtout au niveau de la face et des extrémités, là où la concentration des thermorécepteurs est la plus forte. Il s'agit d'un réflexe géré par le

système nerveux végétatif autonome. Il existe un tonus vasoconstricteur permanent sous la dépendance du sympathique. Il est à noter que l'innervation parasympathique est totalement absente. En réponse à une stimulation thermique locale ou locorégionale, son action peut être considérable sur la vasomotricité, agissant directement sur les anastomoses artério-veineuses. Celles-ci sont des structures particulières de la circulation cutanée, principalement réparties au niveau des extrémités et qui font communiquer à plein canal artérioles et veinules (fig. 4).Ces shunts vont pouvoir amputer jusqu'à 50 % de son débit la circulation cutanée diminuant d'autant la déperdition de chaleur par convection.

La circulation cutanée est également sous la dépendance d'autres systèmes :

- un réflexe d'axone : cette voie réflexe n'est pas intégrée au niveau médullaire. C'est une réaction instantanée au stimulus,
- un réflexe médullaire simple par l'intermédiaire des fibres sympathiques,
- un contrôle humoral pour la libération de substances chimiques qui vont agir directement au niveau des récepteurs : . acethylcholine et histamine sont des vasodilatateurs,

  . l'adrénaline est un vasoconstricteur.

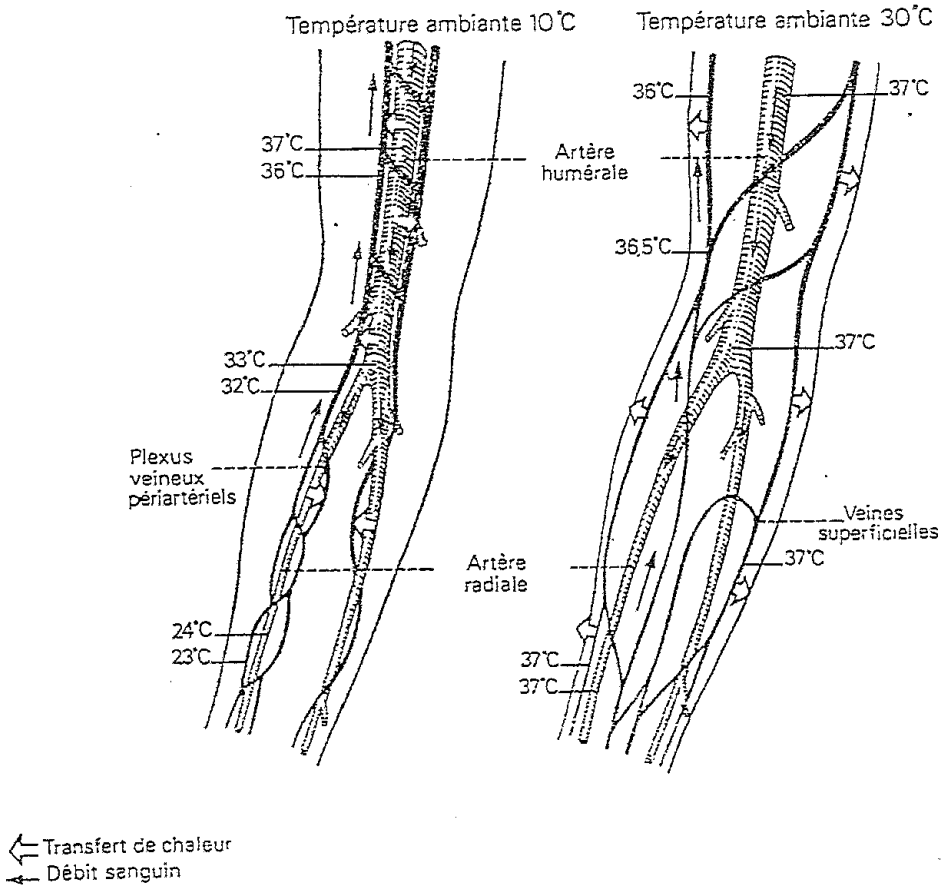


Figure 3 : Exemple d'échange de chaleur à contre-courant dans l'avant-bras chez l'homme

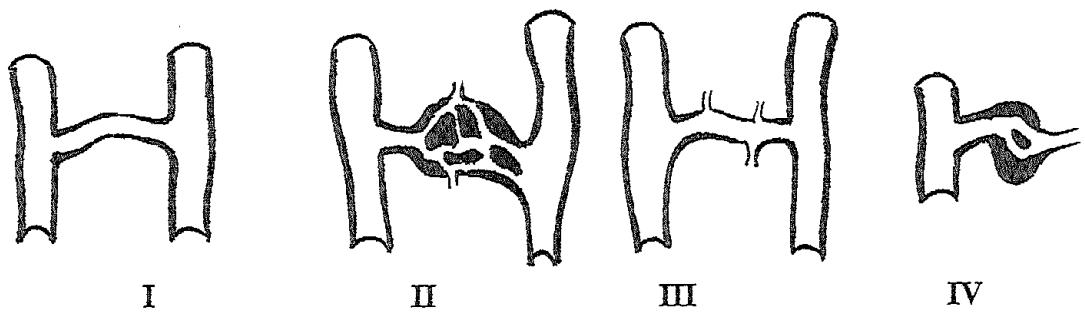


Figure 4 : Les différents types d'anastomoses (tiré de l'Anatomie par C. CABROL - Flammarion)

I Pont artério-veineux, II Glomus anastomotique, III Anastomose glomique, IV Anastomose précapillaire

En pratique, donc, lorsque la température ambiante diminue, la différence entre le corps et le milieu s'accentue et la déperdition thermique également. Pour que celle-ci soit minorée, il faut donc abaisser la température cutanée, ce qui est obtenu en diminuant le débit cutané sanguin par vasoconstriction et ouverture des anastomoses artério-veineuses. Cette baisse de débit favorise également les échanges à contre-courant entre artères et veines, le retour se faisant par les veines profondes (fig. 3). Lorsque la température ambiante augmente, pour évacuer le surplus de chaleur, il faut augmenter le temps et la surface des échanges. Ces effets sont obtenus par la vasodilatation, la fermeture des anastomoses et le retour par les veines superficielles qui va prolonger les échanges.

Cette variabilité importante des débits cutanés siège principalementr au niveau des extrémités, et en particulier au niveau de la main comme le montre le tableau II (tab. II).

Tableau II : Valeurs extrêmes de débits locaux au niveau du membre supérieur.(12)
TA : température ambiante
TA : 45°C : température maximale supportée (5, 12)
TA : 15°C : température minimale pour laquelle est obtenu le débit le plus faible (7)

Membre supérieur	**Débits en ml/min/100 cm² de tissu**	
	Débit maximal TA = 45°C	Débit minimal TA = 15°C
Doigts Main Avant-bras	100 à 180 50 à 75 15	1 à 2 0,5 à 1 2

Ces différences observées correspondent à la richesse de ces territoires en thermorécepteurs et en anastomoses artério-veineuses.

2. 3. Physiopathogénie de l'oedème

En traumatologie de la main, elle a été décrite par MERLE et FOUCHER (1, 2) et résumée par la figure 5 (fig. 5).

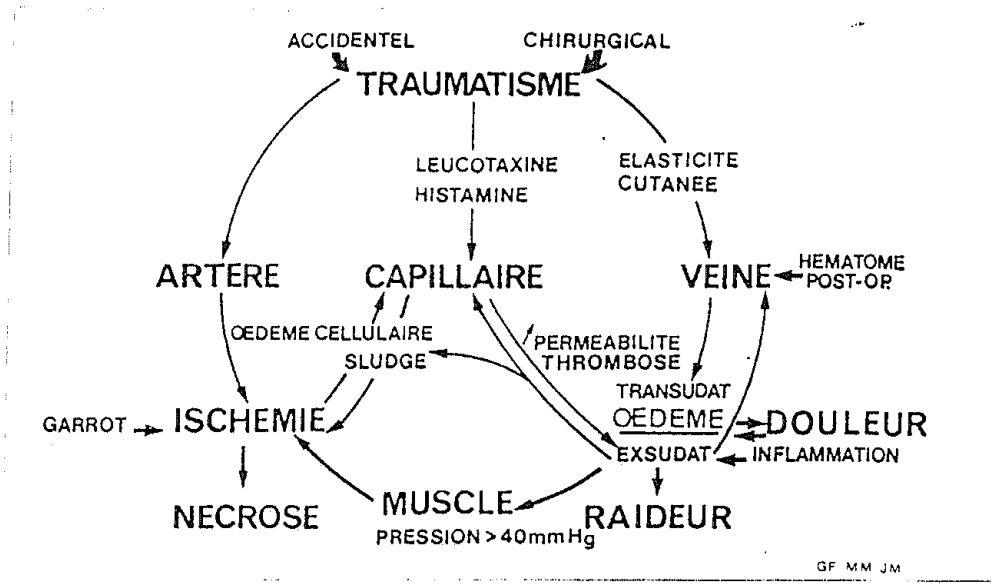


Figure 5 : Pathogénie de l'oedème

L'oedème est d'origine veineux, le retour étant entravé par la section de nombreux vaisseaux. La réaction post-traumatique et chirurgical avec la libération de substances chimiques vasodilatatoires et l'inflammation comprimant les vaisseaux facilitent cette stase veineuse. Secondairement, il sera également lymphatique, le réseau étant lui-même amputé d'un certain nombre de relais le système est vite saturé, et le drainage ne sera pas efficace.

Rappelons qu'à l'examen clinique l'oedème veineux est mou, prend le "godet" à la pression punctiforme, et entraîne une cyanose des extrémités. Il est amélioré par la position déclive. L'oedème lymphatique est lui dur, sans cyanose, ne prend pas le "godet".Il n'est pas amélioré par la position déclive (14).

3. MATERIEL ET METHODE

3. 1. Matériel

3. 1. 1. Population

Pour l'évaluation de la circulation cutanée, nous avons choisi un échantillon de population parmi le personnel du service de rééducation fonctionnelle de l'hôpital Jeanne d'Arc : kinésithérapeutes, ergothérapeutes, secrétaires et stagiaires. Ces individus pris au hasard ne présentent aucune affection : ils représentent un échantillon de population "saine".

Elle est composée de 24 personnes parmi lesquelles 16 femmes et 8 hommes.

3. 1. 2. Matériel expérimental

- 2 bacs en acier inoxydable adaptés à la morphologie de l'avant-bras, l'un est rempli d'eau chaude, l'autre d'eau froide (fig. 6)
- 1 thermomètre pour contrôler la température des bacs
- 1 pléthysmographe à jauge de contrainte de type PERIVIEN JSI 0539/1 de marque ETNA muni d'un enregistreur KIPP & ZONEN de type BD41 (fig. 7).

La pléthysmographie par jauge de contrainte a été introduite en 1953 par WHITNEY. La jauge de contrainte est constituée d'un tube de polyéthylène (fig. 8) qui contient une colonne de mercure, dont les extrémités sont reliées par deux fils conducteurs souples à un pont de Wheastone qui en apprécie la résistance. Le tube est placé circulairement autour du membre à étudier. Les modifications de la circonférence du segment de membre, liées au passage de l'onde pulsative ou au gonflement d'un brassard de compression veineuse entraînent un allongement du tube en polyéthylène, la colonne de mercure est allongée et amincie, entraînant des variations de résistance électrique qui sont mesurables et enregistrables.

