

# **Académie & Société Lorraines des Sciences**

Etablissement d'Utilité Publiques  
(Décret ministériel du 26 avril 1968)

**ANCIENNE  
SOCIÉTÉ DES SCIENCES DE NANCY**

fondée en 1828

**BULLETIN  
TRIMESTRIEL**

**TOME 18 - Numéro 2  
1979**

## AVIS AUX MEMBRES

---

**COTISATIONS.** — Les cotisations (55 F) peuvent être réglées à M. le Trésorier Académie et Société Lorraines des Sciences, Biologie Animale 1<sup>er</sup> Cycle, Faculté des Sciences, boulevard des Aiguillettes, Nancy. Chèque bancaire ou C.C.P. Nancy 45-24.

**SÉANCES.** — Les réunions ont lieu le deuxième jeudi de chaque mois, sauf vacances ou fêtes tombant ce jour, à 17 heures, Salle d'Honneur de l'Université, 13, place Carnot, Nancy.

**BULLETIN.** — Afin d'assurer une parution régulière du Bulletin, les Membres ayant fait une communication sont invités à remettre leur manuscrit en fin de séance au Secrétariat du Bulletin. A défaut, ces manuscrits devront être envoyés à son adresse (8, rue des Magnolias, parc Jolimont-Trinité 54220 Malzéville) dans les quinze jours suivant la séance. Passé ce délai, la publication sera ajournée à une date indéterminée.

Les corrections d'auteurs sur les épreuves du Bulletin devront obligatoirement être faites dans les huit jours suivant la réception des épreuves, faute de quoi ces corrections seront faites d'office par le Secrétaire, sans qu'il soit admis de réclamations. Les demandes de tirés à part non formulées en tête des manuscrits ne pourront être satisfaites ultérieurement.

Les clichés sont à la charge des auteurs.

### TARIF DES TIRES A PART

25 exemplaires gratuits.

Par 50 exemplaires supplémentaires, 1 page : 20,00 F (soit 40,00 F le feuillet recto-verso) .

Il n'y a pas de limitation de longueur ni du nombre des communications. Toutefois, les publications des travaux originaux restent subordonnées aux possibilités financières de la Société. En cas d'abondance de communications, le Conseil déciderait des modalités d'impression.

Il est précisé une nouvelle fois, en outre, que les observations, théories, opinions, émises par les Auteurs dans les publications de l'Académie et Société Lorraines des Sciences, n'impliquent pas l'approbation de notre Groupement. La responsabilité des écrits incombe à leurs Auteurs seuls.

## AVIS AUX SOCIÉTÉS CORRESPONDANTES

---

Les sociétés et Institutions, faisant avec l'Académie et Société Lorraines des Sciences l'échange de leurs publications, sont priées de faire connaître dès que possible éventuellement, si elles ne reçoivent plus ses bulletins. La publication ultérieure de la liste révisée des Sociétés faisant l'échange permettra aux Membres de connaître les revues à la Bibliothèque et aux Correspondants de vérifier s'ils sont bien portés sur les listes d'échanges.

L'envoi des échanges doit se faire à l'adresse :

Bibliothèque de l'Académie et Société Lorraines des Sciences  
8, rue des Magnolias, parc Jolimont-Trinité, 54220 Malzéville

**BULLETIN****de l'ACADEMIE et de la  
SOCIETE LORRAINES DES SCIENCES**

(Ancienne Société des Sciences de Nancy)  
(Fondée en 1828)

**SIEGE SOCIAL**  
Laboratoire de Biologie animale, 1<sup>er</sup> cycle  
Faculté des Sciences, boulevard des Aiguillettes, Nancy

---

**SOMMAIRE**

J.F. STOLTZ. — Les paramètres de la rhéologie du sang. Incidences hémodynamiques et thérapeutiques .....	27
Jean-François PIERRE. — Evolution de la flore diatomique d'une installation d'alimentation de nappe alluviale en Moselle .....	51
F. STEPHAN-DUBOIS, J.M. KELLER et P. STEICHEN. — Les triclades paludicoles épigés de la Moselle et de ses affluents, du nord de Nancy à Metz .....	63
Paul BORTEUX et Claude NOIRTIN — La mort de 25 animaux de ferme par piqûres de simulies dans les Vosges .....	75

## LES PARAMETRES DE LA RHEOLOGIE DU SANG INCIDENCES HEMODYNAMIQUES ET THERAPEUTIQUES \*

Par J.F. STOLTZ

### RESUME

A. L'influence des paramètres rhéologiques du sang dans les phénomènes de la circulation sanguine, a été longtemps négligée.

Après un rappel concernant les propriétés rhéologiques du sang, il est étudié l'influence de celles-ci sur les différents types d'écoulement (territoire circulatoire, diamètre du vaisseau et débit sanguin en particulier).

C'est ainsi qu'il est montré que dans les écoulements à faible vitesse de déformation, les rouleaux d'hématies jouent un rôle prépondérant, alors que dans les écoulements à vitesse de déformation élevée, la déformabilité des hématies est le paramètre le plus important. Ces considérations théoriques permettent la mise en évidence d'un aspect nouveau de la pharmacologie et de proposer un classement des médicaments actifs à ce niveau, suivant leur type d'impact.

L'importance des paramètres physicochimiques du sang dans les phénomènes physiopathologiques de la circulation a été longtemps négligée. Cependant, l'influence de certains de ces paramètres a pu être précisée en relation avec les propriétés rhéologiques du sang, et plus spécialement avec la viscosité sanguine. La modification de l'un ou de plusieurs de ces paramètres dans des conditions physiologiques ou pathologiques peut se répercuter au niveau de la circulation sanguine. Notre propos est, après avoir rappelé les principaux aspects de la rhéologie du sang, d'envisager les relations pouvant exister entre les paramètres rhéologiques et les conditions hémodynamiques ou géométriques liées à différents territoires circulatoires. A partir de ces résultats, une première classification de certains médicaments en fonction de leur impact hémorhéologique est évoquée.

### I. — *Rhéologie du sang*

#### 1-1. *Éléments de rhéologie : déformation, vitesse de déformation, viscosité.*

Si l'on soumet un milieu continu à des contraintes ( $\tau$ ) il va se « déformer ». Si l'on considère le temps que met la déformation à se produire (ceci est particulièrement important pour les fluides en mouvement), on introduit alors la notion de vitesse de déformation

\* Groupe d'hémorhéologie, Centre régional de Transfusion et d'Hématologie, Brabois - 54500 Vandœuvre-lès-Nancy.

qui est la dérivée par rapport au temps de la déformation ( $\dot{\gamma}$ ). Pour les corps se rapprochant de l'état liquide, on définit alors la viscosité apparente  $\eta_a$  qui est le rapport entre la contrainte et la vitesse de déformation correspondante ( $\eta_a = \tau / \dot{\gamma}$ ). Un fluide dont la viscosité apparente est constante, quelle que soit la vitesse de déformation, est appelé fluide Newtonien. Malheureusement, comme beaucoup de fluides biologiques, le sang ne répond pas à cette définition.

### 1-2. Viscosité sanguine : les relations $\tau - \dot{\gamma}$

De nombreux travaux ont cherché à préciser les propriétés rhéologiques du sang (Benis, 1 ; Charm. 2 ; Chien, 3 ; Cokelet, 4 ; Copley 5 ; Dintenfass, 6 ; Merrill, 7 ; Schmid-Schöbein, 8 ; Stoltz et coll., 9, 33 ; Wayland, 10 ; Whitmore, 11), et il serait beaucoup trop long de reprendre ici tous les développements théoriques ou expérimentaux décrits. Nous nous bornerons à rappeler les principaux modèles de variations de la viscosité sanguine en fonction de la vitesse de déformation.

a) *Viscosité du plasma* : Les résultats sur le comportement rhéologique du plasma sont demeurés longtemps contradictoires. Toutefois on peut admettre avec Brooks et coll. (12) que le plasma a un comportement Newtonien et que les variations de sa viscosité suivent en première approximation la loi de Andrade  $\eta = \eta_0 \exp[-E/RT]$ .

b) *Viscosité de suspension d'hématies en milieu sérique ou en milieu physiologique* : Le comportement des globules rouges en suspension dans un milieu salin physiologique a fait l'objet de nombreuses études. La majorité des résultats fait apparaître un comportement non Newtonien des suspensions lorsque l'hématocrite est supérieur à 25 %. Signalons cependant que GOLDMANN (13) a constaté un comportement quasi Newtonien pour les suspensions salines d'hématies lavées, pour un hématocrite allant jusqu'à 70 %. L'existence d'un seuil de contrainte  $\tau_c$  (c'est-à-dire une valeur minimum de la contrainte en dessous de laquelle le fluide ne peut s'écouler) n'a pas été établie. En ce qui concerne les suspensions de globules rouges dans le sérum, on ne constate pas l'existence d'un seuil de contrainte et le comportement peut être décrit selon WHITMORE (14) par une relation de type loi en puissance.

c) *Courbes d'écoulement du sang* : une des premières questions que l'on peut se poser, lorsque l'on étudie la rhéologie du sang, est l'influence de l'anticoagulant sur les paramètres mesurés. Il a été montré que les trois principaux anticoagulants utilisés en France (héparine, E.D.T.A., A.C.D.) ont un comportement Newtonien et une viscosité voisine de celle de l'eau. Leur effet sur le sang a cepen-

dant été longtemps controversé. Toutefois, les résultats de FRASHER et coll. (15) et de MEISELMAN (16) montrent que l'héparine ne modifie pas la rhéologie du sang. Il en est de même pour l'E.D.T.A. (17).

A partir de ces résultats de nombreux auteurs ont tenté de caractériser le sang par des relations théoriques ou empiriques simples. C'est ainsi que la première loi rhéologique proposée est la relation de BINGHAM :  $\tau = \tau_c + \eta \dot{\gamma}$  pour  $\tau \gg \tau_c$

soit

$$\eta_a = \tau_c / \dot{\gamma} + \eta$$

D'autres auteurs, comme CHARM et al. (18) proposent l'utilisation d'une loi en puissance :  $\tau = b \cdot \dot{\gamma}^n$  soit  $\eta_a = b \cdot \dot{\gamma}^{n-1}$

Il apparaît, cependant que la plus utilisée est la relation de CASSON (19) proposée par ce dernier pour des suspensions de vernis et les encres d'imprimerie (SCOTT-BLAIR, 20 ; COPLEY, 21 ; STOLTZ et coll., 22 ; BENIS, 1 ; MERILL, 7 ; CHARM et Coll. (23).

$$\tau^{1/2} = \tau_0^{1/2} + \eta \dot{\gamma}^{1/2} \quad \text{si } \tau \gg \tau_0$$

soit

$$\eta_a = \tau_0 / \dot{\gamma} + 2\eta \sqrt{\tau_0 / \dot{\gamma}} + \eta^2$$

QUEMADA (24, 25), pour sa part, a proposé récemment un modèle reliant la viscosité relative à l'hématocrite et à la vitesse de cisaillement :

$$\eta_a = \eta_{\text{plasma}} \left[ 1 - \frac{1}{2} KH \right]^{-2}$$

avec

$$K = \frac{[\eta]_c + [\eta]_{\infty} \alpha_c \dot{\gamma}^{1/2}}{1 + \alpha_0 \dot{\gamma}^{1/2}}$$

En fait, les recherches les plus récentes montrent qu'il paraît difficile de traduire par une seule équation simple le comportement du sang, et les lois rhéologiques décrites représentent sans doute le comportement rhéologique du sang pour un intervalle de vitesse de déformation donné (fig. 1). La loi de CASSON serait en fait ainsi valable aux faibles valeurs de  $\dot{\gamma}$ .

La viscosité du sang diminue considérablement quand le gradient de vitesse croît et les variations de la viscosité apparente (ou de la contrainte avec le gradient de vitesse) font alors apparaître plusieurs régions (fig. 2).

— Pour  $\dot{\gamma} > \dot{\gamma}_2$ , la viscosité apparente du sang est constante ; sa valeur est de l'ordre de 3 à 5 cP. Dans cette région, les globules rouges sont vraisemblablement séparés. La valeur trouvée pour  $\dot{\gamma}_2$  varie selon les auteurs : elle est de l'ordre de 100 sec<sup>-1</sup> pour CHIEN (26), COPLEY et al. (21), STOLTZ et coll. (27), supérieure à 230 sec<sup>-1</sup> pour SCHMID-SCHÖNBEIN (8) et même supérieure à 1.000 sec<sup>-1</sup> pour DINTENFASS (28).