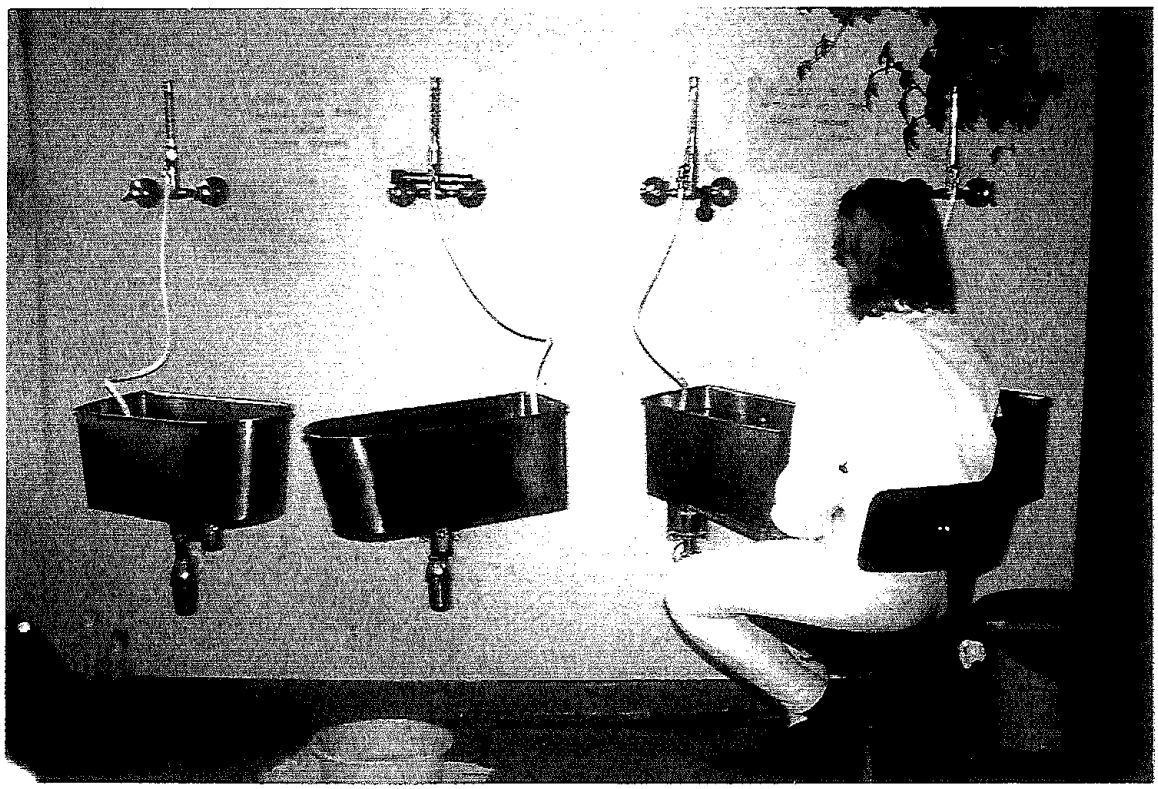


Figure 6 : Salle des bains d'écossais

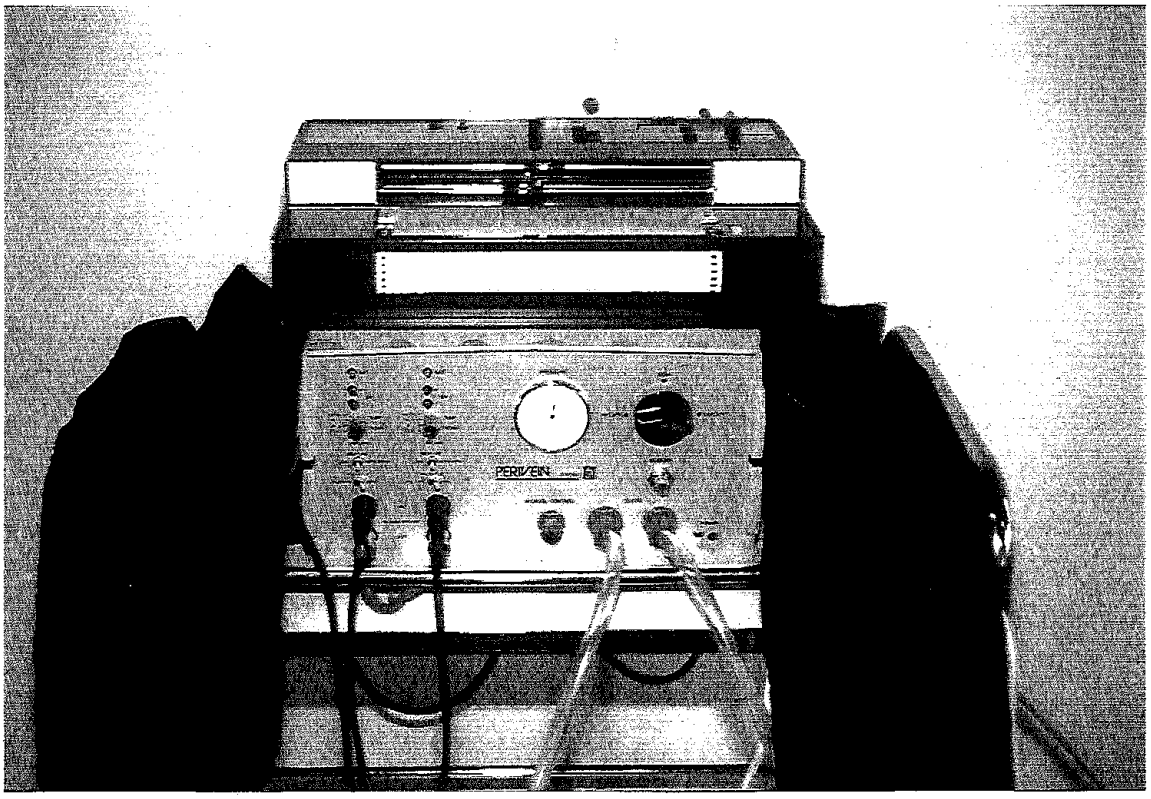


Figure 7 : Pléthysmographe à jauge de contrainte et son unité enregistreuse

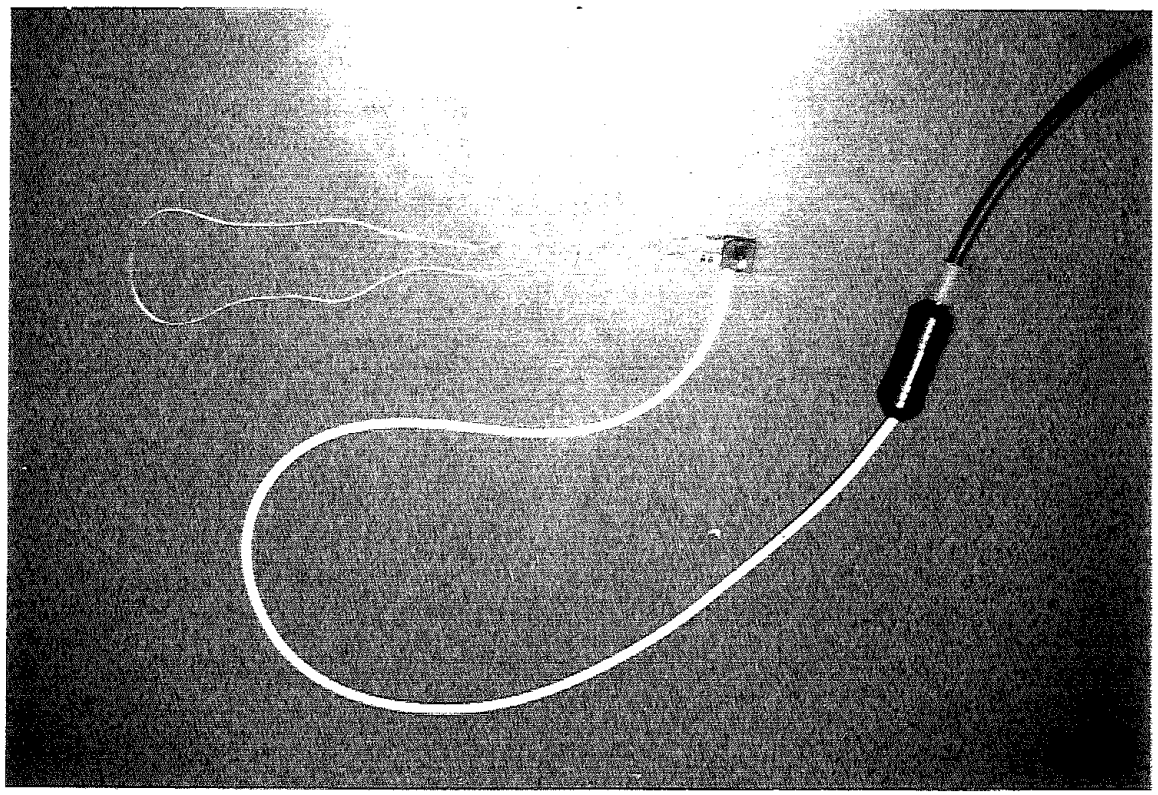


Figure 8 : Jauge de contrainte

Figure 9 : Séance de bains écossais

L'enregistreur va retranscrire l'augmentation de volume du membre autour duquel est placée la jauge de contrainte par rapport au temps $\frac{V}{t}$ ce qui correspond à un débit : $Q = \frac{V}{t}$

3. 2 Méthode

3. 2. 1. Protocole

C'est celui qui a été décrit par P. DOTTE (11). Le membre supérieur est placé 3 minutes dans l'eau chaude suivi par 1 minute dans l'eau froide et ceci alternativement pendant 20 minutes. La température de l'eau chaude et de l'eau froide est autant que possible toujours la même pendant les 20 minutes du traitement. La température est contrôlée à chaque cycle, et de l'eau chaude ou de l'eau froide est ajoutée pour compenser les variations.
P. DOTTE préconise les températures à utiliser : 10 à 12°C pour des bains froids et le maximum toléré par le patient pour les bains chauds. Nous avons ici volontairement utilisé les températures trouvées dans les conditions qui sont appliquées aux patients (l'eau chaude est à 42°C et l'eau froide à 24°C).

La séance va se dérouler de la façon suivante : le sujet assis, immerge sa main et son avant-bras, coude fléchi à 90° pendant 3 minutes dans le bac d'eau chaude, puis le place pendant 1 minute dans le bac d'eau froide. Il recommence ceci 5 fois de suite et termine la séance par l'eau froide (fig. 9).

Nous effectuons une mesure pléthysmographique des débits sanguins au repos avant la séance au niveau de la jonction tiers supérieur - tiers moyen de l'avant-bras droit du sujet.

Nous effectuons une seconde mesure immédiatement après que celui-ci ait retiré sa main du bac d'eau froide.

La 3ème mesure est faite 10 minutes après la fin du traitement, la 4ème mesure 20 minutes après, la 5ème 30 minutes après.

Nous allons ainsi pouvoir visualiser l'évolution des débits dans le temps après une séance de bains écossais.

3. 2. 2. Prise de mesures

3. 2. 2. 1. Installation du sujet (fig. 10)

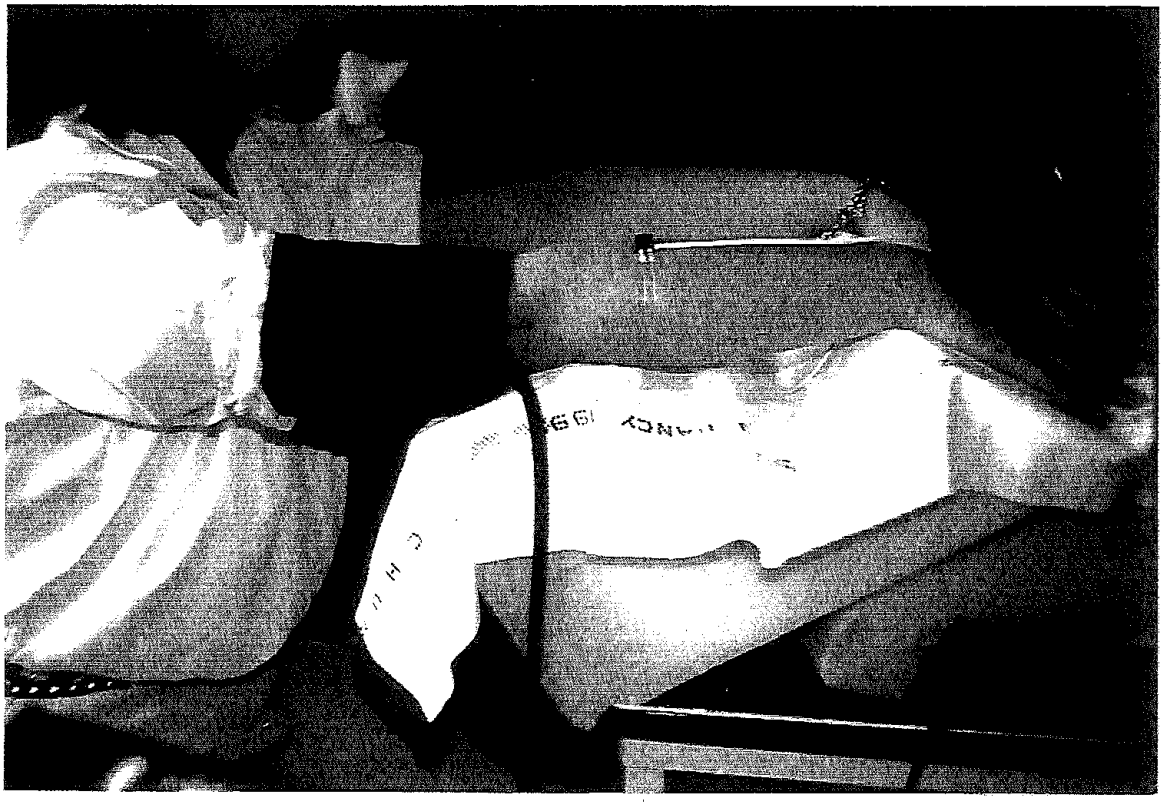


Figure 10 : Installation du sujet

Il est en position assise, le bras à 90° d'antépulsion, donc positionné au-dessus du coeur pour ne pas gêner le retour veineux. Bras et avant-bras reposent sur des coussins en mousse pour une question de confort, mais aussi pour ne pas comprimer les vaisseaux superficiels.
La manchette de compression est placée au niveau bras de l'individu et le capteur à la partie médiane de l'avant-bras de telle façon qu'il ne repose nulle part pour ne pas parasiter

l'enregistrement. Il sera également donné comme consigne au sujet de ne pas bouger pendant la mesure, les contractions musculaires entraînant des artéfacts. Il faudra bien veiller à ce que le capteur soit assez serré.

Le pléthysmographe est muni de 2 voies, nous n'en utilisons qu'une seule. Il existe différentes tailles de capteurs, nous utilisons ceux qui sont les mieux adaptés à la morphologie du sujet. Lors de l'installation de celui-ci, nous marquons sur la peau son emplacement exact pour pouvoir effectuer les mesures suivantes au même endroit lorsque nous placerons à nouveau le capteur.

3. 2. 2. 2. Mode d'emploi du pléthysmographe

Dans un premier temps, l'unité pneumatique et l'enregistreur graphique sont mis sous tension.

La longueur initiale du capteur est étalonnée sur le zéro et le stylet graphique est placé au tiers inférieur du papier millimétré :

- le bouton qui indique "Pulsative" est placé sur "zéro" (fig. 11)
- le bouton qui indique "Measure" est poussé vers la mention "auto zéro" et les deux diodes vertes + et - s'éteignent : l'étalonnage est fait.

Le bouton qui indique "Pulsative" est mis sur le mode "Plethys" et l'unité pneumatique est prête.

Au niveau du traceur graphique, une vitesse de défilement du papier 2, 5 ou 10 mm/s est sélectionnée. Nous utiliserons une vitesse d'enregistrement de 2 mm/s pour obtenir une mesure plus précise. La mesure peut commencer.

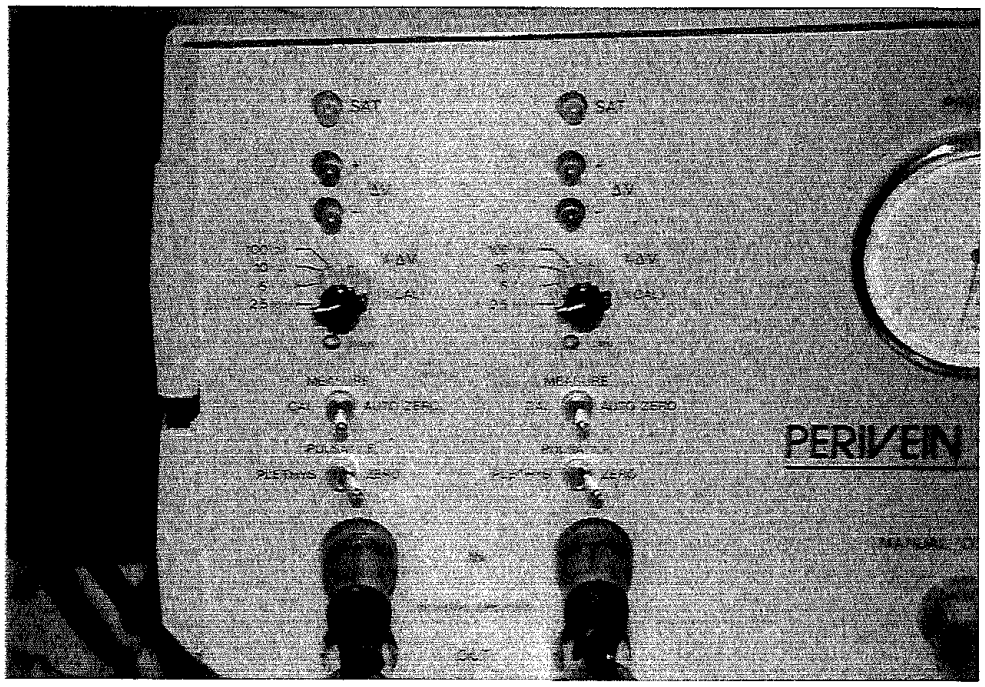


Figure 11 : Emploi du pléthysmographe

Figure 12 : Unité pneumatique

3. 2. 2. 3. Mesure et interprétation

Le brassard est gonflé à une pression de 60 mmHg afin d'empêcher le retour veineux tout en permettant au sang artériel de passer tout à fait normalement vers la périphérie, en plaçant le bouton de droite sur la position "inflate" : la pression visualisée dans le manomètre monte, dès qu'elle atteint la valeur de 60 mmHg, le bouton est placé sur la position "Stop" et le brassard reste gonflé à la pression obtenue. Cette pression est maintenue pendant une durée de 10 secondes, puis le curseur est placé sur la position "Deflate" et le brassard se regonfle (fig. 12).

La courbe obtenue sur l'enregistreur représente le débit artériel cutané. Cette courbe est interprétable soit à la main, soit à l'aide d'un abaque. Elle donne le débit en ml/min/100 cm^3 de tissu considéré (ANNEXE II et III). A chaque fois, nous faisons plusieurs mesures, en éliminant les courbes perturbées, nous faisons une moyenne sur 3 mesures pour une meilleur approche.

Nous utilisons la méthode de mesure par abaque dont la précision est suffisante, compte tenu même du pourcentage d'erreur commis en traçant la tangente.

4. RESULTATS

4. 1. Tableau de mesures (ANNEXE IV)

Les chiffres donnés sont des débits en ml/min pour 100 ml de tissu considéré. Ce ne sont que des valeurs approchées, la précision de deux chiffres après la virgule n'est le fait que de la moyenne prise sur 3 mesures sans artéfact.

Nous avons 5 colonnes par patient :

- la première indique la valeur du débit initial en ml/Min/100 ml pris juste avant le début du traitement,

- la deuxième correspond au débit mesuré immédiatement après la séance de bains écossais, au sortir de l'eau froide, et la valeur en pourcentage par rapport au débit initial,

- les troisième, quatrième et cinquième colonnes correspondent aux temps t2 à 10 min, t3 à 20 min et t4 à 30 min après la fin du traitement.

- les 4 dernières colonnes étant les rapports des débits aux différents temps sur le débit initial.

4. 2. Interprétation des résultats

4. 2. 1. Interprétation des histogrammes

L'évolution du débit cutané est représenté pour chaque sujet par un histogramme. Le débit est directement visualisé par la surface imprimée, et on peut suivre son évolution dans le temps.

De l'étude de ces histogrammes, nous pouvons regrouper les sujets en 3 catégories selon l'aspect de l'évolution des débits aux différents temps (ANNEXES V et VI).

1er groupe : le débit augmente au temps t1 puis décroît progressivement au temps t4, ce groupe comprend 14 sujets/24 ce qui correspond à 58,33 % des cas.

2e groupe : le débit augmente progressivement avant de redescendre. Ce groupe comprend 7 sujets/24 ce qui correspond à 29,16 % des cas.

3e groupe : le débit décroît tout d'abord avant de remonter à nouveau. Ce groupe est composé de 3 sujets/24 soit 12,5 % des cas.

A partir des colonnes correspondant aux rapports t1/t0, t2/t0, t3/t0, t4/t0, on établit une répartition par classe dont on établit des représentations histogrammiques de différents temps.(ANNEXES VII et VIII).

Il en ressort qu'au temps t1 : 83,33 % des sujets voient leur débit initial augmenté, au temps t2 : 87,50 %, au temps t3 : 75 % et au temps t4 : 62,5 % avec un rapprochement des valeurs autour de 1 au cours du temps.

Nous montrons l'évolution de débit dans le temps des moyennes obtenues sur les mesures des 24 sujets sur 2 courbes, l'une par rapport aux débits, l'autre par rapport au pourcentage d'augmentation de ceux-ci (fig. 13 et 14).