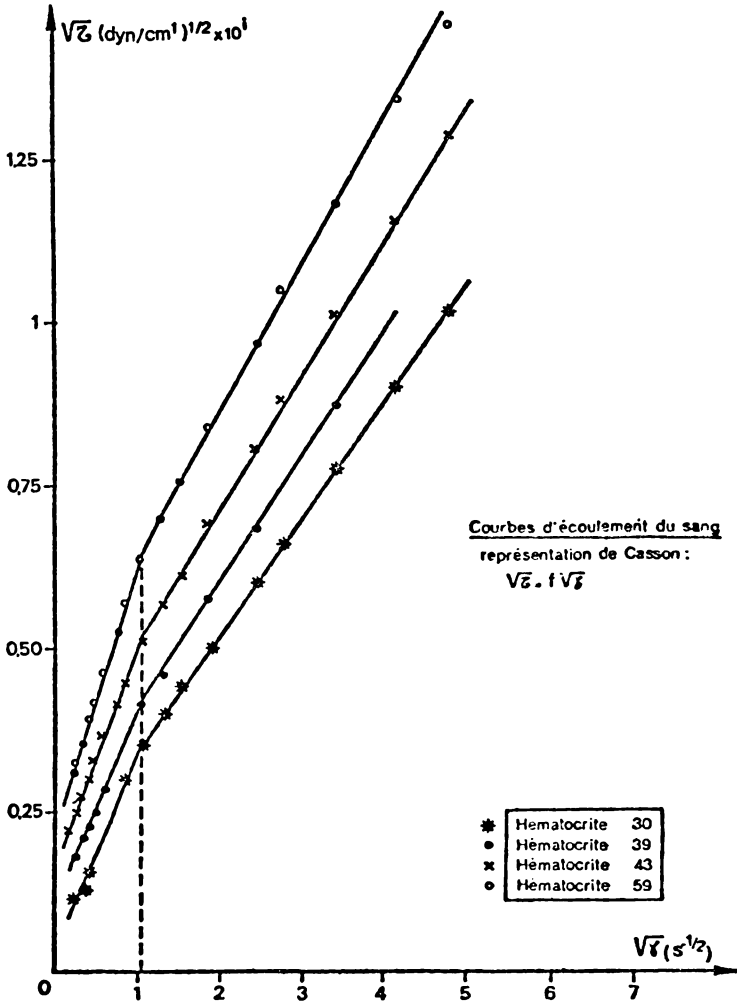


Figure 1 : Représentation pour le sang de la relation  $\tau - \dot{\gamma}$  en coordonnées  $V\tau = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}(\sqrt{V\dot{\gamma}})$  (résultats de l'auteur)

— Si  $\dot{\gamma}_1 < \dot{\gamma} < \dot{\gamma}_2$ , la rhéologie propre des globules contribue à diminuer la viscosité du sang. Cependant, il existe un seuil de gradient de vitesse en dessous duquel la formation des rouleaux apparaît : il est de l'ordre de  $50 \text{ sec}^{-1}$  pour SCHMID-SCHÖNBEIN (8). Il s'agit d'une zone de transition.

— Enfin, si  $\dot{\gamma} < \dot{\gamma}_1$  : dans cette troisième région, la viscosité augmente considérablement par suite de la formation d'agrégats. Les observations microscopiques faites par SCHMID-SCHÖNBEIN (29) ont montré que chaque doublement du gradient de vitesse, entre  $5.8 \text{ sec}^{-1}$  et  $46 \text{ sec}^{-1}$ , conduit à diviser environ par deux la taille

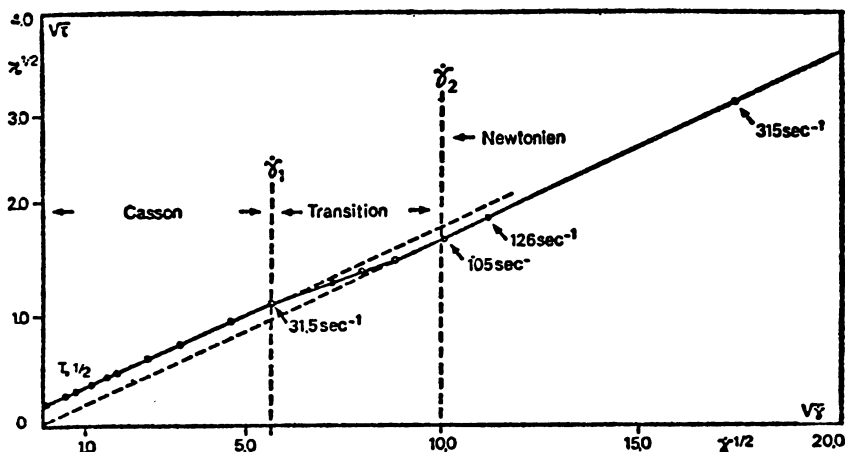


Figure 2 : Validité de la loi de Casson pour le sang  
(d'après Merrill, 1966)

des agrégats. Le processus réversible d'agrégation prendra alors un certain temps, d'où une certaine thixotropie du sang, importante surtout aux faibles gradients de vitesse.

Remarquons d'ailleurs qu'une quatrième zone semble exister pour des valeurs de très faibles ( $\dot{\gamma} < 0,111 \text{ s}^{-1}$ ) (CHIEN et coll., 26). Dans cette zone où les cellules sont vraisemblablement très agrégées, les résultats rhéologiques sont très délicats à interpréter quantitativement.

Rappelons également que, outre la vitesse de déformation, la température et l'hématocrite modifient de façon importante la viscosité apparente du sang. Ainsi une augmentation de température diminue la viscosité apparente : les modifications suivent, en première approximation, une loi du type Arrhénius (ANDRADE, 30 ; RAND et coll., 31, etc.) :  $\eta = \eta_0 \exp(E/RT)$ , où E a la dimension d'une énergie.

Enfin, l'influence de la concentration cellulaire a été également quantifiée et différentes lois proposées. Citons la formule d'HATCHERK proposée par BAYLISS (32) :  $\eta_r = (1 - 1,35 C)^{-25}$ , ou encore une loi d'expression plus simple et valable pour un hématocrite compris entre 30 et 60 % :  $\eta_r = \exp(\alpha H)$  (STOLTZ, 33).

1-3. *Propriétés viscoélastiques du sang* : L'étude des propriétés rhéologiques du sang ne fait pas intervenir le seul concept de viscosité, mais également celui d'élasticité.



C'est ainsi, que le comportement viscoélastique du sang a été démontré en viscosimétrie oscillante par LESSNER et coll. (34), puis par THURSTON (35). Dans ce cas, la viscosité apparente doit être regardée comme une variable complexe qui peut être décomposée en une partie visqueuse et une partie élastique :  $\eta^* = \eta' - i\eta''$ . Les composantes  $\eta'$  et  $\eta''$  deviennent fonction de la vitesse de déformation apparente. Une autre méthode consiste à étudier la réponse du sang soumis brutalement à un échelon rectangulaire de déformation. On obtient alors différents types de réponses suivant la valeur de  $\dot{\gamma}$  (fig 3). L'étude de l'allure dynamique et l'interprétation de telles

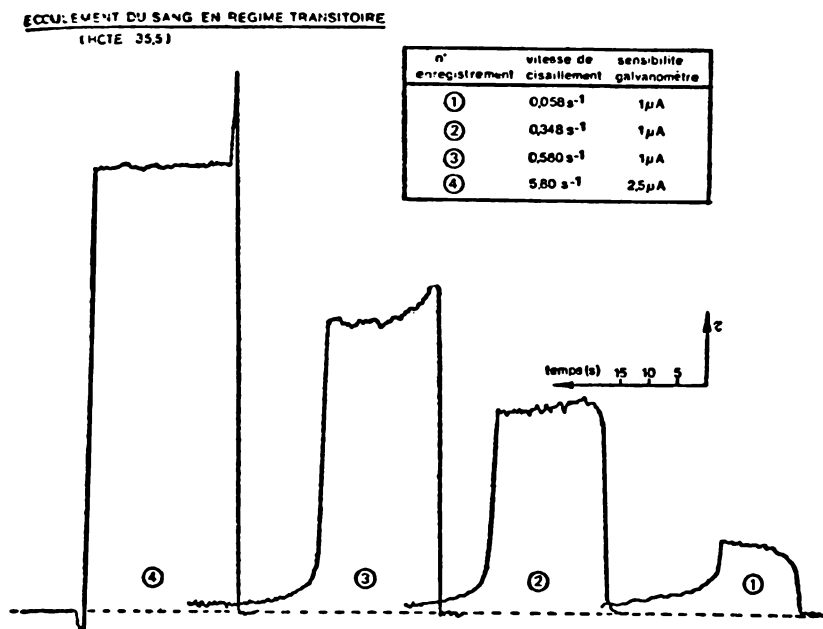


Figure 3 : Différents types de réponses dynamiques du sang à une marche de contrainte (résultats personnels)

réponses lorsque l'on supprime le cisaillement semblent fondamentales d'un point de vue qualitatif car elles permettent sans doute de mieux préciser l'influence de l'agrégation érythrocytaire sur la rhéologie sanguine (26, 29). Ainsi, aux faibles valeurs de  $\dot{\gamma}$ , la viscosité apparente est fortement influencée par l'état d'agrégation des hématies, alors que pour les valeurs de  $\dot{\gamma}$  élevées, les rouleaux disparaissent, induisant un comportement qui se rapproche du comportement Newtonien. Un tel fait peut d'ailleurs être vérifié soit direc-

tement, soit par des études de rétrodiffusion de la lumière (DOGNON, 36). D'un point de vue plus théorique, l'apparition du paramètre temps nécessite des recherches allant vers des modèles rhéologiques de type viscoélastique avec définition de modules d'élasticité (HUANG, KING et COPLEY, 37; STOLTZ et GAILLARD, 27).

#### 1-4. Déformabilité du globule rouge

a) *Viscosité de suspensions de globules rouges rigidifiés* : Les premiers travaux sur la rhéologie du sang n'ont considéré, la plupart du temps, que l'aspect global déterminé par la viscosité sans se soucier des propriétés rhéologiques des hématies et de l'influence de celles-ci sur la viscosité globale. On supposait généralement que le globule rouge était une particule rigide (ou presque rigide) et que ses propriétés de « déformabilité » n'avaient que peu de conséquences sur la viscosité globale du sang.

Seuls l'hématocrite, l'agrégabilité des hématies et accessoirement la forme étaient considérés. Les études de DINTENFASS (6, 38) et l'introduction de la notion de « viscosité interne » de l'hématie ont remis en question certains aspects de la viscosité sanguine. Nous reviendrons d'ailleurs ci-dessous sur cette notion de déformabilité de l'hématie. Signalons cependant dès à présent que ce concept fondamental est basé sur le fait que la viscosité du sang à un hématocrite de 90 % et même de 95 % est nettement inférieure à celle de suspensions d'hématies rigides pour des concentrations de 60 et 70 % seulement (fig. 4).

De plus, rappelons que la fixation des hématies modifie de façon profonde les propriétés rhéologiques du sang. C'est ainsi, que des suspensions de globules rouges rigidifiées en milieu salin ont un comportement rhéologique Newtonien (CHIEN et coll., 3; BROOKS et coll., 1970, 39, GAILLARD, 40; GOLDMAN, 1975, 13). La viscosité de telles suspensions varie avec la concentration en globules rouges de façon identique à celle de suspensions de particules rigides (fig. 5).

#### b) *Déformabilité du globule rouge et notion de viscosité interne* :

nous venons de voir ci-dessus que les propriétés rhéologiques globales du sang ne sont pas entièrement explicables à partir des simples relations  $\tau = \dot{\gamma} \eta$ . En particulier, la rigidification du globule rouge montre l'importance prépondérante de cet élément dans les études globales. Selon DINTENFASS, il n'y a qu'une seule possibilité d'expliquer ce comportement rhéologique : le sang doit être considéré comme « une émulsion », ou tout au moins comme une sus-

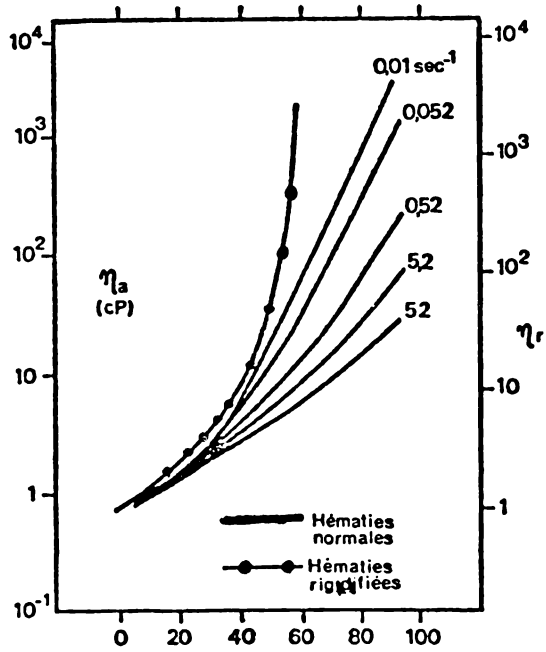


Figure 4 : Viscosité apparente  $\eta_a$  (relative  $\eta_r$ ) de suspension d'hématies normales ou rigidifiées en milieu salin (d'après Chien et coll. 1970)

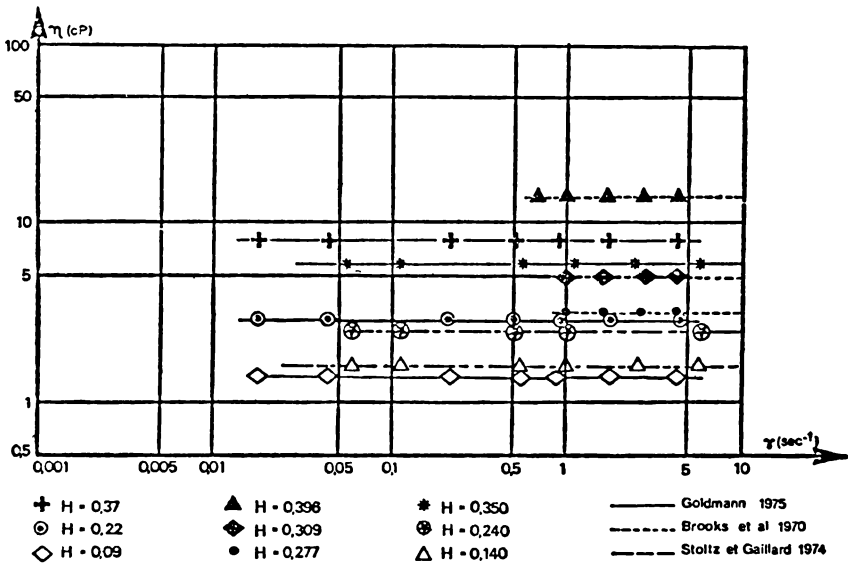


Figure 5 : Viscosité des suspensions salines d'hématies fixées

pension de gouttes liquides déformables. Il est certain que ce concept ne peut être admis théoriquement, en raison de la forme particulière de l'hématie, et il est raisonnable de penser que l'hématie se comporte comme une particule viscoélastique.

Cependant, le fait que la viscosité de suspensions d'hématies très concentrées n'est que de 0,4 à 3 poises permet de supposer que l'intérieur du globule est très fluide.

Cette déduction, uniquement basée sur des faits rhéologiques, peut être facilement appuyée par des observations microscopiques, qui montrent que l'hématie subit de rapides déformations dans le courant circulatoire (PROTHERO et coll., 41 ; GUEST, 42 ; BRANEMARK, 43). On sait par ailleurs que les globules rouges peuvent passer à travers des microfiltres dont les pores ont un calibre inférieur au diamètre de l'hématie (fig. 6) et on a pu aussi observer dans certaines conditions que les leucocytes en contact avec des hématies y impriment des « creux » (PALMER, 44), ce qui indique que les leucocytes sont plus rigides que les hématies. Enfin BLOCH (45) utilisant une caméra ultra-rapide, a noté que la déformation des hématies dans le courant circulatoire se produit dans un temps extrêmement rapide (de l'ordre de la milliseconde).

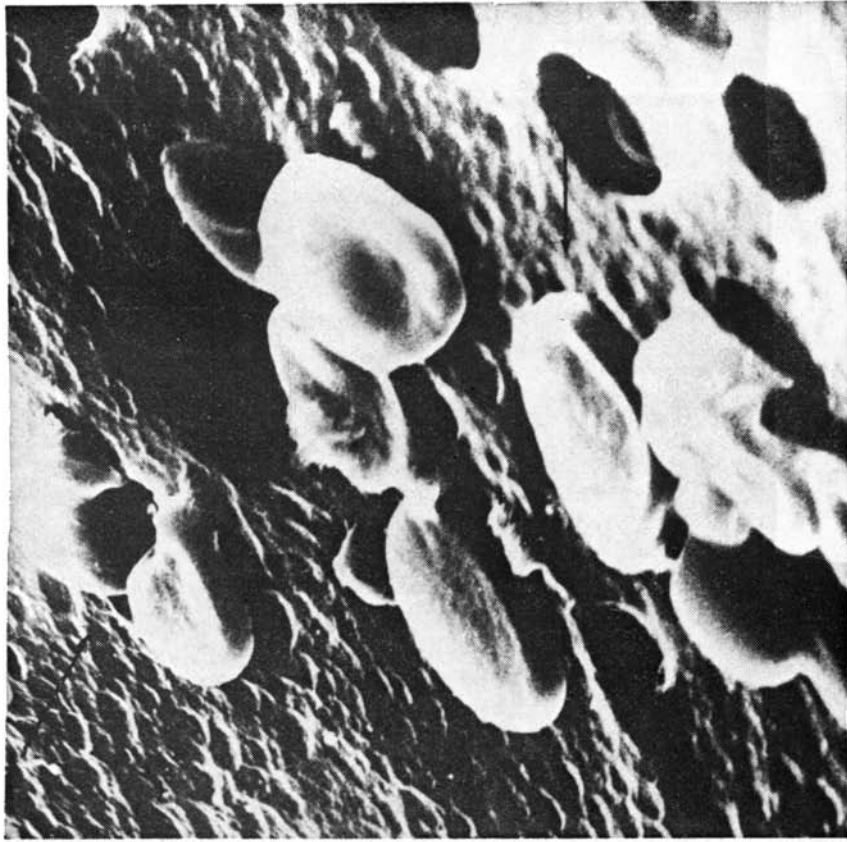
Les raisons de la faible viscosité interne de l'hématie tiendraient d'abord à la structure intracellulaire (stroma, structure quaternaire de l'hémoglobine, etc.). Selon DINTENFASS (38), l'hémoglobine a une disposition qui se situe entre celle d'un cristal solide et celle d'une solution diluée ; l'intérieur du globule rouge ne représenterait pas une véritable solution, mais une phase intermédiaire.

c) *Influence de la membrane sur la déformabilité du globule rouge :*

Si la fluidité de l'intérieur de la cellule est une condition nécessaire à l'apparente fluidité du sang, ce n'est pas la seule condition. Le rôle de la membrane doit être à son tour élucidé : en effet, si l'hématie était considérée comme une goutte liquide comment pourrait-on expliquer la forme biconcave ? Il est certain que les caractéristiques rhéologiques de la membrane influencent la transmission des forces tangentielles et normales et par suite la déformabilité de la cellule.

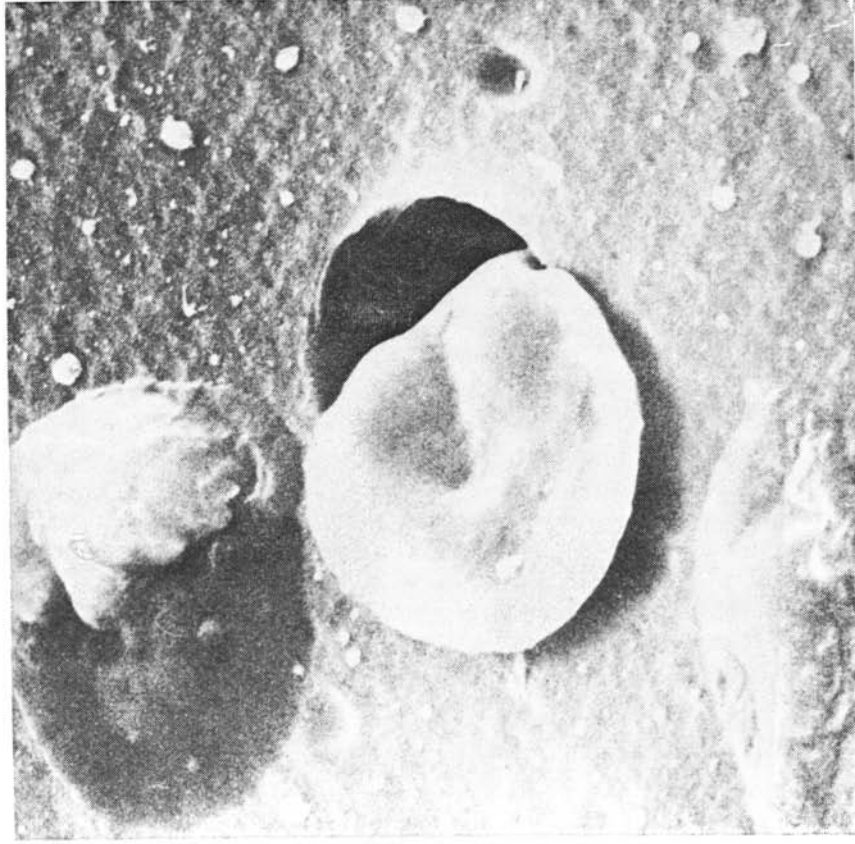
Il est alors important de prendre en compte les propriétés rhéologiques propres de la membrane. Rappelons d'ailleurs que les résultats de SHERMAN (46) sur les émulsions montrent qu'un accroissement de la « rigidité » de la pellicule inter-faciale augmente de plusieurs centaines de fois la viscosité d'émulsions contenant des gouttelettes ayant un volume comparable à celui des globules rouges. Ces phéno-

**HEMATIES NORMALES PENETRANT  
DANS UN PORE DE 5 $\mu$ . (x2200)**



**A**

**HEMATIE PENETRANT DANS UN  
PORE DE 5 $\mu$ . (x4000)**



**FIGURE N° 6**

**B**

mènes ont été d'ailleurs confirmés par les expériences de rigidification de la membrane érythrocytaire, où l'on constate une augmentation de viscosité relative à l'hématocrite constant (fig. 4). On peut donc penser que la membrane n'inhibe ni le transfert de forces tangentielles, ni la circulation, et possède une viscosité de surface très faible. Malheureusement, les études rhéologiques directes de la membrane du globule rouge sont délicates et les déductions théoriques ne sont actuellement issues que d'expériences macroscopiques. La viscosité de la membrane a cependant été estimée de façon indirecte par SOLOMON (47) qui mesure le coefficient de diffusion apparent du méthanol : à 21° C, ce coefficient est trouvé égal à  $5,1 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  et en appliquant l'équation de STOKES-EINSTEIN, il trouve une viscosité de membrane de 1,7 poises.

En résumé, on peut dire que les propriétés microrhéologiques globales de l'hématie résultantes des propriétés rhéologiques propres de la membrane et de celles du milieu interne, influencent de façon importante les propriétés rhéologiques globales du sang.

*1-5 Agrégation des globules rouges :* Les hématies en suspension peuvent se grouper et ceci de façon réversible ou parfois irréversible, en rouleaux. Actuellement, on pense que trois types de forces sont mises en jeu : électrostatiques, hydrodynamiques et mécaniques.

Les forces électrostatiques ont pour origine principale la charge électrique de surface des globules rouges ainsi que la nature de la phase suspendante (SEAMAN, 48, 49 ; STOLTZ et coll., 50) elles dépendent également de la charge des vaisseaux. Les forces hydrodynamiques ont pour origine le gradient de vitesse qui existe dans l'écoulement, ainsi que la rhéologie propre des globules rouges. Pour qu'il y ait agrégation, il faut que les forces électrostatiques et hydrodynamiques soient inférieures aux forces de liaison interglobulaires.

Le premier modèle expliquant de façon satisfaisante l'existence de forces de liaisons interglobulaires a été proposé par KATCHALSKY et coll. puis repris par CHIEN ; dans ce modèle on suppose que les macromolécules ont leurs extrémités absorbées par deux globules rouges et forment des ponts interglobulaires. Ces forces de liaison peuvent être toutefois de natures très différentes selon que les macromolécules sont chargées positivement (polylysines), négativement (fibrinogène) ou neutres (dextrans). De nombreuses confirmations expérimentales de ce modèle existent ; ainsi CHIEN et coll. (26) par exemple, ont trouvé, en utilisant le microscope électronique que la distance interglobulaire augmente avec la taille des molécules utilisées ; de même, lorsque la taille de la macromolécule est trop faible, l'agrégation n'est plus possible car alors les forces de répulsion

électrique sont trop importantes. D'un point de vue global, il est certain qu'il faudra toujours avoir à l'esprit les modifications éventuelles de ces facteurs. L'influence de l'agrégation des hématies sur les propriétés d'écoulement du sang est importante, surtout aux faibles vitesses de déformation où elle induit une forte augmentation de la viscosité relative. Aux fortes vitesses de déformation, par contre, le cisaillement produit la dispersion des rouleaux d'hématies, se traduisant par une diminution de la viscosité relative (CHIEN, 26).