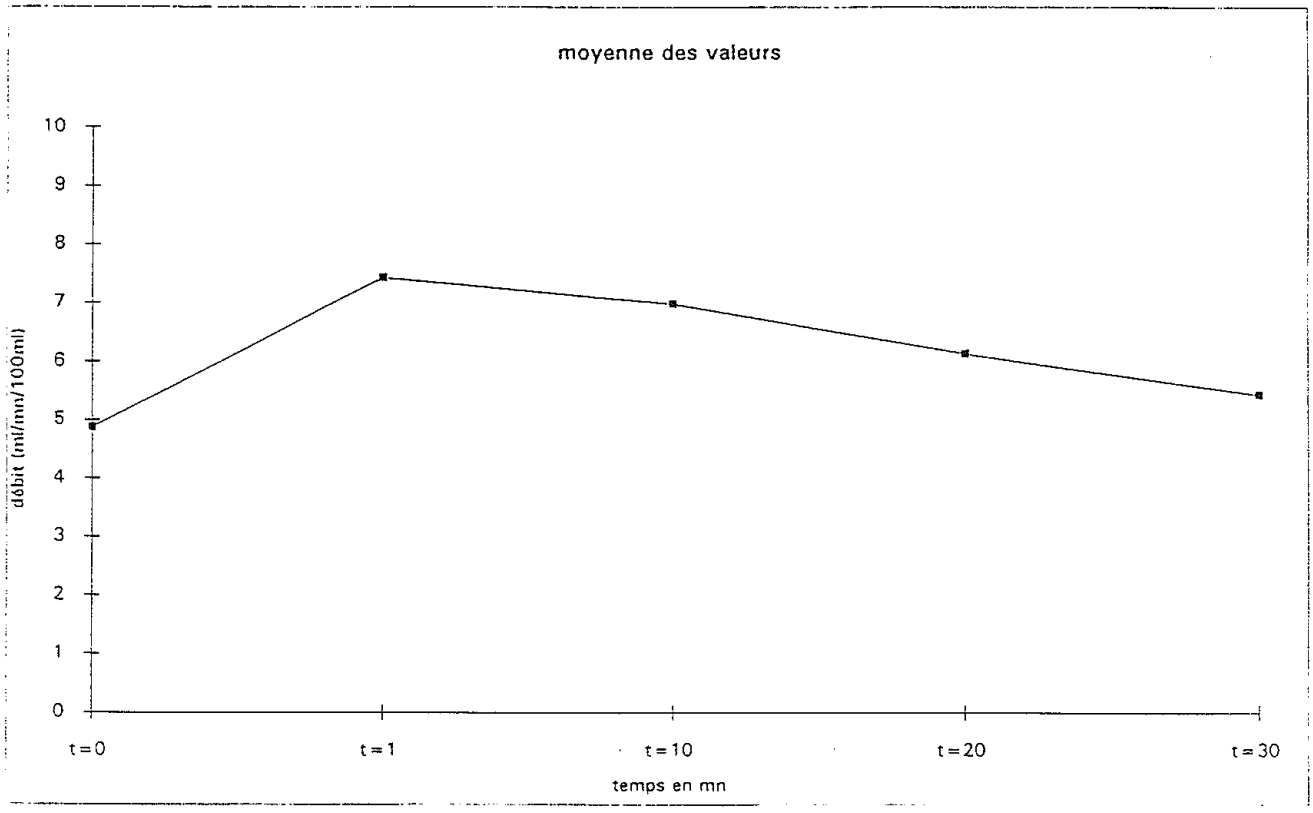


Figure 13 : Courbe d'évolution des moyennes dans le temps

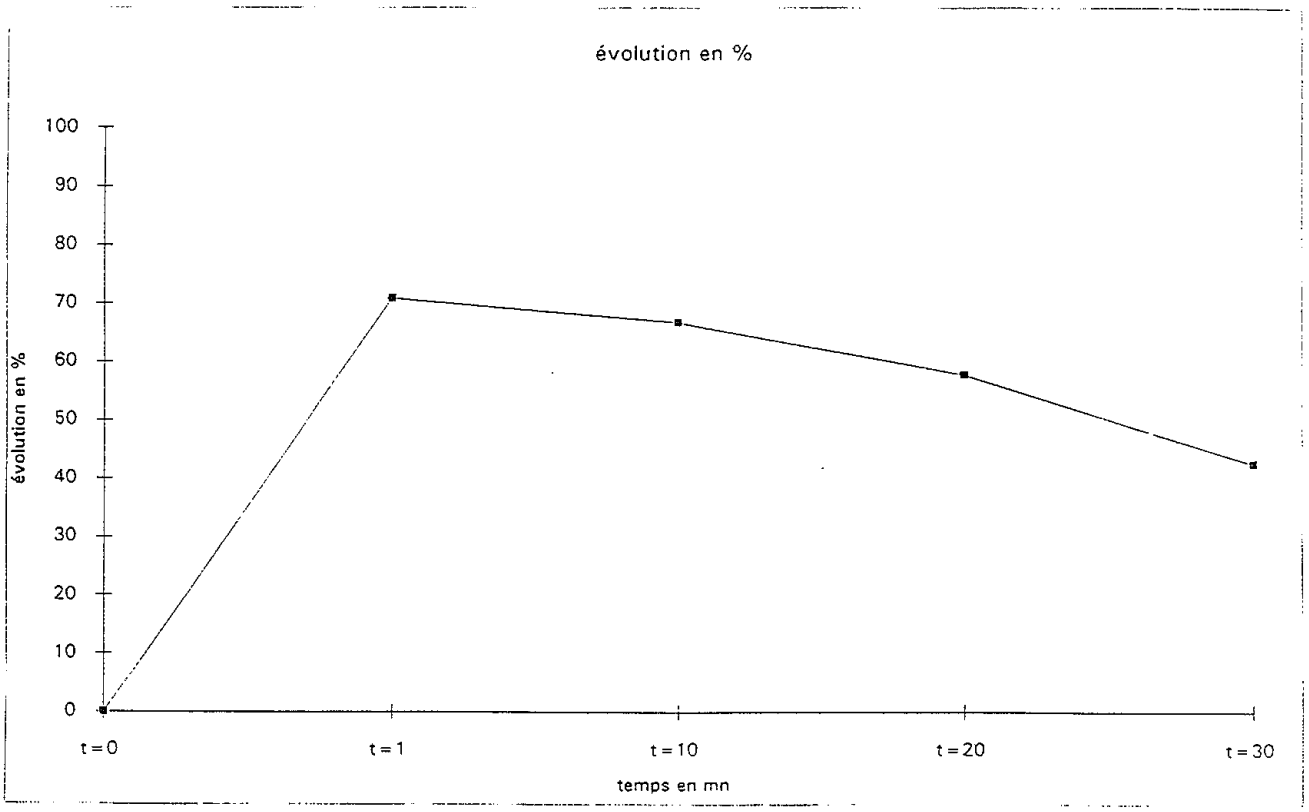


Figure 14 : Courbe d'évolution des pourcentages dans le temps.

Il en ressort une nette augmentation des débits en moyenne de pourcentage immédiatement après la séance, puis, ceux-ci décroissent progressivement.

4. 2. 2. Interprétation statistique

Cette augmentation, visible sur les courbes est confirmée par l'analyse statistique des résultats. Pour cela nous utilisons un test de Student sur des valeurs appariées (pour chaque valeur). La formule employée est celle-ci : $t_{cal} = \frac{\overline{d}}{\sqrt{\frac{S^2d}{n-1}}}$ et elle sera comparée avec la table de Student correspondante :

n = population : 24

$\overline{d}$ = moyenne des différences

d1 = différence = valeur (t1) - valeur (débit initial)

d2 = valeur (t2) - valeur (débit initial)

d3 et d4

S^2d = variance des différences $S^2d1 = \frac{\Sigma d1^2}{n} - \left(\frac{d}{n}\right)^2$ (ANNEXE IX).

t1 cal = 3,93

t2 cal = 3,67

t3 cal = 3,03

t4 cal = 2,10

Au risque 5 % la valeur seuil lue dans la table de Student pour 23 degrés de liberté (n - 1) vaut t α = 2,069.

Les probabilités correspondant aux valeurs 3,93 ; 3,67 et 3,03 sont très voisines de 0,01. En conclusion, les différences observées sont hautement significatives (p = 0,01) d'une augmentation du débit après les bains écossais aux temps t1 = juste après, t2 = 10 min après et t3 = 20 min après.

La probabilité correspondant à la valeur 2,10 est elle voisine de 0,05 : la différence observée est significative (p = 0,05) d'une augmentation de débit au temps t4 = 30 min après les bains écossais.

5. DISCUSSION

5. 1. Interprétation des résultats

Les résultats statistiques, comme les représentations graphiques prouvent que l'on a bien une action sur la vasomotricité au niveau local. Elle se traduit à la fin de la séance par une augmentation générale du débit cutané jusqu'à 30 minutes après le traitement (fig. 13).

Cette augmentation des débits va agir à plusieurs niveaux sur le schéma de MERLE (1,2) (fig. 5) :

- évacuation des substances chimiques entretenant l'oedème et la réaction inflammatoire
- un véritable phénomène de pompage par la vasodilatation et vasoconstriction du plexus veineux agissant sur l'oedème.

Enfin, ils vont également agir sur ce "cercle vicieux" par leur action antalgique. De plus, ils laissent une sensation agréable de détente des tissus (impression subjective recueillie auprès des patients utilisant cette technique).

5. 2. Conditions générales d'examen des résultats

Il convient de remarquer qu'il existe de grandes variations dans les valeurs des débits cutanés sanguins initiaux, puisque les valeurs s'échelonnent de 1,43 ml/min/100 ml à 11 ml/min/100 ml. Ces différences s'expliquent de différentes façons :

- tout d'abord, il existe des disparités individuelles
- la valeur mesurée va également dépendre de l'heure à laquelle elle a été effectuée (matin, après-midi, avant ou après le repas)
- la température ambiante le jour de la mesure
- le sujet aura ou non, avant la mesure une activité physique ou non
- la réactivité du sujet aux stimulations.

Considérons le sujet n° 6 par exemple (ANNEXE V), on remarque que son débit initial de 6,71 ml/min/100 ml passe à 4,6 ml/min/100 ml après 50 minutes de repos relatif, car durant la séance le sujet ne bouge pas. Le débit initial n'était donc pas son débit au repos.

5. 3. Analyse des différences observées

Nous avons remarqué que chez les sujets du groupe 1 (ANNEXE V), 2 cas se présentent

- soit le débit au temps t1 est plus élevé qu'à t0 et il décroît progressivement jusqu'à t4 à un niveau toujours supérieur à celui de t0,
- soit il est plus élevé à t1 qu'à t0, mais ne décroît plus et pour finir, à t4 il se retrouve inférieur au débit initial trouvé.

Dans le second cas, 2 hypothèses s'imposent pour expliquer ce phénomène :

- soit le sujet avait eu une activité physique quelconque avant de faire la première mesure, avant la séance de bains écossais ; la valeur alors obtenue n'était pas le débit basal au repos,
- soit le sujet venait d'une pièce plus chaude, ou avait les bras couverts avant la première mesure. La température ambiante étant plus basse à ce moment dans la pièce où se déroulait les mesures, et ses avant-bras étant découverts, le débit basal diminuait alors, ce qui est retrouvé dans l'évolution des débits.

En ce qui concerne les sujets du groupe 2 (ANNEXE VI), nous pouvons supposer que cette augmentation de débit plus lente est due, comme dans le cas du groupe 1 : soit à un changement de température ambiante du milieu et donc à une augmentation générale du débit cutané, soit que la réaction de ces individus aux stimulis est plus lente avec une augmentation de débit maximale entre t2 et t3, soit 10 à 20 minutes après la séance.

Pour les sujets du groupe 3 (ANNEXE VI), nous retrouvons les mêmes paramètres, mais l'adaptation est plus lente encore.