### 1-6. Viscosité sanguine - Déformabilité et agrégation érythrocytaire

Il est donc certain que l'influence de la déformabilité des hématies sur les propriétés rhéologiques du sang ne peut être mise en doute. C'est ainsi qu'avec CHIEN (26) on peut comparer les variations de la viscosité sanguine d'une suspension d'hématies lavées en milieu albumine-Ringer avec une suspension d'hématies fixées dans le même milieu (fig. 7). On constate une différence dans le comportement rhéologique de ces deux suspensions et aux fortes vitesses de déformation, la différence observée peut être attribuée à la déformation et l'orientation des hématies.

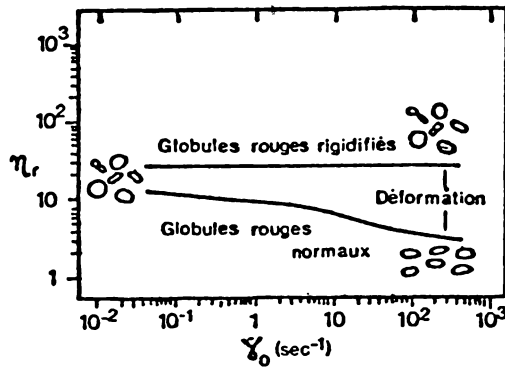


Figure 7 : Comparaison entre les variations de la viscosité apparente d'hématies rigidifiées et d'hématies lavées en milieu Albumine - Ringer

Si maintenant nous considérons le comportement rhéologique du sang aux faibles valeurs de la vitesse de cisaillement  $\dot{\gamma}$ , on constate que la différence entre la viscosité relative du sang total et la viscosité d'une suspension d'hématies en milieu albumine-Ringer reflète principalement le degré d'agrégation des hématies (fig. 8). De plus, pour des vitesses de déformation plus élevées, la viscosité des hématies diminue, traduisant ainsi la disparition des agrégats.

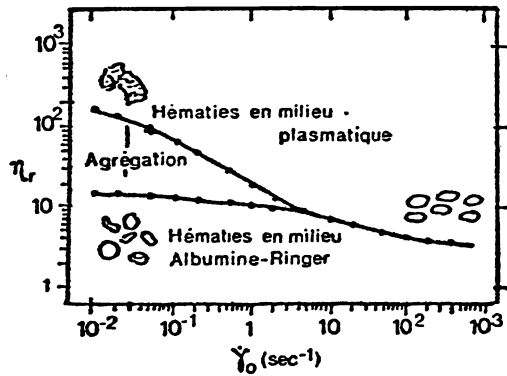


Figure 8 : Comparaison entre la viscosité de suspension d'hématies en milieu plasmatique et en milieu plasmatique et en milieu Albumine-Ringer ( $H = 45\%$  - viscosité du milieu suspensé 1,2 cp) d'après Chien)

A la lumière des résultats énoncés ci-dessus, il est certain que toute étude sur la viscosité sanguine devra préciser exactement les conditions opératoires (vitesses de déformation utilisées, température, hématoците, milieu de suspension, etc.).

D'autre part, aucune interprétation ne sera possible sans avoir à l'esprit les interférences entre les mesures rhéologiques et les propriétés d'agrégation et de déformabilité des hématies ou même des plaquettes (52).

On peut alors schématiquement distinguer deux grands types de propriétés rhéologiques : aux faibles valeurs de la vitesse de déformation, l'agrégation des hématies est importante et induit une résistance visqueuse à l'écoulement plus grande, tandis qu'aux vitesses élevées, les propriétés de déformation des hématies sont prépondérantes.

## II. — Hémodynamique et conditions d'écoulement

L'approche des propriétés d'écoulement du sang « in vivo » suppose la connaissance parfaite du « contenu » et du « contenant », à savoir :

- Les propriétés rhéologiques du sang dans les conditions de l'écoulement considéré ;
- Les conditions d'écoulement complexes rencontrées dans la microcirculation (dimensions et arrangement architectural des différentes classes de vaisseaux, quantification des forces d'écoulement, etc.) (53).
- éventuellement les propriétés rhéologiques du contenant.



Ces conditions étant actuellement irréalisables, il est délicat de donner une viscosité équivalente pour l'écoulement du sang « in vivo ». Mais un certain nombre d'auteurs (GOLDSMITH, 54, MASON, 55 ; CHIEN, 26 ; SCHMID-SCHÖNBEIN, WELLS et coll., 8, 29) se sont attachés à calculer les forces de cisaillement ou les vitesses de déformation rencontrées au niveau de la circulation pour avoir un ordre de grandeur dans l'estimation de l'écoulement du sang « in vivo ».

### 2.-1. Conditions d'écoulement in « vivo »

La plus grande partie des vaisseaux sanguins ont un diamètre inférieur à 50  $\mu$  ; les capillaires, quant à eux, ont souvent un diamètre inférieur à celui des hématies. En partant d'une vitesse d'écoulement arbitraire et de la géométrie des vaisseaux, CHIEN a montré que les vitesses de cisaillement moyennes s'élevaient de façon continue des artères aux capillaires (69 à 271  $s^{-1}$ ), puis diminuaient fortement dans les veinules post-capillaires (2,5 à 11  $s^{-1}$ ), ce qui est compatible avec les observations faites « in vivo » d'agrégats d'hématies apparaissant essentiellement dans les veinules. Par ailleurs, SCHMID-SCHÖNBEIN et coll. (56) ont établi un tableau théorique permettant une approche hémodynamique (fig. 9), ces données étant d'ailleurs confirmées expérimentalement par LIPOWSKI et ZWEIFACH (57).

Type de vaisseaux	Diamètre ( $\mu m$ )	Longueur (mm)	Gradient pression (viscosité = 1,5 cp)	Pression Intra- vasculaire	Contrainte cisaillement à la paroi
Aorte .....	10	$4 \times 10^3$	0,0075	100	24,9
Artères .....	3	$2 \times 10^3$	0,0215	97	21,4
Branches artérielles .....	1	$10^3$	0,129	92,7	42,8
Lit terminal .....	0,6	10	0,330	79,8	65,7
Petites artères .....	0,019	3,5	-5,97	76,5	37,6
Artérioles .....	0,007	0,9	32,1	55,6	74,6
Capillaires .....	0,0037	0,2	89,6	25,1	110,1
Postcapillaires .....	0,0073	0,2	1,90	4,5	4,6
Vénules .....	0,021	0,1	0,3	4,1	2,1
Petites veines .....	0,037	3,4	0,5	3,8	6,1
Principales veines .....	2,4	$10^3$	0,004	2,1	3,2
Grosses veines .....	6,0	$2 \times 10^3$	0,002	1,7	4,0
Veine cave .....	12,5	$4 \times 10^3$	0,003	1,3	13,5

Figure 9 : Caractéristiques géométriques et d'écoulement du lit vasculaire (d'après les données de Moll, 1888 et Wiedman, 1963. Cité par Schmid-Schönbein)

## 2-2. Relations rhéologie-territoire circulatoire

A partir de ces résultats, et en tenant compte à la fois du territoire circulatoire et des différentes formes de l'écoulement sanguin, il est possible de prévoir le mode d'écoulement prépondérant.

C'est ainsi que dans la circulation artérielle, la dispersion des rouleaux d'hématies est pratiquement totale en raison de l'importance des vitesses de déformation rencontrées. Par contre, la fréquence relativement basse des pulsations cardiaques (environ 1 Hz) pourrait permettre au caractère visco-élastique du sang de se manifester de façon plus ou moins importante.

Dans les veinules et les veines, par contre, la formation et la désagrégation des rouleaux d'hématies doit être prépondérante, puisque les vitesses de déformation restent faibles. Dans ce territoire, toutefois, la visco élasticité du sang ne joue aucun rôle, puisque le flux n'est pratiquement plus pulsé, et que l'écoulement se fait essentiellement en régime établi.

Enfin, dans les capillaires, où l'on rencontre de très importantes forces de cisaillement, les hématies sont pratiquement totalement dispersées et seule intervient leur déformabilité, en raison des dimensions des vaisseaux à traverser et aussi de l'importance des forces de cisaillement qui s'y exercent.

A la lumière de ces considérations, il devient évident que toute drogue agissant spécifiquement sur l'une ou l'autre des formes de l'écoulement sanguin pourra avoir une action différente selon le territoire vasculaire traversé et que son effet thérapeutique pourra éventuellement être modifié en conséquence. Il en est de même si l'on cherche à décrire les principaux syndromes d'hyperviscosité.

## III. — Aspects thérapeutiques

De nombreuses substances sont susceptibles d'interférer avec les éléments figurés du sang et par suite d'avoir une influence sur les propriétés rhéologiques du sang. Cependant, malgré de nombreuses publications, les travaux restent très divers et une synthèse délicate. En effet, la plupart des recherches étudient la viscosité sanguine avec des protocoles et des méthodes plus ou moins explicites, sans tenter de préciser le mode d'action éventuel. Cependant, à la lumière de ce que nous avons vu ci-dessus, il est possible d'envisager pour les molécules à action rhéologique, un classement en relation avec le type d'impact rhéologique proprement dit en éliminant de notre propos toutes les drogues pouvant interférer sur l'hémodynamique

par le biais du contenant (substances vaso-actives...). On pourra ainsi envisager les substances dont l'action principale se situe au niveau des rouleaux ou de la déformabilité, ou éventuellement de la stabilité de la membrane érythrocytaire. Il est certain que généralement une influence sur un paramètre donné (formation des rouleaux par exemple) aura des conséquences sur les paramètres globaux.

### *3-1. Influence de diverses substances sur la viscosité sanguine et la formation des rouleaux*

De nombreux auteurs ont tenté de préciser l'influence de diverses substances sur la viscosité sanguine. Cependant, il faut généralement considérer ces résultats avec beaucoup de prudence, de par l'imprécision des protocoles expérimentaux retenus. C'est ainsi que MAYER et coll. (58) dans un travail récent, étudient l'action d'un anticoagulant administré per os (bihydroxycoumarique) sur la viscosité sanguine de 40 patients (9 volontaires et 31 malades). Ils constatent une diminution de viscosité avec retour aux valeurs normales après 2 à 4 jours. Ces résultats sont cependant à prendre avec beaucoup de réserve car les mesures sont réalisées avec un viscosimètre capillaire et les résultats sont exprimés en cP sans que l'on sache si les auteurs ont procédé à une détermination de la densité des échantillons de sang.

Il en est de même des résultats de ERDI, KAKKAR et coll. (59) avec l'héparine, qui mettent en évidence une diminution de 10 % de la viscosité cinq heures après injection de 5.000 unités.

L'étude d'autres substances a également été envisagée (ergot de seigle, agent de contraste radio iodé, etc...) mais là encore, les conditions opératoires mal précisées rendent généralement les conclusions impossibles.

Rappelons également l'effet de l'acide acétylsalicylique sur la viscosité sanguine signalée par Healy (60) ainsi que le travail de SCHLICHTING et HEIDRICH (61) sur l'isoxsuprine.

Un travail mérite une place à part : c'est celui de SCHMID-SCHÖNBEIN et coll. sur l'influence de faibles doses (5 mg-ml) de 0-( $\beta$ -hydroxyéthylrutoside) (62), qui suggèrent l'action protectrice de cette molécule au cours des acidoses métaboliques.

Enfin, il ne faut pas négliger les effets rhéologiques de certains substituts plasmatiques (formation ou désagrégation des rouleaux en particulier). C'est ainsi qu'il est généralement admis que les dextrans de bas poids moléculaire (DEXTRAN 40) ont tendance à désagréger les rouleaux d'hématies (63,

64, 65). Ceci se traduit par une diminution de la viscosité apparente pour les faibles valeurs de  $\dot{\gamma}$ , bien que la viscosité du substitut soit supérieure à celle du plasma. Cette action est à rapprocher de celle de l'albumine. Les autres substituts étudiés (66) auraient essentiellement un effet global sur la viscosité, qui est légèrement augmentée pour l'ensemble des vitesses de déformation (Dextran 80, polyvinylpyrrolidone, Plasmion, Haemacel, etc.).

Notons enfin, que des études récentes réalisées sur des substituts à base d'amidon (PM 40.000) semblent donner des modifications voisines de celles du Dextran 40.

### 3-2. Déformabilité et drogues.

Nous avons vu ci-dessus que l'influence de la déformabilité du globule rouge sur les propriétés rhéologiques du sang est fondamentale. Cependant, il faut remarquer qu'actuellement peu de travaux ont été réalisés pour étudier l'interférence d'une drogue avec ce paramètre malgré son importance. Ceci provient des difficultés techniques et de la grande diversité des méthodes proposées qui rend les comparaisons délicates. C'est pourquoi, nous nous contenterons brièvement de rapporter les résultats sur les principaux produits étudiés sans chercher un classement rigoureux.

a) Agents contraceptifs oraux : le rôle des agents contraceptifs oraux dans l'étiologie de la maladie thromboembolique est bien connu ; par contre, une interférence avec la membrane érythrocytaire ne semblait pas en cause. Or, le travail récent de OSKI et coll. (67) montre que les hématies de femmes prenant des contraceptifs ont une filtrabilité diminuée.

Des changements semblables sont d'ailleurs observés chez quatre volontaires masculins. Une hypothèse originale est alors proposée pouvant expliquer les troubles généraux observés : la prise de contraceptifs modifie les propriétés élastiques de la membrane globulaire provoquant des stases microcirculatoires qui peuvent alors entraîner la thrombose.

b) Influence de la Pentoxifylline (Torental) : parmi les drogues étudiées pouvant influencer la déformabilité érythrocytaire, la pentoxifylline (3-7-diméthyl-1-5-oxohexyl-xanthène) occupe une place particulière étant donné le nombre de travaux publiés. Ainsi, WERNER (68), étudiant les volumes filtrés à travers des pores de  $8 \mu$  montre que ce paramètre passe par un maximum pour des concentrations variant de  $10^{-5}$  à  $10^{-7}$  M/ml, ce qui correspond, selon cet auteur, aux concentrations sanguines en thérapeutique. Des résultats

semblables ont été trouvés par l'auteur (69). Des études in vivo chez des malades présentant des oblitérations artérielles chroniques confirment d'ailleurs ces résultats (EHRLY, 74). L'explication d'un tel mécanisme pourrait être en partie liée avec une augmentation de l'ATP (STEFANOVICH).

c) Substituts du plasma : l'influence des substituts macromoléculaires sur la déformabilité a fait jusqu'à ce jour l'objet de peu de travaux et seuls les dextrans ont été étudiés dans des conditions mal définies.

Ainsi EHRLY et coll. comparent la déformabilité des hématies à travers les filtres de 8  $\mu$  en présence de dextran de poids moléculaire variant de 10 000 à 150 000. Les résultats semblent montrer que la filtrabilité érythrocytaire est optimum avec le Dextran 40. Ces résultats voisins semblent confirmés par WERNER (68).

Il apparaît que l'étude de ces deux effets (doses et influence du poids moléculaire) avec d'autres substituts macromoléculaires, permettrait vraisemblablement une nouvelle approche de l'action comparée de ces substituts au niveau de la microcirculation.

d) Influence de quelques anesthésiques : l'influence de certains anesthésiques sur la déformabilité a été envisagée par GASTER et coll. (70). Ainsi, la chlorpromazine ( $10^{-4}$  M) et l'éthanol (1,6 à 2,2 M) entraînent une diminution de déformabilité appréciée par les variations de la pression de filtration à travers des filtres de 5  $\mu$ . Ces résultats confirment d'ailleurs ceux de BRAASCH (71). Parallèlement à ces variations, une augmentation de viscosité est observée. Cet effet pourrait être attribué à une interaction directe des drogues sur la membrane entraînant un changement de conformation des protéines de membranes. Remarquons que le changement de forme, bien mis en évidence par BESSIS et coll. avec la chlorpromazine, entraîne des changements de déformabilité appréciés par une technique optique (ektacytomètre) (72). Les travaux de BAKER et coll. (73) suggèrent également une influence de l'hydrochlorure de procaine sur la déformabilité érythrocytaire.

Ces résultats sont à mettre en parallèle avec d'autres effets tels que l'effet protecteur de certaines doses vis-à-vis de l'hémolyse.

### 3-3. Conclusion

L'essai de classement envisagé ci-dessus met en évidence un aspect nouveau de la pharmacologie qui concerne l'influence de médicaments sur les propriétés rhéologiques du sang. Il est certain que ce tra-

vail ne peut être actuellement que préliminaire étant donné que les études sur l'influence rhéologique des drogues sont fragmentaires et manquent souvent de précision (75). Il est certain que pour envisager des études de ce type il est souhaitable de considérer d'abord des études globales (viscosité, viscoélasticité) avec des protocoles parfaitement définis quant au matériel et aux conditions opératoires (en particulier modification du milieu suspendant et hématocrite).

Après de telles études, il est nécessaire d'étudier des actions plus microrhéologiques afin de préciser le mécanisme rhéologique (déformabilité, formation de rouleaux).

## CONCLUSIONS

De nombreuses substances sont susceptibles d'agir sur le sang et les éléments figurés et d'en modifier la viscosité. Cependant, les travaux restent très variés et une synthèse concernant les impacts rhéologiques délicate.

D'un point de vue théorique, la viscosité sanguine est influencée par des nombreux paramètres dont le rôle est plus ou moins important. Il est cependant possible de distinguer les phénomènes macrorhéologiques (hématocrites, formation de rouleaux... des phénomènes micro-rhéologiques (charge électrique et déformabilité des hématies en particulier) ; chacun de ces paramètres ayant une incidence au niveau des propriétés d'écoulement de celui-ci. L'influence de ces paramètres sera alors fonction du type d'écoulement considéré (c'est-à-dire principalement du territoire de circulation considéré — diamètre du vaisseau et débit sanguin en particulier).

Ainsi, pour les écoulements à faibles vitesses de déformation (circulation veineuse par exemple), les rouleaux d'hématies ont un rôle prépondérant alors que dans les écoulements à vitesses de déformation élevées (circulation capillaire), la déformabilité des hématies est fondamentale.

Ces considérations théoriques mettent en évidence un aspect nouveau de la pharmacologie, concernant l'influence de médicaments sur les propriétés rhéologique du sang, et de leur classement suivant le type d'impact.

En ce qui concerne plus spécifiquement les molécules pouvant agir au niveau de la formation des rouleaux (faible vitesse de déformation), les travaux restent très fragmentaires et peu précis (action de divers antiinflammatoires, de la vitamine C, de la papavérine, des inhibiteurs de la fibrinolyse, de certains substituts plasmatiques).

## PRINCIPALES REFERENCE

- 1 — BENIS A.M., USAMI S. and CHIEN S. — Determination of the shear stress-shear rate relation for blood by Couette viscometry. *Biorheology*, 1971, 8, 65-69.
- 2 — CHARM S. and KURLAND G. — Viscosimetry of human blood for shear rates of 0,100 000 sec.<sup>-1</sup> *Nature*, 1965, 206, 617-618.
- 3 — CHIEN S. — Present state of blood rheology. Hemodilution. Theoretical Basis and Clinical Application Karyer Basel, 1972, 1-45.
- 4 — COKELET G.R., MERRILL E.W., GILLILAND E.R. and all. — The rheology of human blood. Measurement near at zero shear rate *Trans. Soc. Rheology*, 1963, 7, 303-317.
- 5 — COPLEY A. L. and KING R.G. — Rheogoniometric viscosity measurements of whole human blood at minimal shear rates down to 0,0009 sec. *Experimenta*, 1970, 26, 904.
- 6 — DINTENFASS L. — Internal viscosity of the red cell; problems associated with definition of plasma viscosity and effective volume of red cells in the blood viscosity equation. *Biorheology*, 1975, 12, 253-256.
- 7 — MERRILL E.W. and PELLETIER G.A. — Viscosity of human blood : transition from Newtonian to non Newtonian. *Journ. of applied physiology*, 1967, 23.
- 8 — SCHMID-SCHÖNBEIN H. and WELLS R.E. — Rheological properties of human erythrocytes and their influence upon the « anomalous » viscosity of blood. *Ergebnisse der Physiologie, Biologischen Chemie und Experimentellen Pharmakologie*, 1971, 63-146.
- 9 — STOLTZ J.F., STREIFF F. et LARCAN A. — Etude des courbes d'écoulement pour un fluide obéissant à la relation de Casson. Application au sang. *Journal de Mécanique*, 1970, 9-115.
- 10 — WAYLAND H. and MEISELMAN H.J. — Viscometric measurements for blood plasma. Theoretical and Clinical Hemorheology. Edited by H.H. Hartert and A.L. Copley Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1971, 271-283.
11. — WHITMORE R.L. — Interaction forces in blood. 4th Europ. Conf. Microcirculation, Cambridge, 1966, *Bibl. Anat.*, 1967, 9, 240-245.
- 12 — BROOKS D.E. and SEAMAN G.V.F. — Role of mutual cellular repulsions in the rheology of concentrated red blood cell suspensions. *Theoretical and Clinical Hemorheology*, 1971, 127-135. Edited by H.H. Hartert and Copley A.L. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- 13 — GOLDMANN M. — Etude vscosimétrique de la rhéologie du sang humain. Thèse Université, Besançon, 1975.
- 14 — WHITMORE R.L. — Rheology of the circulation Pergamon Press, 1968 195.
- 15 — FRASHER W.G., MEISELMAN H.J. and WAYLAND H. — A variable shear rate capillary viscometer for outflow viscometry in dogs. in : *Theoretical and Clinical Hemorheology*, 1971, 375-380. Edited By H.H. Hartert and A.L. Copley. Springer Verlag., Berlin Heidelberg, New York.
- 16 — MEISELMAN H.J. and COKELET G.R. — Blood rheology instrumentation and techniques. *Adv. Microcir.*, 1973, 5, 32-61.
- 17 — HARKNESS J. — The viscosity of human blood plasma; its measurement in health and disease. *Biorheology*, 1971, 8-171.
- 18 — CHARM S.E., COMIS W. Mac and KURLAND G.S. — Dimensional analysis of blood flow. 2nd Europ. Conf. Microcircul., Pavia 1962 *Bibl. Anat.*, 1963, 4-72.

- 19 — CASSON N. — A flow equation for pigment oil suspensions of the printing ink type, In : Rheology of disperse systems. Edited by C.C. Mill, Pergamon Press, London, New York, Los Angeles, 1959.
- 20 — SCOTT-BLAIR G.W. An equation for the flow of blood. Plasma and serum through glass capillaries. *Nature*, 1959, 183, 613-614.
- 21 — COPLEY A.L. and HUANG C.R. — Rheogoniometric studies of whole human blood at shear rates from 1 000 to 0,0009 sec. part 1 : Experimental findings. *Biorheology*, 1973, 10, 17-22.
- 22 — STOLTZ J.F., GENETET B. et LARCAN A. — Recherche d'une équation viscosimétrique pour le sang à l'aide d'un viscosimètre cône-plan. *C.R. Acad. Sc.*, Paris, 1967, 265, 64-66.
- 23 — CHARM S.E. and KURLAND G.S. — Static method for determining blood yield stress. *Nature*, 1967, 216, 1121-1123.
- 24 — QUEMADA D. — Contraintes et vitesses de cisaillement associées à la destruction des agrégats de globules rouges sanguins : un abord viscosimétrique. *C.R. Aca. Sc.*, Paris, 1976, 283, 119-122.
- 25 — QUEMADA D. — Un index d'agrégabilité des erythrocytes déduits des données viscosimétriques. *C.R. Acad. Sc.*, Paris, 1977, 285, 619-621.
- 26 — CHIEN S. — Biophysical behavior of red cells in suspensions . The red blood cell, 1975, 11, 1031-1133.
- 27 — STOLTZ J.F., and GAILLARD S. — An approach of the rheological properties of blood in transient flow. International symposium on biorheology. 70 th Annual Meeting Aiche, New York, 13-17 novembre 1977, 102.
- 28 — DINTENFASS L. — Viscosity of human blood for shear rates from 0. to 1 000 sec.<sup>-1</sup> . *Nature*, 1962. 211, 632-633.
- 29 — SCHMID-SCHÖNBEIN H. — Microrheology of erythrocytes, blood viscosity and the distribution of blood flow in the microcirculation. *Cardiovascular Physiology*, 1976, 9, 1-62. Edited by A.C. Guyton and A.W. Cowley.
- 30 — ANDRADE E.N. Da C. — Viscosité des liquides. *Endeavour*, 1954, 13, 117-127.
- 31 — RAND P.W., LACOMBE E., HUNT H. and AUSTIN W. — Viscosity of normal human blood under normotherm and hypothermic conditions. *J. Appl. Physiol.*, 1964, 19, 117-122.
- 32 — BAYLISS L.E. — The rheology of blood. In : Handbook of Physiology, 1962, 137-150. Edited by W.F. Hamilton and Cow. *American Physiological Society, Washington*.
- 33 — STOLTZ J.F., GAILLARD S., NICLAUSE M. et LARCAN A. — Mesures de la viscosité sanguine à l'aide d'un viscosimètre rotatif à cylindres coaxiaux, *Ann. Biol. Clin.* 1975, 33, 153-161.
- 34 — LESSNER A., ZAHAVI J., SILBERBERG A., FREI E.H. and DREYFUS F. — The viscoelastic properties of whole blood. In Theoretical and Clinical Hemorheology, 1971, 194-205. Edited by H.H. Hartert and A.L. Copley. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- 35 — THURSTON G.B. — Viscoelasticity of human blood. *Biophysical Journal*, 1972, 12, 1205-1217.
- 36 — DOGNON A., LOEPER J. et HOUSSET E. — Etude optique de l'agrégation réversible des hématies. *C.R. Soc. Biol.*, 1949, 143, 769.
- 37 — HUANG C.R., KING R.G. and COPLEY A.L. — Rheogoniometric studies of whole human blood at shear rates down to 0,0009 sec. part II — Mathematical interpretation. *Biorheology* 1973, 10, 13-28.
- 38 — DINTENFASS L. — The internal viscosity of the red cell and the structure of the red cell membrane. Considerations of the liquid crystal-line structure of the red cell interior and membrane from rheological data. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 1969, 8. 101.