5. 4. L'installation du sujet et du matériel

L'installation du matériel de mesure sur le patient après la séance de bains écossais prend 2 à 3 minutes. Ce temps d'installation agit sûrement sur le résultat de la mesure du débit sanguin au retour du traitement qui se termine par 1 minute l'avant-bras dans l'eau froide. Nous pourriont nous attendre à trouver un débit diminué au temps t1, or il en est tout à fait autrement, comme nous le constatons sur les différentes représentations histogrammiques. Ceci tendrait donc à prouver que les variations de débits cutanés peuvent être très rapides. L'idéal, bien sûr, aurait été de pouvoir prendre des mesures de débit en temps réel durant toute la

séance, pour pouvoir apprécier le plus significativement l'action des bains chauds et froids sur la circulation cutanée.

Les mesures ont été effectuées au niveau de l'avant-bras, et, comme nous l'avons fait remarquer dans le chapitre 2, ce n'est pas à ce niveau que les variations de débit sont les plus importantes. Pourtant, au regard des résultats obtenus et sachant que la réactivité au niveau de la main et des doigts est plus importante, il nous est permis de penser que les résultats auraient été d'autant plus significatifs à ce niveau. Le choix de la mesure des débits au niveau de l'avant-bras nous a été imposé par le fait que cet appareil est utilisé habituellement pour la mesure des débits artériels au niveau du mollet au service de Médecine Générale de l'hôpital Jeanne d'Arc, et qu'il n'existait par sur place de capteurs adaptables pour les doigts ou la main ; les plus petits pouvaient, malgré tout, convenir pour le diamètre de l'avant-bras.

5. 5. La température de l'eau

L'eau chaude étant à 42°C et l'eau froide à 24°C, nous avons une différence thermique de 18°C. Pour sa part, M. DOTTE (11) préconise une eau chaude correspondant au maximum supportable par l'individu et une température minimale de 10 à 12°C. M. LIVAIN (7) pour sa part, conseille d'utiliser comme températures limites 35°C pour l'eau chaude et 15°C pour l'eau froide. D'après MM. MARTINEAUD et SEROUSSI (12), la vasodilatation au chaud n'aurait pas de limite supérieure sous la double action réflexe nerveuse et chimique par la libération de bradikinine, mais une température de plus de 36,5°C est ressentie comme nociceptive (bien que les récepteurs nociceptifs à la douleur débutent leur plage d'action à partir de 45°C (12, 13). Pour ces mêmes auteurs, lorsque la température de l'eau descend en dessous de 15°C, il se produit un phénomène réflexe de vasodilatation paradoxale encore appelé phénomène de "hunting" avec augmentation des débits, et ceci, afin d'éviter le refroidissement trop important des extrémités. Pour des mains qui souffrent, il est important de ne pas apporter de nouvelles

agressions. Les températures optimales à utiliser pour obtenir les meilleurs résultats sont donc de 36,5°C pour le bain chaud et 15°C pour le bain froid.

5. 6. Perspectives

Comme nous l'avons fait remarquer, des problèmes de tous ordres nous sont apparus tout au long de notre expérimentation.

Ces difficultés ont également été innérantes :

- au temps restreint dû à la durée même du stage
- à l'apprentissage de l'utilisation du matériel de mesure et à son adaptation
- aux conditions thermiques de l'environnement
- à la disponibilité du personnel pendant les heures de travail, personnel dont nous souhaitons souligner son aimable participation.

Afin de faire une étude plus minutieuse et plus précise, il conviendrait d'avoir :

- une population plus importante
- le repos du sujet pendant au moins 1 heure avant l'expérimentation dans une salle tempérée
- la mesure toujours effectuée à la même période de la journée pour tous les sujets
- des capteurs adaptés pour la mesure des débits aux doigts
- les températures d'eau décrites plus haut, soit 36,5 °C pour l'eau chaude et 15 °C pour l'eau froide.

6. CONCLUSION

Nous l'avons vu, les statistiques montrent que les bains écossais entraînent des variations des débits cutanés dans le temps. Cette action vasomotrice des bains écossais sur la circulation cutanée est particulièrement intéressante car elle va lutter contre la stase veineuse et accélérer l'élimination des toxines, rompant ainsi le cercle d'auto-entretien de l'oedème, surtout dans le cas d'une main enraidie ou immobilisée.
En plus de leur effet antalgique, décontractant, ils préparent de façon efficace au travail actif et passif durant tout le temps de la séance de rééducation.

Associés à d'autres techniques de résorption de l'oedème, les bains écossais nous semblent être un complément intéressant apporté à l'arsenal thérapeutique utilisé dans la rééducation de la main et du poignet traumatiques et chirurgicaux.

Rappelons que d'après la littérature, pour obtenir une efficacité optimale, les températures de 36,5 °C maximum pour l'eau chaude et 15 °C minimum pour l'eau froide sont à appliquer.

Notre étude a porté sur un protocole d'une minute dans l'eau froide et 3 minutes dans l'eau chaude. Peut-être serait-il intéressant d'effectuer des séries de mesure portant sur d'autres protocoles avec des temps d'applications ainsi qu'un temps total de travail différent et ainsi voir s'il existe des différences significatives.

Il serait également intéressant d'interroger les patients bénéficiant de ce traitement pour préciser les effets subjectifs que procurent les bains écossais sur la détente des tissus, la mobilité, la douleur...

BIBLIOGRAPHIE

1. **FOUCHER G., MERLE M., MICHON J., SIBILLY A.** - L'oedème en chirurgie de la main - Rev. Réadapt. Fonct. Prof. Soc., 1978, 3, p. 40-44.

2. **XENARD J., MERLE M., PETRY D., ANDRE J.M.** - Organisation du traitement de rééducation de la main traumatisée - Rev. Réadapt. Fonct. Prof. Soc., 1980, 5, p. 42-47.

3. **GAVILLOT C., ISEL M., PETRY D.**, - Rééducation précoce des traumatismes de la main - **MERLE M., DAUTEL G.** - La main traumatique - Paris : Masson, 1992 - p. 311-320.

4. **MOUTET F., DEDIEU J.F., JAMBON D., MITERNIQUE B., THOMAS D., VIAL B., VOIRIN C.L.** - Rééducation et appareillage de la main traumatique - Paris : Masson, 1988 - 100 p. - Monographies de Bois-Larris.

5. **THEYS S.**- Approche différentielle du traitement physique de l'oedème des membres - Cah. Kinésithér., 1989, fasc. 140, n° 6, p. 52-56.

6. **WACKENHEIM A., BOURJAT P.** - Physiothérapie - Paris : Doin, 1972 - 180 p.

7. **LIVAIN T., VIAL B., CHARPIN C., LACOMBE P., PIGEAON E., ROI M.** - Rééducation des algodystrophies de la main et du membre supérieur - Cah. Kinésithér., 1988, fasc. 130, n° 2, p. 67-79.

8. **BRETON G., CARZON J., COURTILLON A., DANIEL F., DARNAULT A., HEULEU J.N.** - La rééducation est-elle une contre-indication dans le traitement des algodystrophies réflexes ? - SIMON L., HERKISSON Ch. - Les algodystrophies sympathiques réflexes - Paris : Masson, 1987, p. 236-239 - Acquisitions rhumatologiques.

9. **CLAUSTRE J.**- Traitement cinésiologique de l'algodystrophie réflexe du pied - SIMON L., HERKISSON Ch. - Les algodystrophies sympathiques réflexes - Paris : Masson, 1987, p. 257-262 - Acquisitions rhumatologiques.

10. **SIMON L., BLOTMAN F.,** Ltiel des oedèmes veineux et lymphatiques - Cah. Kinésithr., 1989, fasc. 14**EROUX J.L., CLAUSTRE J., AZEMA M.J., BRUN-MEYER M.**. - Rééducation et algodystrophie - Revue du Rhumatisme, 1982, 49, 12, p. 861-865.

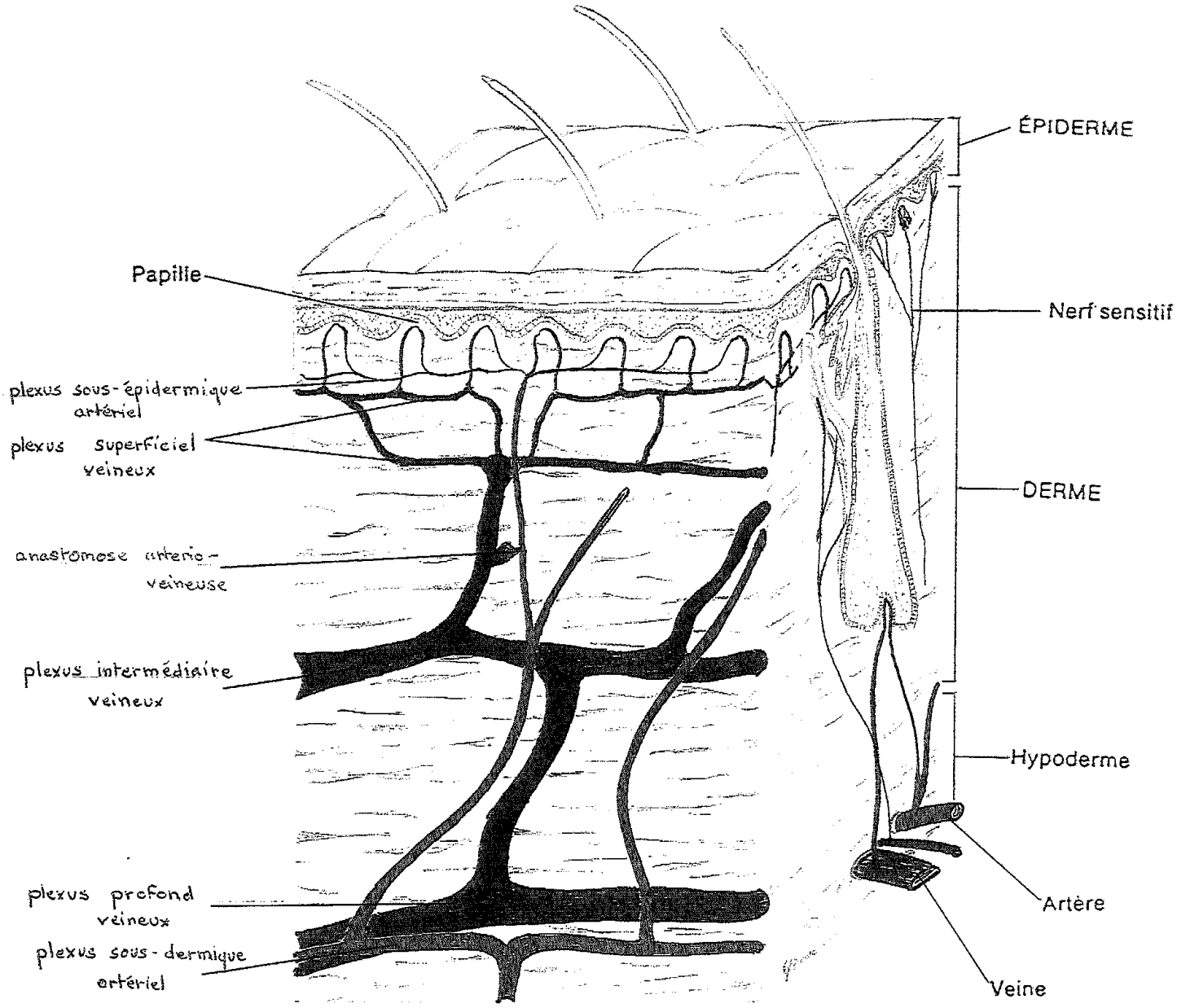
11. **DOTTE P.** - Quelques notions utiles pour la rééducation post-traumatique du pied - Cinèse, Cercle Kiné Lyon, 1970, p. 3-7.