- 39 — BROOKS D.E., GOODWIN J.W. and SEAMAN G.V.F. — Interactions among erythrocytes under shear. *J. Appli. Physiol.*, 1970, 28, 172
- 40 — GAILLARD S. — Contribution à l'étude des propriétés rhéologiques du sang et du plasma. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle (spécialité cinétique chimique). Université de Nancy I, 1974.
- 41 — PROTHERO J. and BURTON A.C. — The physics of blood flow in capillaries : III. the pressure required to deform erythrocytes. *Biophys. J.* 1962, 2, 213-222.
- 42 — GUEST M.M., BOND T.P., COOPER R.G. and DERRICK J.R. Red blood cells : change in shape in capillaries. *Science* 1963, 142, 1319-1321.
- 43 — BRANEMARK P.I. — Intracapillary rheological phenoma. Proc. Fourth Int. Congr. on Rheol. 4, Symp. on Biorheol. Edited by Copley A.L. *Interscience* N.Y., 1965, 459-473.
- 44 — PALMER A.A., and JEDRZEJCZYK H.J. — The influence of rouleaux on the resistance to flow through capillary channels at various shear rates. *Biorheology*, 1975, 12, 265-270.
- 45 — BLOCH E.H. and PETRY S.H. — Anew camera for cinephotomicrography. *Arch. Ophtal.*, 1953, 50, 346-351.
- 46 — SHERMAN P. — Reology of Interfaces and emulsion stability. *Jornal of colloid and interface science* 1973, 45, 427-429.
- 47 — SOLOMON A.K. — Apparent viscosity of human red cell membranes. *Biochimica et Biophysica Acta* 1974, 373, 145-149.
- 48 — SEAMAN G.V.F. — The role of electrical charge in the stability and flow properties of red cell suspensions. Hemorheology (Proceeding of the first International Conference), 1967, 551-564.
- 43 — SEAMAN G.V.F., SWANK R.L. — The influence of electrokinetic charge and deformability of the red blood cell on the flow properties of its suspensions. *Biorheology*, 1967, 4, 47-59.
- 50 — STOLTZ J.F., LARCAN A., VIGNERON C., STREIFF F. et NICLAUSE M. — Application de l'électrophorèse en phase liquide à l'étude des groupements ionisés de la membrane érythrocytaire. *Journ. Chimie Phys.* 1973, 70, 529-533.
- 51 — KATCHALSKY A., DANON D., NEVO A., DE VRIES A. — Interactions of basic polyelectrolytes with the red blood cell. II. Agglutination of red blood cells by polymersic bases. *Bioch. Biophys. Acta*, 1959, 33, 120.
- 52 — STOLTZ J.F. STOLTZ M., ALEXANDRE P., STREIFF F., LARCAN A. — Influence of heparin protamine sulfate, polybren and liquoid on the mesenteric circulation of the rat. Correlation with platelet Zeta Potential. 6<sup>e</sup> conf. Europ. Microcirculation Aalborg (Danemark) 1970. In Karger-Basel/New-York 1971, 343.
- 53 — LARCAN A., STOLTZ J.F. — Hemorheologie et microcirculation. I. volume Masson ed. 1970, 274 P.
- 54 — GOLDSMITH H.L. — Deformation of human red cells in tube flow. *Biorheology*, 1971, 7, 235-242.
- 55 — MASON S.G. and GOLDSMITH H.L. — The flow behaviour of particulate suspensions In : Circulatory and Respiratory Mass Transport, 1969, 105. J.A. Churchill Ltd.
- 56 — SCHMID-SCHÖNBEIN H. and Devendran T.H. — *Pfügers Arch. (Suppl)*, 1972, 336.
- 57 — LIPOWSKY H.H. and ZWEIFACH W. — In vivo measurements of the rheological behavior of blood in the microcirculation. IX World Conference European Society for Microcirculation, Anvers, 5-9 juillet 1976. Abstracts 373.

- 58 — MAYER G.A. — Blood viscosity and oral anticoagulant therapy. *Amer J. Pathol.*, 1976, 65, 402-406.
- 59 — ERDI A., KAKKAR V.V., THOMAS D.P. and LANE D.A. — Effect of low-dose subcutaneous heparin on whole blood viscosity. *The Lancet*, 1976, August 14, 342,343.
- 60 — HEALY J.C. and JOLY M. — Rheological behaviour of blood in transient flow. *Biorheology*, 1975, 12, 335-340.
- 61 — SCHLICHTING K. and HEIDRICH H. — Einfluss von Isoxsuprine auf die Blutviskosität. *Vasa*, 1976, 5, 51-53.
- 62 — SCHMID-SCHÖNBEIN H., VOLGER E., WEISS J. and BRANDHUBER M. — Effect of O-( $\beta$ -hydroxyethyl)-Rutoside on the microrheology of human blood under defined flow conditions. *Vasa*, 1975, 4, 263-270.
- 63 — SCHMID-SCHÖNBEIN H., KLOSE H.J. and VOLGER E. — Effect of colloidal plasma substitutes on microrheology of human blood Hemodilution. Theoretical Basis and Clinical Application, Int. Symp. Rottach Egerb, 1971, 66-83.
- 64 — SEAMAN G.V.F., HISSEN W., LINO L. and SWANK R.L. — Physico-chemical changes in blood arising from dextran infusions. *Clin. Sci.*, 1965, 29, 293-304.
- 65 — STOLTZ J.F., GAILLARD S. et LARCAN A. — Macromolécules et hémorhéologie. *Anesth. Anal. Réan.*, 1976, 33, 553-572.
- 66 — GAILLARD S., LARCAN A. et STOLTZ J.F. — Influence de différents substituts plasmatiques sur les propriétés viscoélastiques du sang. Comparaison avec l'albumine humaine. Comptes rendus du Collège Français de Pathologie Vasculaire, 1979 (à paraître).
- 67 — OSKI F.A., LUBIN B. and BUCHERT E.D. — Reduced red cell filterability with oral contraceptive agents. *Annals of internal Medicine*, 1972, 77, 417-419.
- 68 — WERNER U. — Messungen der Erythrozytenverformbarkeit unter Pentoxifyllin und niedermolekularem Dextran. *Med. Welt*; 1975, 26, 2098-2099.
- 69 — STOLTZ J.F., VIGNERON C. and MARCEL G.A. — Erythrocyte microrheology and pharmacology. Influence of Pentoxifyllin. 47th Annual Meeting of the American Society of Rheology, New York, mars 1977 (Abstract, page 23).
- 70 — GASTEL L.F.J. Van, STEVENINCK J. Van and BRUINE A.W. de. — The influence of anesthetics on red cell deformability. *Biochemical and Biophysical Research. Communications*, 1973, 55, 1240-1245.
- 71 — BRAASCH D. — Veränderung von Erythrocytenform und Blutviskosität durch Galle freie Fettsäuren und Chlorpromazin. *Pflügers Archiv*. 1968, 300, 185-188.
- 72 — BESSIS M. and MOHANDAS N. — Deformability of normal, shape-altered and pathological red cells. *Blood cells* 1975, 1, 315-321
- 73 — BAKER R., POWARDS D. and HAYWOOD L.J. — Restoration of the deformability of « irreversibly » sickled cells by procaine hydrochloride. *Biochim. Biophys. Res. Comm.* 1974, 59 548-556.
- 74 — EHRLY A.M. — Beeinflussung der Verformbarkeit der Erythrozyten durch Pentoxifyllin. *Med. Welt* 1975, 28, (51), 2300-2301.
- 75 — STOLTZ J.F., GAILLARD S. — Rheologie sanguine et incidence thérapeutique in : Monographie thérapeutique de la gazette médicale de France. 1978, 102-114. *C.R. Symposium sur la maladie veineuse et son traitement*. Rome 1978.

## EVOLUTION DE LA FLORE DIATOMIQUE D'UNE INSTALLATION D'ALIMENTATION DE NAPPE ALLUVIALE EN MOSELLE

par

Jean-François PIERRE

### RESUME

**A.** Etude de l'évolution de la flore diatomique dans les différents compartiments d'une installation d'alimentation artificielle de nappe alluviale.

Afin de pallier les insuffisances locales et temporaires de réserve et de débit de la nappe alluviale de la Moselle, une installation d'alimentation artificielle de cette nappe a été implantée à Montigny-Metz (département de la Moselle). Le but est de renforcer le débit de pointe de la nappe alluviale par l'injection gravitaire d'une eau prélevée en surface, par l'intermédiaire de deux bassins filtrants d'une superficie unitaire de 2400 mètres carrés.

L'eau d'alimentation est prélevée dans le canal parallèle à la Moselle, maintenant déserté par les péniches, puis dirigée vers une sablière d'environ 3,4 ha, servant de bassin de décantation, avant d'être déversée en tête des bassins d'infiltration.

L'évolution des différents milieux et plus particulièrement celle de la flore algale, a été suivie en quatre points de prélèvements (canal d'alimentation, entrée et sortie de la sablière, bassin filtrant) et à six reprises entre le 19 octobre 1976 et le 9 novembre 1977 (Tableau I) sauf pour la dernière station.

Tableau I  
CODIFICATION DES PRELEVEMENTS

Date	Canal	Station :		Bassin
		Entrée Sablière	Sortie Sablière	
19 octobre 1976	1	7	—	—
28 avril 1977	2	8	13	—
3 juin	3	9	14	—
1 <sup>er</sup> juillet	4	10	15	—
5 août	5	11	16	—
9 novembre 1977	6	12	17	18

Note inscrite à la séance du 11 mai 1978, présentée le 11 janvier 1979.

Les résultats de cette étude ont été publiés séparément. Ils ont notamment permis de formuler quelques hypothèses sur le comportement de la flore algale dans différentes conditions de fonctionnement et d'envisager l'utilisation de cette végétation comme facteur d'épuration de l'eau. (PIERRE, 1978). Le présent travail a pour objet de préciser l'inventaire de la florule diatomique de ces stations et de dégager la signification des « associations » successives de Diatomées.

148 espèces, variétés et formes ont été recensées dans l'ensemble de cette installation. Le canal d'alimentation est le plus riche en Diatomées, avec 114 taxons, contre respectivement 75 et 62 à l'entrée et sortie de la Sablière (soit encore 88 pour les deux stations) et 63 pour le Bassin, qui n'a été visité qu'une fois, après sa mise en eau d'octobre 1977.

Ces chiffres sont du même ordre de grandeur que ceux provenant de l'étude d'autres stations d'eaux courantes du bassin de la Moselle, mais reflètent, compte tenu du nombre des échantillons, une flore diatomique peu diversifiée. Le Tableau II rend compte de la distribution des espèces.

Tableau II

NOMBRE DE DIATOMEES  
RECENSEES DANS LES PRELEVEMENTS

Date	Canal	Entrée Sablière	Sortie Sablière	Bassin
19 octobre 1976	31	26	—	—
28 avril 1977	71	42	39	—
3 juin	64	31	24	—
1 <sup>er</sup> juillet	61	39	13	—
5 août	73	46	39	—
9 novembre 1977	57	58	48	63

Tableau III

## DIATOMEES RECOLTEES DANS LES STATIONS

Taxons	( Canal ) (Entrée Sablière) (Sortie Sabl.)(Bassin)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ACHNANTHES																		
<i>brevipes</i>	+					+												
<i>v. intermedia</i>					+													
<i>lanceolata</i>	+	+	2	2	2			+	+	+					+	+		
<i>v. elliptica</i>	+	+	2	+	+						+	+			+	+		+
<i>v. rostrata</i>	+				+													
AMPHIPRORA																		
<i>alata</i>	+				+	+												+
AMPHORA																		
<i>ovalis</i>	+	+	3	2	3	2	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>v. pediculus</i>	+	+	+	2	+	+					+	+	+	+	+	+	+	+
<i>veneta</i>	2						+											
ASTERIONELLA																		
<i>formosa</i>	+									5							5	
BACILLARIA																		
<i>paradoxa</i>	+	+	+	+	+	5					+	+				2		+
CALONEIS																		
<i>amphisbaena</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>silicula</i>	+	+	+	+	+	+					+							+
<i>v. truncatula</i>																		+
<i>schumanniana</i>						+												
<i>v. biconstricta</i>					+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>permagna</i>																		+
CAMPYLODISCUS																		
<i>noricus v. hibernica</i>																		+

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
CERATONEIS																		
arcus			+	+														
COCCONEIS																		
pediculus	+	+	+	4	+		+	4	4	4	2	2	2	+	5	5	4	+
placentula	5	+	4	4	5	4	5	4	2	5	5	3	2	2	5	5	5	5
v. euglypta	5	+	2	4	3	+	5				3	+	+	+	5	4	5	5
v. lineata	5	+	2	3	+		5				3	+					+	
COSCINODISCUS																		
lacustris	5	+	2	3	2	3	3	+	+	+	+	+					+	+
CYCLOTELLA																		
meneghiniana	3	+	2	+	3	3	3	+	+	+	+	+	2				2	+
CYMATOPLEURA																		
elliptica	+	+	+	+	+	+		+		+		+					+	+
v. nobilis					+												+	+
solea	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+				+	+
v. apiculata																		+
v. gracilis																		+
v. regula					+		+											+
CYMBELLA																		
cistula	+	+												+				+
lanceolata					+		+						+				+	+
prostrata													+				+	+
sinuata					+													+
tumida	+				+	+	+	+									+	+
ventricosa	+																	+
DIATOMA																		
anceps			+	+	+	+	+										5	
elongatum	+				+	+	+		5	+	+	+						
hiemale					+	+	+	+	4	+	2							+

v. mesodon																			
vulgare				+	+		2	5	2	+	+								+
v. grandis	+									4									+
v. linearis	3						+					+			+				3
EPITHEMIA																			
argus								+			+								+
sorex						+			+										+
turgida						+					+								+
zebra																			+
v. porcellus																			+
FRAGILARIA																			
capucina																			4
vaucheriae						+				+	+	2	+	+					+
FRUSTULIA																			
vulgaris	+	+																	+
GOMPHONEMA																			
acuminatum v. coronata							+												+
angustatum v. producta	+	+								+									+
augur																			+
constrictum	+	+								+									+
v. capitata	+	+									+								+
olivaceum	+										+								+
parvulum																			+
v. micropus																			+
GYROSIGMA																			
acuminatum	+	+	+	+	+	2				+	+	+	+						+
attenuatum							+												+
distortum																			+









1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

SYNEDRA

acus	+			+	+					+				+					+
affinis	+	2	+	+			5	+	+	2	5	+	+	+	5	3			3
parasitica	+											+							+
v. subconstricta	+	+	+	+	+		+			2									
pulchella				+						+									
v. constricta	+																		
v. lanceolata			+	+			2	+	+			+	4	2	+				+
v. naviculacea																			+
rumpens v. familiaris	+																		
tabulata	4																		
ulna		+	+	+	+					+	+								+
v. oxyrhynchus			+							+									
TABELLARIA																			
flocculosa			+																
THALASSIOSIRA																			
fluviatilis			+							+									

Déterminations selon F. HUSTEDT, A. CLEVE-EULER, sauf Pinnularia wenerri Pierre 1965.

Abondance indiquée + à 5, de très rare à dominante.

Une corrélation apparaît entre la diversité de la flore diatomique et l'époque du prélèvement : c'est en juin-juillet, lorsque la végétation aquatique supérieure et les Algues filamenteuses ont leur développement maximum, que les populations diatomiques sont les plus réduites. L'écart est particulièrement important lorsque la Sablière est isolée du Canal et ne reçoit plus l'apport de ses eaux (printemps et été 1977). Car, lorsque l'installation fonctionne et que la relation Canal-Sablière est établie, les relevés deviennent très proches : Canal 57, Sablière 58 et 48, et 63 pour le bassin filtrant.

La distribution des Diatomées est nettement influencée par les caractéristiques des différents milieux :

Dans le canal, l'eau est constamment eutrophe (mésosaprobe) et peu transparente, et se révèle peu favorable au développement des Algues filamenteuses ; par contre, les Diatomées y prospèrent, notamment *Amphora ovalis*, *Coscinodiscus lacustris*, *Cyclotella meneghiniana*, *Melosira varians*, diverses *Navicula*, *Nitzschia* et *Surirella*. Bien qu'ils ne soient pas représentés par un grand nombre d'individus, les genres *Bacillaria*, *Gyrosigma* et *Stauroneis* montrent une nette préférence pour les eaux du canal. La régularité de la minéralisation chlorurée (leptomésosalobe) ne peut que favoriser ces Diatomées.

Les eaux de la Sablière sont plus riches en *Asterionella*, *Stephanodiscus* et *Synedra*, formes planctoniques qui trouvent là un milieu favorable à leur épanouissement. L'arrêt de l'alimentation en eau du canal entraîne une stagnation de l'eau et la décantation des particules en suspension. Il s'établit progressivement des conditions d'éclairement (transparence de l'eau) et de support (végétation supérieure immergée) favorisant les Algues filamenteuses, qui deviennent dominante, la flore diatomique se trouvant réduite aux espèces fixées sur les végétaux, en particulier *Cocconeis* pl. sp., *Rhoicosphenia*, *Diatoma* et *Gomphonema*, auxquelles s'ajoutent un cortège limité d'accompagnatrices.

La flore diatomique du bassin filtrant est très proche de celle du Canal. Quelques espèces qui y sont présentes ne figurent pas sur les relevés du Canal, mais existent dans la Sablière. Il s'agit d'*Epithemia zebra*, *Fragilaria capucina*, *F. vaucheriae*, *Navicula cuspidata*, *Neidium dubium*, *Nitzschia palea* et *Rhopalodia gibberula*.

Deux espèces, *Gyrosigma distortum* et *Navicula cuspidata* var. *ambigua*, sont propres au bassin, mais à l'état d'exemplaires isolés.

35 espèces seulement sont présentes, au moins une fois dans l'ensemble des quatre stations. Le bassin d'infiltration n'ayant pu être échantillonné qu'une seule fois, limite la similitude floristique des stations. Mais, quoique importantes, les variations de diversité spécifique et d'abondance entre les récoltes d'une station, ou entre stations voisines, restent dans les limites de fluctuation des populations diatomiques observées dans le cadre hydrographique du bassin Rhin-Meuse.

Bien que sans signification particulière, nous relevons la présence de deux Diatomées rarement signalées dans la région :

*Campylodiscus noricus*, variété *hibernica*, hôte préférentiel des fonds vaseux. L'espèce a été rencontrée en Semois ardennaise (PIERRE 1977) puis dans la Meuse (inédit).

*Hemidiscus cuneiformis*, Diatomée réputée marine et tropicale. Sa présence confirme la précédente trouvaille d'un exemplaire isolé dans la Meurthe en aval de la ville de Nancy (PIERRE 1968).

La parenté des flores diatomiques présentes dans le Canal et le Bassin d'infiltration montre que le temps de séjour dans la Sablière, en période de fonctionnement, ne modifie pas sensiblement la qualité de l'eau. Cependant, le plan d'eau de la Sablière favorise le développement local d'espèces adaptées à la vie planctonique et représente une sécurité en cas de pollution accidentelle de l'eau d'alimentation.

Laboratoire de Biologie Végétale  
Université de NANCY I  
Case officielle 140  
54037 NANCY CEDEX

#### BIBLIOGRAPHIE

- PIERRE J.F. 1965. — Deux nouvelles Pinnulaires de Lorraine. *Rev. Algol.*, 1, 50-51.
- PIERRE J.F. 1968. — Etude hydrobiologique de la Meurthe. Contribution à l'Ecologie des Populations algales. *Bull. Acad. Soc. lorr. Sci.*, 7, 4, 261-412.
- PIERRE J.F. 1977. — Algues et mortalité piscicole en Semois. *Techn. Eau., Belg.*, 368-369, 19-31.
- PIERRE J.F. 1978. — Etude de la végétation algale d'une installation d'alimentation artificielle d'une nappe alluviale de la Moselle. *Techn. Eau, Belg.*, 380-381, 47-52.

## LES TRICLADES PALUDICOLES EPIGÉS DE LA MOSELLE ET DE SES AFFLUENTS, DU NORD DE NANCY A METZ

Par

F. STÉPHAN-DUBOIS, J.M. KELLER et P. STEICHEN \*

### RESUME

A. Les résultats de cette recherche élargissent ceux des prospections précédentes effectuées aux environs de Nancy. La Moselle et ses affluents de la rive droite sont pauvres en Planaires. Les affluents de la rive gauche sont dans l'ensemble assez riches en Planaires. Six espèces ont été trouvées : *Dugesia lugubris* s.l., *Dugesia tigrina*, *Dugesia gonocephala* s.str., *Crenobia alpina*, *Polycelis tenuis*, *Dendrocoelum lacteum*.

### INTRODUCTION

La recherche systématique des Planaires épigées de Lorraine, commencée en 1966, s'est d'abord limitée aux cours d'eau des environs de Nancy (dans le périmètre de Damelevières-Flavigny-Gondreville-Aingeray-Champigneulles). On peut y pêcher *Dugesia lugubris* s.l. O. Schmidt, *Dugesia tigrina* Girard, *Dugesia gonocephala* s.str. Dugès, *Dugesia gonocephala-subtentaculata* Draparnaud (très rare), *Crenobia alpina* Dana, *Polycelis tenuis* Iijima, *Dendrocoelum lacteum* O.F. Müller, *Bdellocephala punctata* Pallas (très rare).

Chacune de ces espèces est identifiée à partir de ses caractéristiques morphologiques, anatomiques et chromosomiques (STÉPHAN-DUBOIS et KELLER, 1976).

De novembre 1975 à février 1976, cette étude s'est poursuivie au nord de Nancy, dans la Moselle et ses affluents depuis Custines jusqu'à Metz (Fig. 1).

### METHODES

Dans l'ensemble les méthodes de prospection et les techniques de laboratoire sont les mêmes que celles qui sont décrites dans la note précédente avec, comme précisions supplémentaires et pour chacune des stations, la mesure de la vitesse du courant, le relevé du nombre de Planaires au m<sup>2</sup> et une analyse physico-chimique de

---

\* Note présentée à la séance du 5 avril 1979, transmise par M. LEGATT.

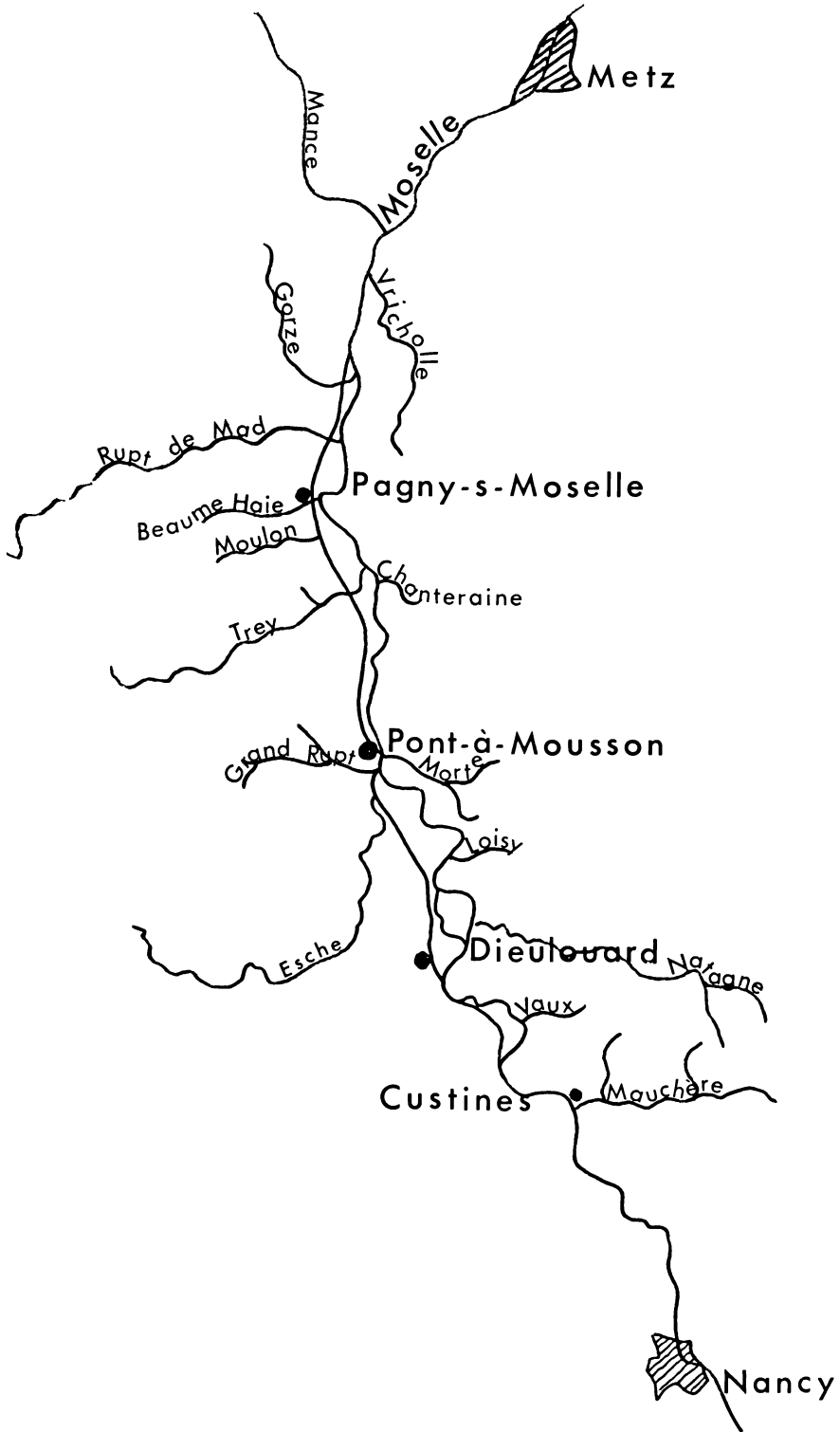


Fig. 1. — La Moselle et ses affluents, de Custines à Metz.

l'eau (pH, conductivité électrique, chlorures, nitrates, nitrites, ammonium, fer total, manganèse, cuivre, zinc, sodium, potassium, dureté totale, dureté carbonatée, calcium, magnésium, oxygène dissous, oxydabilité au  $\text{KMnO}_4$ , DBO) (STEICHEN, 1976).