12. **MARTINEAUD J.P., SEROUSSI S.** - Physiologie de la circulation cutanée - Paris : Masson, 1977, 110 P.

13. **ANDRE J.M., LUSTIG D., XENARD J.** - Les troubles de la sensibilité cutanée - Paris : Masson, 1981, 80 p.

14. **MEGRET G.**- Diagnostic différentiel des oedèmes veineux et lymphatiques - Cah. Kinésithr., 1989, fasc. 140, n° 6, p. 29-33.

ANNEXES



LA CIRCULATION CUTANÉE

./.

ANALYSE DU PLETHYSMOGRAMME

L'analyse du plethysmogramme, qui peut être faite à la main ou par la superposition d'un abaque part du point de vue que l'augmentation du remplissage des vaisseaux après la stase n'est pas sujet à des influences anti-régulatoires et correspond ainsi à l'arrivée de sang artériel, qui résulterait sans stase. Seulement quand les veines sont remplies et que par leur tonicité elles engendrent une résistance à un remplissage supérieur, le tracé devient toujours plus plat pour arriver à un maximum asymptotiquement. Le maximum correspond à la capacité veineuse maximale.

Pour la détermination de l'irrigationsanguine, la première partie du plethysmogramme est prise en considération. Il est toutefois possible, que par une installation non appropriée du patient, en plus du tissus , soit déplacé en direction du capteur de mesure , ce qui au moment de la stase, nous donne un rapide et important déplacement du tracé vers le haut. Le déplacement du tracé est artificiel et ne doit pas être pris en considération à la lecture . Généralement, on prend la première pulsation après la stase comme point de départ.

Interprétation à la main

L'ordonnée du pléthysmogramme est proportionnelle aux variations de volume relatives par rapport à 100 ml de tissus grâce au calculateur analogique incorporé dans le pont de mesure. Pour la détermination de l'irrigation sanguine , la durée en abcisse , est aussi prise en considération (échelle dépendant de la vitesse d'inscription). Comme on comprend par irrigation sanguine la quantité de sang affluant en une minute ml/100ml.min, l'angle du tracé par rapport aux abscisses, c.a.d. la tangente du tracé est prise en considération pour l'interprétation du plethysmogramme. Pour la détermination de cette grandeur, on trace un trait passant par le point de départ de la première pulsation et tangent au tracé où l'on élimine les variations dues à la respiration. En abcisses on prend le tracé équivalent à 6 s et on mesure la hauteur "H". Avec des appareils étalonnés (p.e. Périquant 3000) ou si l'on étalonne l'électrocardiographe auparavant , on peut lire directement l'afflux de sang artériel en 6 s. Pour connaître l'irrigation sanguine en 1 min. on multiplie la lecture par 10.

./.

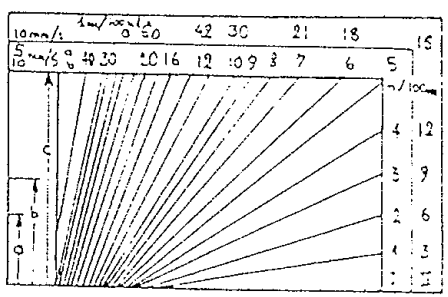
Interprétation par abaque

Comme il est connu que seul l'angle de la tangente sert à l'interprétation de l'irrigation sanguine, il a été conçu un abaque dont la précision suffit amplement pour des mesures de routine. Il est tout d'abord prévu pour la mesure de l'hyeremie réactive arpès 3 min d'ischémie et est déterminée à cet effet. Son emploi est conditionné par une vitesse de déroulement du papier de 10mm/s ou 5mm/s et que l'on étalonne l'appareil correctement. Avec l'utilisatinn du Periquant 3000, les échelles I et II sont proportionnelles aux échelles de mesures.

L'échelle I est utilisée avec l'utilisation d'un enregistreur potentiométrique de largeur de voie 200 mm et un pont de mesure PBD . lors d'une vitesse de déroulement de papier de 600 mm/min = 10 mm/s et une sensibilité de 100mV.

Lors de l'utilisation d'un enregistreur quelconque, les différentes combinaisons sont possibles

Vitesses	Déviations à l'étalonnage	Echelle
10mm/s	a = 33 mm	II
10 mm/s	c =100 mm	I
5 mm/s	b = 50 mm	I



Voir methode de mesure ANNEXE III

L'abaque est posé sur le pléthysmogramme de telle manière que les délimitations soient parrallèles aux lignes du papier et se glissent dessus jusqu'à ce qu'une ligne de l'abaque se superpose au tracé ou l'artefact de départ par un mauvais positionnement du patient est à éliminer. Lorsque l'abaque est bien positionner, on peut lire directement le résultat suivant les combinaisons ci-dessus. Parmi les différentes valeurs de l'hyperemie réactive , après une ischémie de 3 min, il existe des cas graves de trouble de l'irrigation sanguine qui peuvent être mesurés par l'abaque.

ANNEXE II

ANNEXE III

Société Européenne des Techniques Avancé

ARTÉRIEL

1% Δv = 40 mm

A = 2 mm/s

B = 5 " "

C = 10 " "

si 1% = 20 mm lire le double

VITESSE ENNEO

ML/MIN/100ML

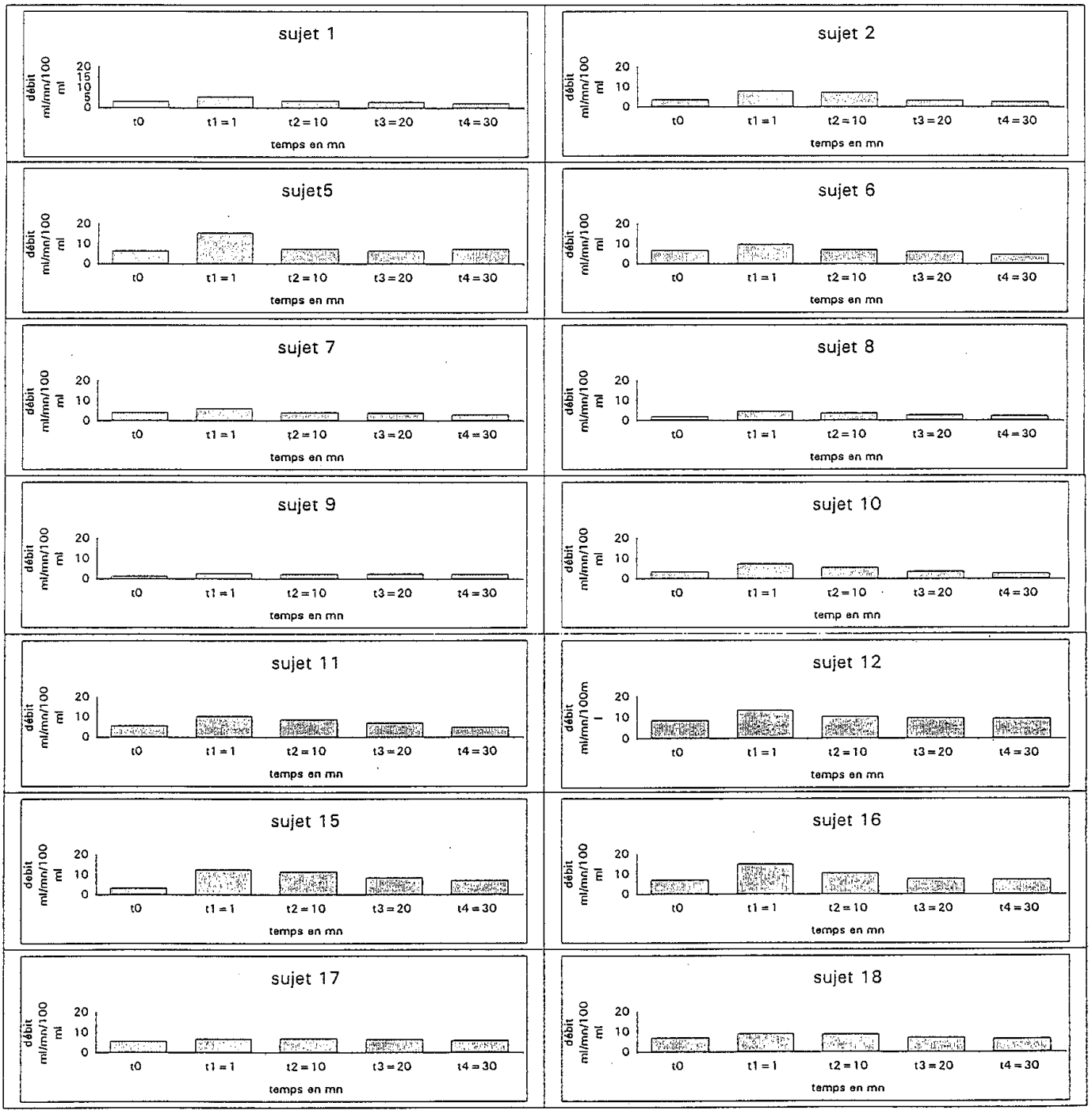
Enregistrement des débits

TABLEAU DES VALEURS

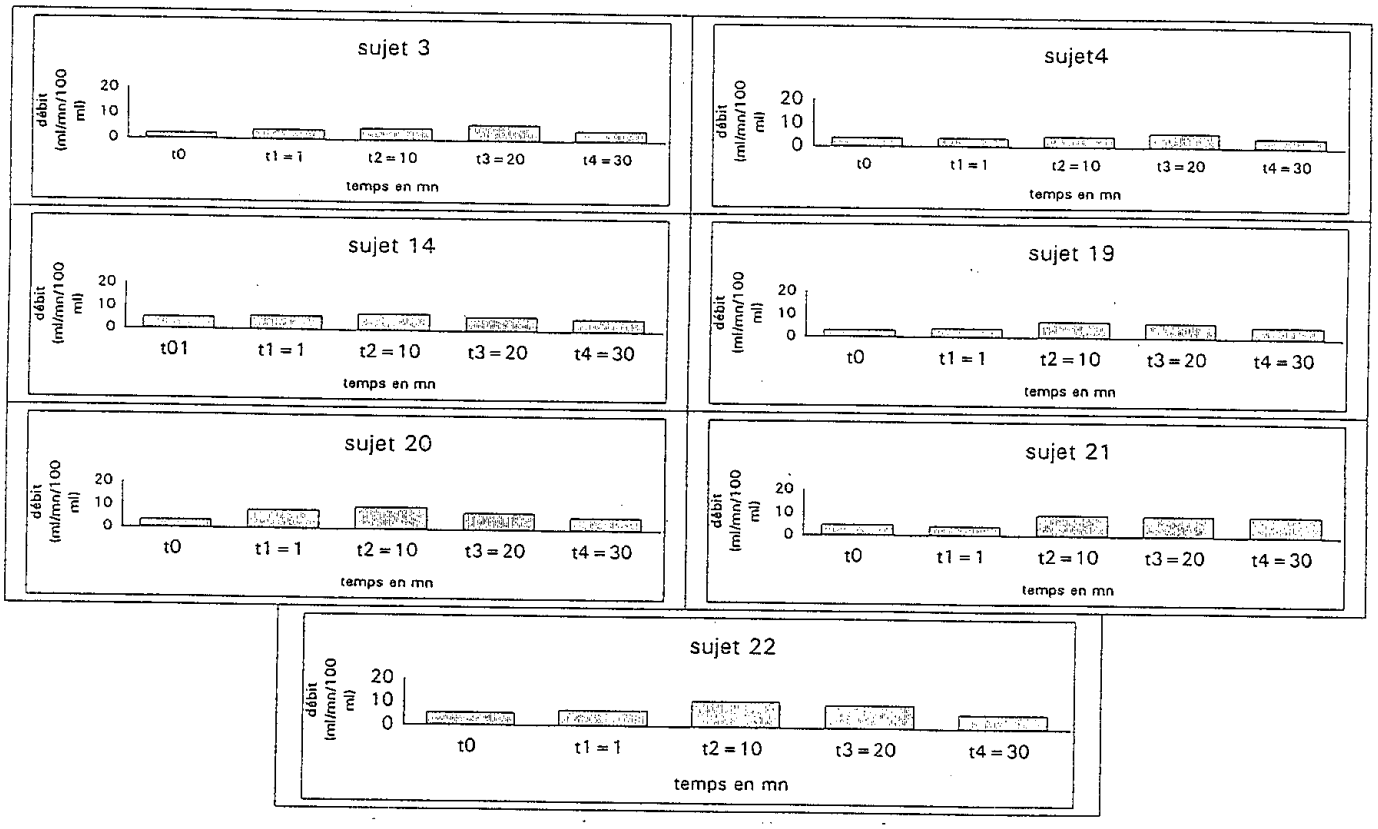
sujet	Débit initial	Débit après		10 min		20 mn.		30 mn		rapport	rapport	rapport	rapport
	valeur	valeur (t1)	%	valeur (t2)	%	valeur (t3)	%	valeur (t4)	%	t1/t0	t2/t0	t3/t0	t4/t0
1	3.13	5.43	73.00	3.46	10.50	2.90	-7.34	2.20	-29.72	1.73	1.11	0.93	0.70
2	3.61	8.01	121.90	7.20	99.45	3.21	-11.08	2.46	-31.85	2.22	2.00	0.89	0.68
3	2.18	3.75	72.00	4.67	114.22	6.25	186.70	4.13	89.45	1.72	2.14	2.87	1.89
4	3.65	4.59	25.75	4.33	18.63	4.18	14.52	3.33	-8.76	1.25	1.19	1.15	0.91
5	6.50	15.31	136.46	7.42	14.15	6.58	1.23	7.33	12.77	2.35	1.14	1.01	1.13
6	6.71	9.70	44.56	7.07	5.36	6.21	7.45	4.60	-31.45	1.45	1.05	0.93	0.68
7	4.13	6.21	50.36	4.10	0.00	3.86	6.53	2.93	-29.05	1.50	1.00	0.93	0.71
8	1.93	4.63	139.90	3.80	96.90	2.87	48.70	2.32	20.20	2.40	1.97	1.49	1.20
9	1.43	2.63	83.56	2.37	65.73	2.48	74.12	2.21	54.54	1.84	1.66	1.73	1.54
10	3.45	7.33	112.46	5.65	63.76	3.53	2.31	2.65	-23.19	2.12	1.64	1.02	0.77
11	5.65	10.33	82.83	8.73	54.51	7.12	26.01	4.93	-12.74	1.83	1.55	1.26	0.87
12	8.57	13.43	56.71	10.50	22.52	9.82	14.58	9.37	9.33	1.57	1.23	1.15	1.09
13	5.60	4.80	-14.28	6.50	16.07	7.05	25.89	7.73	38.03	0.86	1.16	1.26	1.38
14	5.35	6.05	13.08	7.30	36.45	6.33	18.32	5.43	1.50	1.13	1.36	1.18	1.01
15	3.23	12.50	286.99	11.33	250.77	8.42	160.99	7.05	118.26	3.87	3.51	2.61	2.18
16	7.08	15.00	111.86	10.50	48.30	7.80	10.17	7.15	0.01	2.12	1.48	1.1	1.01
17	5.50	6.76	22.91	6.90	25.45	6.50	18.18	6.00	9.09	1.23	1.25	1.18	1.09
18	7.06	9.00	27.48	8.75	23.93	7.30	3.40	6.53	-7.50	1.27	1.24	1.03	0.92
19	3.10	3.90	25.80	7.12	129.67	6.75	117.74	5.20	67.74	1.26	2.30	2.18	1.68
20	3.51	8.15	132.19	9.66	175.21	7.40	110.82	5.60	59.54	2.32	2.75	2.11	1.60
21	4.65	4.06	-12.69	9.23	98.49	9.10	95.69	9.00	93.54	0.87	1.98	1.96	1.94
22	5.51	6.71	21.77	11.20	103.26	10.10	83.30	6.30	14.33	1.22	2.03	1.83	1.14
23	11.00	6.50	-40.90	7.15	-35.00	8.13	-26.09	11.62	5.63	0.59	0.65	0.73	1.06
24	4.45	3.47	-22.02	2.58	-42.02	3.35	-24.72	4.35	-2.24	0.78	0.58	0.75	0.98
moyenne	4.87	7.43	64.65	6.98	58.18	6.14	39.89	5.43	17.39	1.65	1.58	1.39	1.17
ecart type	2.22	3.66	70.89	2.69	66.77	2.30	57.79	2.61	42.52	0.71	0.67	0.59	0.43

ANNEXE IV

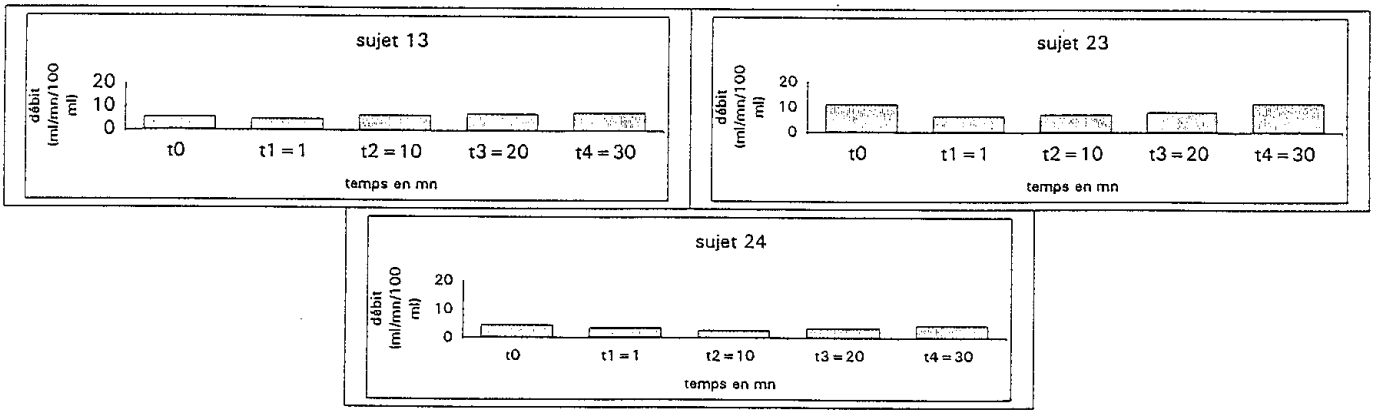
GROUPE 1


sujet 1
sujet 2
sujet5
sujet 6
sujet 7
sujet 8
sujet 9
sujet 10
sujet 11
sujet 12
sujet 15
sujet 16
sujet 17
sujet 18
débit ml/mn/100 ml
t0
t1 = 1
t2 = 10
t3 = 20
t4 = 30
temps en mn

GROUPE 2

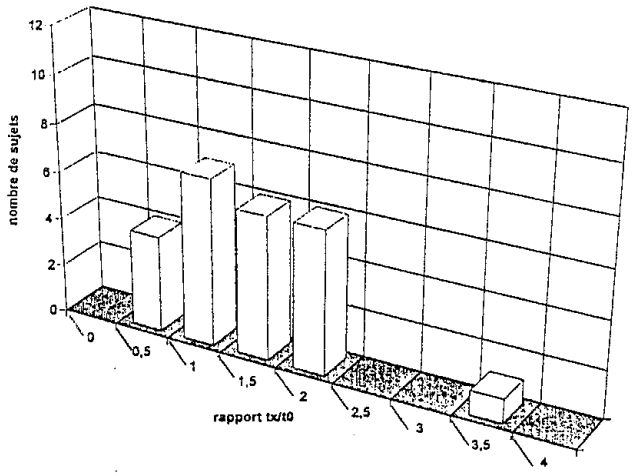


GROUPE 3

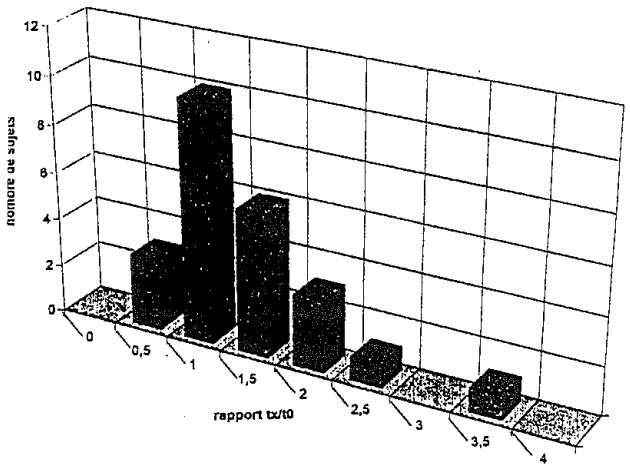


ANNEXE VII

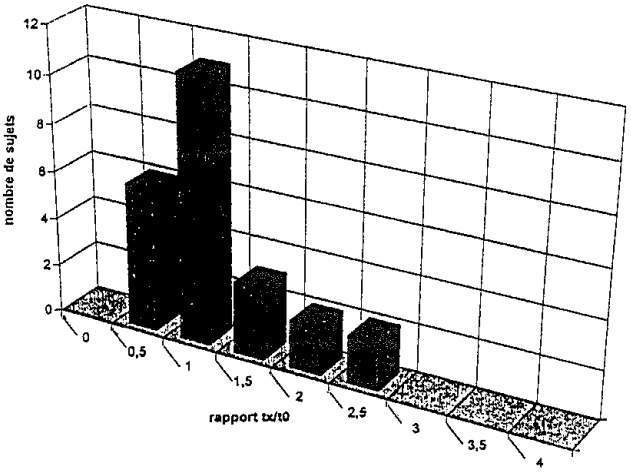
histogramme par classe (t1 = 1 mn)



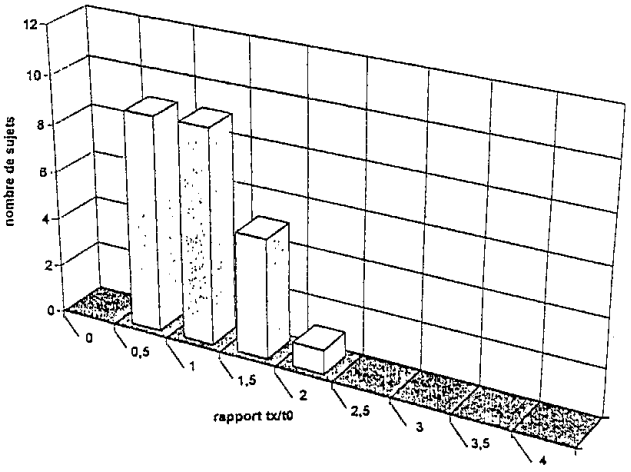
histogramme par classe (t2 = 10 mn)

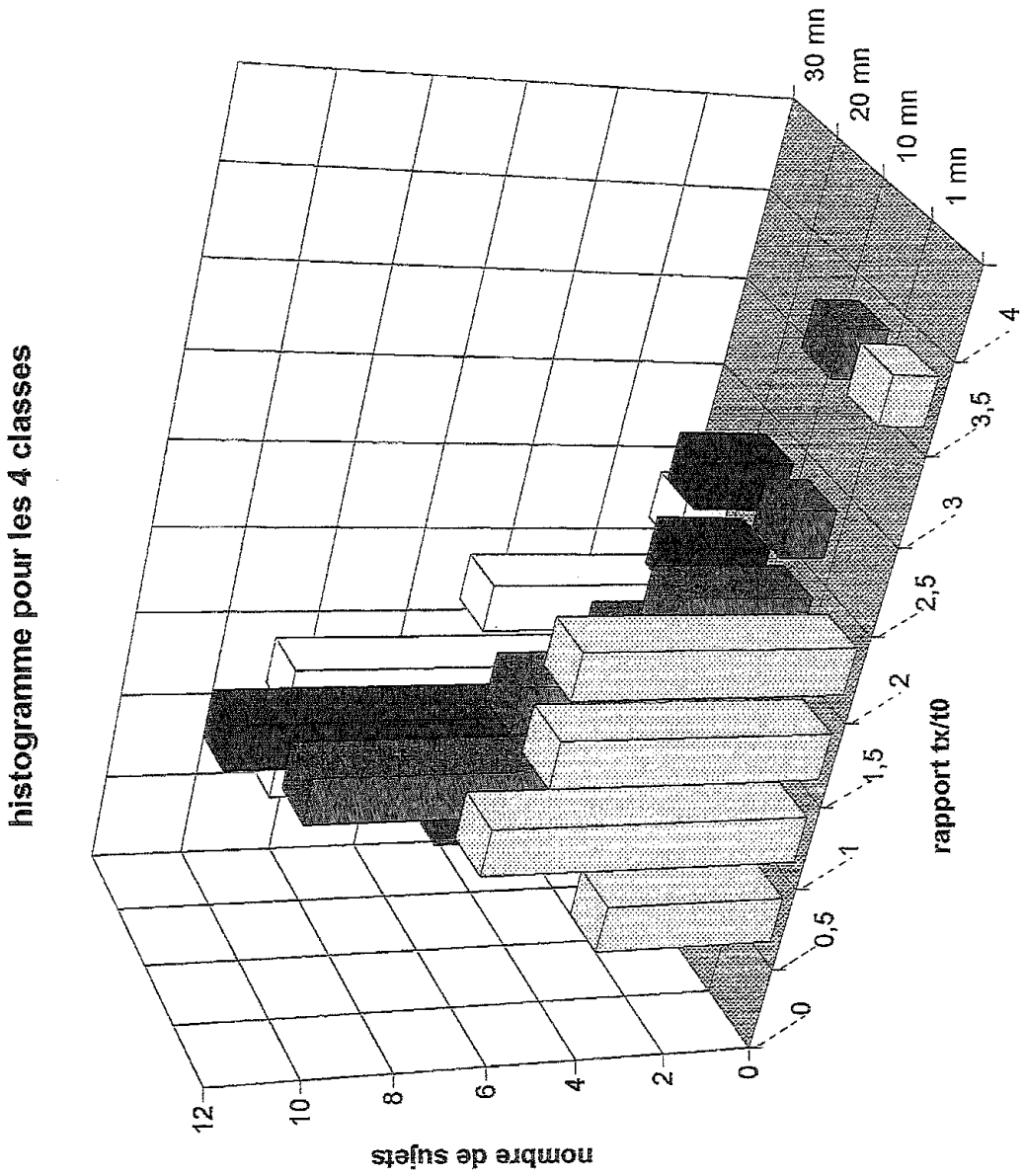


histogramme par classe (t3 = 20 mn)



histogramme par classe (t4 = 30 mn)




histogramme pour les 4 classes
nombre de sujets
12
10
8
6
4
2
0
0
0,5
1
1,5
2
2,5
3
3,5
4
rapport tx/t0
30 mn
20 mn
10 mn
1 mn

n° du sujet	d1 = t1-t0	d1²	d2 = t2 - t0	d2²	d3 = t3 - t0	d3²	d4 = t4 - t0	d4²
1	2,20	4,84	0,33	0,11	-0,23	0,053	-0,93	0,865
2	4,40	19,36	3,59	12,89	-0,40	0,160	-1,15	1,322
3	1,57	2,46	2,49	6,20	4,07	16,565	1,95	3,803
4	0,94	0,88	0,68	0,46	0,53	0,281	-0,32	0,102
5	8,81	77,61	0,92	0,85	0,08	0,006	0,83	0,689
6	2,99	8,94	0,36	0,13	-0,50	0,250	-2,11	4,452
7	2,08	4,33	-0,03	0,0009	-0,27	0,073	-1,20	1,440
8	2,70	7,29	1,87	3,50	0,94	0,883	0,39	0,152
9	1,20	1,44	0,94	0,88	1,05	1,102	0,78	0,608
10	3,88	15,05	2,20	4,84	0,08	0,006	-0,80	0,640
11	4,68	21,90	3,08	9,48	1,47	2,161	-0,72	0,518
12	4,86	23,62	1,93	3,72	1,25	1, 562	0,80	0,640
13	-0,80	0,64	0,90	0,81	1,45	2,102	2,13	4,537
14	0,70	0,49	1,95	3,80	0,98	0,960	0,08	0,006
15	9,27	85,93	8,10	65,61	5,19	26,936	3,82	15,592
16	7,92	62,73	3,42	11,69	0,72	0,518	0,07	0,005
17	1,26	1,58	1,40	1,96	1,00	1,000	0,50	0,250
18	1,94	3,76	1,69	2,85	0,24	0,057	-0,53	0,281
19	0,80	0,64	4,02	16,16	3,65	13,322	2,1	4,410
20	4,64	21,53	6,15	37,82	3,89	15,132	2,09	4,368
21	-0,59	0,35	4,58	20,97	4,45	19,802	4,35	18,922
22	1,20	1,44	5,69	32,37	4,59	21,068	0,79	0,624
23	-4,50	20,25	-3,85	14,82	-2,87	8,237	0,62	0,384
24	-0,98	0,96	-1,87	3,50	-1,10	1,210	-0,10	0,010
Totaux	**61,17**	**388,044**	**47,54**	**254,458**	**30,26**	**133,451**	**15,54**	**62,466**

$$\bar{d}1 = \frac{61,17}{24} = 2,548$$

$$S^2d1 = \frac{388,044}{24} - 2,548^2$$

$$= 9,672$$

$$t1cal = \frac{2,548}{\sqrt{\frac{9,672}{23}}}$$

t1 cal ≈ 3,93

$$\bar{d}2 = \frac{47,54}{24} = 1,980$$

$$S^2d2 = \frac{254,458}{24} - 1,98^2$$

$$= 6,678$$

$$t2cal = \frac{1,98}{\sqrt{\frac{6,678}{23}}}$$

t2 cal ≈ 3,67

$$\bar{d}3 = \frac{30,26}{24} = 1,260$$

$$S^2d3 = \frac{139,451}{24} - 1,26^2$$

$$= 3,970$$

$$t3cal = \frac{1,26}{\sqrt{\frac{3,970}{23}}}$$

t3 cal ≈ 3,03

$$\bar{d}4 = \frac{15,54}{24} = 0,647$$

$$S^2d4 = \frac{62,466}{24} - 0,647^2$$

$$= 2,183$$

$$t4cal = \frac{0,647}{\sqrt{\frac{2,183}{23}}}$$

t4 cal ≈ 2,10

n° du sujet	d1 = t1-t0	d1²	d2 = t2 - t0	d2²	d3 = t3 - t0	d3²	d4 = t4 - t0	d4²
1	2,20	4,84	0,33	0,11	-0,23	0,053	-0,93	0,865
2	4,40	19,36	3,59	12,89	-0,40	0,160	-1,15	1,322
3	1,57	2,46	2,49	6,20	4,07	16,565	1,95	3,803
4	0,94	0,88	0,68	0,46	0,53	0,281	-0,32	0,102
5	8,81	77,61	0,92	0,85	0,08	0,006	0,83	0,689
6	2,99	8,94	0,36	0,13	-0,50	0,250	-2,11	4,452
7	2,08	4,33	-0,03	0,0009	-0,27	0,073	-1,20	1,440
8	2,70	7,29	1,87	3,50	0,94	0,883	0,39	0,152
9	1,20	1,44	0,94	0,88	1,05	1,102	0,78	0,608
10	3,88	15,05	2,20	4,84	0,08	0,006	-0,80	0,640
11	4,68	21,90	3,08	9,48	1,47	2,161	-0,72	0,518
12	4,86	23,62	1,93	3,72	1,25	1, 562	0,80	0,640
13	-0,80	0,64	0,90	0,81	1,45	2,102	2,13	4,537
14	0,70	0,49	1,95	3,80	0,98	0,960	0,08	0,006
15	9,27	85,93	8,10	65,61	5,19	26,936	3,82	15,592
16	7,92	62,73	3,42	11,69	0,72	0,518	0,07	0,005
17	1,26	1,58	1,40	1,96	1,00	1,000	0,50	0,250
18	1,94	3,76	1,69	2,85	0,24	0,057	-0,53	0,281
19	0,80	0,64	4,02	16,16	3,65	13,322	2,1	4,410
20	4,64	21,53	6,15	37,82	3,89	15,132	2,09	4,368
21	-0,59	0,35	4,58	20,97	4,45	19,802	4,35	18,922
22	1,20	1,44	5,69	32,37	4,59	21,068	0,79	0,624
23	-4,50	20,25	-3,85	14,82	-2,87	8,237	0,62	0,384
24	-0,98	0,96	-1,87	3,50	-1,10	1,210	-0,10	0,010
Totaux	**61,17**	**388,044**	**47,54**	**254,458**	**30,26**	**133,451**	**15,54**	**62,466**

$$\bar{d}1 = \frac{61.17}{24} = 2,548$$

$$S^2d1 = \frac{388,044}{24} - 2,548^2$$

$$= 9,672$$

$$t1cal = \frac{2,548}{\sqrt{\frac{9,672}{23}}}$$

t1 cal ≈ 3,93

$$\bar{d}2 = \frac{47,54}{24} = 1.980$$

$$S^2d2 = \frac{254,458}{24} - 1,98^2$$

$$= 6.678$$

$$t2cal = \frac{1.98}{\sqrt{\frac{6.678}{23}}}$$

t2 cal ≈ 3,67

$$\bar{d}3 = \frac{30,26}{24} = 1,260$$

$$S^2d3 = \frac{139,451}{24} - 1,26^2$$

$$= 3,970$$

$$t3cal = \frac{1,26}{\sqrt{\frac{3,970}{23}}}$$

t3 cal ≈ 3,03

$$\bar{d}4 = \frac{15,54}{24} = 0,647$$

$$S^2d4 = \frac{62,466}{24} - 0,647^2$$

$$= 2,183$$

$$t4cal = \frac{0,647}{\sqrt{\frac{2,183}{23}}}$$

t4 cal ≈ 2,10