Les Planaires ont été recherchées dans la Moselle depuis Cus-tines jusqu'à Metz et dans les affluents suivants :

— en rive droite : la Mauchère, le Vaux, la Natagne, le ruisseau dit de Loisy, la Morte, le ruisseau dit de Chanteraine (ou de Chanterelle), le Vricholle.

— en rive gauche : l'Esche, le Grand Rupt, le Trey, le Moulon, le Beaume-Haie, le Rupt de Mad, le Gorze, la Mance.

La Moselle et ses deux grands affluents : l'Esche et le Rupt de Mad, n'ont pas été systématiquement prospectés. Après la recherche des Planaires tous les quelques kilomètres (et là où les berges le permettaient) 8 stations ont été retenues dans la Moselle, 1 dans l'Esche et 1 dans le Rupt de Mad.

Les autres affluents ont été visités de bout en bout (mises à part les sources captées). L'emplacement de leur station correspond à l'endroit le plus riche en Planaires ou, si ces Planaires font défaut, à la partie moyenne de leur cours.

## PLANAIRES RELEVÉES

Sur les 8 espèces de Planaires précitées, 6 sont retrouvées : 3 sont limnophiles à reproduction sexuée (*Dugesia lugubris* s.l., *Polycelis tenuis*, *Dendrocoelum lacteum*), 1 est limnophile à reproduction asexuée (*Dugesia tigrina*), 2 sont rhéophiles à reproduction sexuée (*Dugesia goñocephala* s.str., *Crenobia alpina*). Le tableau I rend compte de la répartition de ces espèces dans les 23 stations et aussi dans celles des sources qui ont pu être visitées.

Les 3 espèces limnophiles sexuées sont données comme très communes dans toutes les rivières lorraines par HUBAULT en 1927. Elles ont mal résisté aux pollutions chimiques des eaux ou aux détériorations des berges, avec cependant des degrés dans leur résistance : *P. tenuis* est la plus fragile et semble en voie de disparition dans la région. *D. lacteum* est encore prospère dans une seule station dont les eaux sont pourtant salies par un dépotoir proche. *D. lugubris* se maintient çà et là, on peut la considérer comme « peu commune ».



C'est *D. tigrina*, apparue en Lorraine depuis moins de 20 ans, qui s'avère la Planaire limnophile la moins sensible à la pollution et qui risque de remplacer peu à peu les espèces indigènes d'eau peu ou pas courantes.

Les populations de Planaires rhéophiles semblent au contraire se maintenir ou même augmenter, pour autant que l'on puisse comparer les relevés du tableau aux données anciennes, fournies sans dénombrement le plus souvent. Deux sources se sont révélées spécialement riches, l'une en *D. gonocephala*, l'autre en *C. alpina*.

Quelle est la valeur de ces résultats ? Pour la période de pêche considérée, ils correspondent à des maximums de densité de population puisque nous avons choisi dans les ruisseaux les endroits les plus riches en Planaires et dans les rivières les stations présentant le biotope le plus favorable. Mais ces résultats sont le reflet d'une situation naturelle puisqu'aucun piégeage n'a précédé la pêche.

Les prospections, on l'a lu, ont eu lieu en saison froide. Les Planaires sont alors plus ou moins enfouies, ce qui rend leur recherche plus difficile. D'autre part il n'y a alors ni jeunes de Planaires sexuées, ni scissipares de *D. tigrina*. Enfin, chaque dénombrement du tableau I n'a été fait qu'une fois ; en ce sens, les résultats sembleraient n'avoir qu'une valeur indicative. En réalité, ils ont été contrôlés de deux façons différentes : premièrement, au cours même de la prospection par tous les relevés intermédiaires dans les rivières et par les observations continues dans les ruisseaux, comme il a été indiqué au début de la note ; deuxièmement par des vérifications assez fréquentes, faites depuis 1976 en toutes saisons. Une seule différence qualitative avec les résultats du tableau I a jusqu'à présent été notée : l'existence de rares Planaires dans la Manche (des *D. gonocephala* et une *D. lacteum*) \*. Quantitativement, la richesse en Planaires des différentes stations varie peu et la répartition des 6 espèces est restée sensiblement la même depuis 1975.

De toute façon, il est intéressant de constater qu'au cours d'une saison réputée défavorable pour une telle prospection on ait pu trouver si souvent des Planaires et parfois en grande quantité ; il ne faut pas oublier, en effet, que le total des Planaires du tableau (990 pour 26 m<sup>2</sup>) ne rend compte que des relevés ponctuels. Or certains ruisseaux sont riches en Planaires sur de longs parcours, comme on le verra plus loin.

---

\* Communication de M. le Professeur PIHAN, Institut européen d'Ecologie à Metz.

Les deux observations suivantes complètent les renseignements apportés par le tableau I :

— Toutes les *D. lugubris* trouvées sont du type « uniformément brun », sauf trois d'entre elles qui cohabitent avec les précédentes et qui sont du type « brun moucheté de blanc » (cf. note 1976).

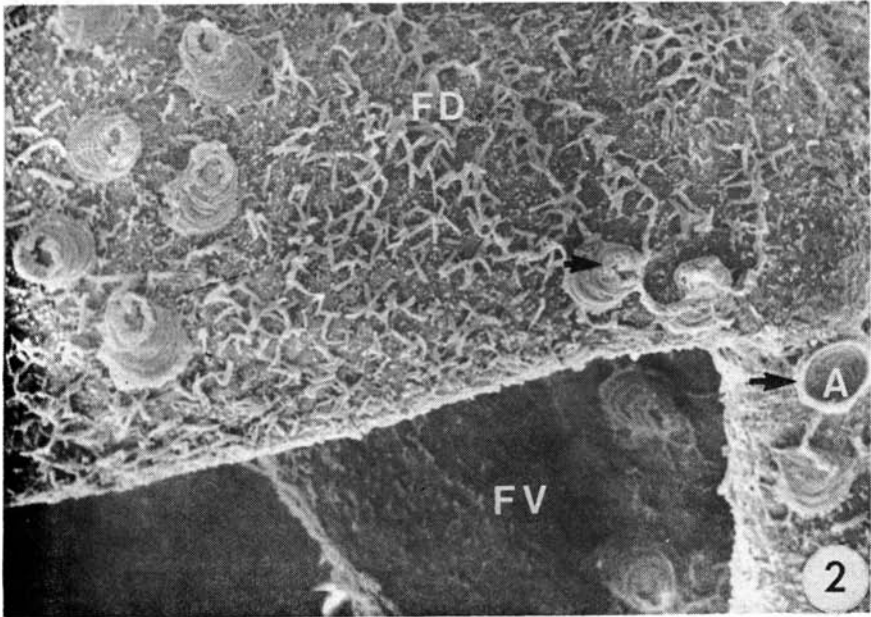
— Les deux seules *P. tenuis* recueillies sont très sombres et recouvertes de nombreuses *Urceolaria mitra* (von Siebold) Stein 1867 (Pl. I, fig. 1). Ces Ciliés Pérित्रiches sont bien connus chez les Planaires (cf. LASCOMBE, 1971). Nous les signalons parce qu'ils ont été observés aussi bien sur la face ventrale que sur la face dorsale des *Polycelis* (Pl. I, fig. 2) et ceci de façon non occasionnelle. Or, cette présence en face ventrale n'a pas encore été signalée, à notre connaissance.

## STATIONS A PLANAIRES

Dans la Moselle, pratiquement, seules les stations en amont de Dieulouard possèdent des Planaires. Les cours d'eau de sa rive droite en sont assez pauvres. Quatre n'en ont pas : la Natagne et le Vricholle, tous deux également dépourvus de Gammars (qui préfèrent les eaux claires ou agitées) et d'Aselles (qui se plaisent en eaux troubles) ; le ruisseau de Loisy et la Morte, peuplés d'Aselles. Deux ruisseaux abritent des Planaires sur une courte distance : la Mauchère sur moins de 500 m (un peu en amont de Malleloy), le Vaux sur une centaine de mètres, environ à mi-parcours. Seul le ruisseau de Chanteraine contient des Planaires depuis sa source jusqu'à 300 m environ en amont de la ferme de Chanteraine, soit sur 2 km.

Les 6 ruisseaux de la rive gauche de la Moselle (sans compter les 2 rivières non explorées en totalité) sont dans l'ensemble riches ou très riches en Planaires, sauf la Mance. Quatre d'entre eux possèdent des *C. alpina* dans leur cours supérieur sur 200 à 1.500 m, ce qui est remarquable, et les autres espèces sur des longueurs de 1 à 3 km.

Ces 8 ruisseaux à Planaires ont en commun un certain nombre de caractéristiques, tels le profil général et la présence de Planaires et de Crustacés. Ces traits communs permettent de faire ainsi le portrait du ruisseau type de cette région lorraine : la source et le cours tout à fait supérieur sont habités par des *C. alpina* et des Gammars. Les eaux encore vives et limpides du cours supérieur



Pl. 1. — *Urceolaria mitra*, Cilié Péritriche épizoaire sur *Polycelis tenuis*.

Fig. 1. — Cilié nageant (photographie sur le vivant).

FA : face aborale, avec son anneau squelettique AS et ses cils C  
(x 580)

Fig. 2. — Ciliés fixés sur une *P. tenuis*, soit en face dorsale FD, soit en face ventrale FV. En A, l'Urceolaire a sa région orale épanouie, cils rabattus à l'extérieur. Les autres sujets sont contractés, ciliature supérieure rabattue vers le centre. (Microscopie électronique à balayage, x 160).

TABLEAU I  
PLANAIREs RELEVÉES

Répartition des Planaires (densité au m<sup>2</sup>) dans la Moselle et ses affluents, entre Custines et Metz, de novembre 1975 à février 1976. Quand il y a 1 seul relevé, c'est celui de la station. Quand il y en a 2 (ou 3), le premier (ou les 2 premiers) se rapporte(nt) à la (aux) source(s), le dernier à la station.

	<i>Dugesia lugubris</i>	<i>Dugesia tigrina</i>	<i>Dugesia gonocephala</i>	<i>Crenobia alpina</i>	<i>Polycelis tenuis</i>	<i>Dendrocoelum lacteum</i>
Moselle à						
Custines	26	76	0	0	0	0
Millery	17	1	0	0	0	0
Dieulouard	0	0	0	0	0	0
Pont-de-Mons	0	0	0	0	0	0
Pont-à-Mousson	0	0	0	0	0	0
Pagny-sur-Moselle	2	0	0	0	0	0
Entre Corny et Jouy-aux-Arches	0	0	0	0	0	0
Metz	0	0	0	0	0	0
Mauchère	0 0	0 0	0 5	0 0	0 0	0 4
Vaux	0 0	0 0	0 33	0 0	0 0	0 0
Natagne	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Ruisseau de Loisy	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Morte	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Ruisseau de Chanteraine	0 0	0 0	10 19	0 0	0 0	0 0
Vricholle	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
Esche à Jezainville	0	155	0	0	0	0
Grand Rupt	0 0	0 0	0 40	6 0	0 0	0 0
Trey	0 0 0	0 0 0	0 3 78	23 0 0	0 0 2	0 0 0
Moulon	0 0 0	0 0 0	15 0 15	0 120 0	0 0 0	0 0 0
Beaume-Haie	0 0	0 0	0 20	30 0	0 0	0 0
Rupt-de-Mad à Bayonville	0	11	0	0	0	0
Gorze	0 2	0 0	231 0	0 0	0 0	0 46
Mance	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0

**TABEAU II**  
**SEQUENCES DES 8 RUISSEAUX A PLAINAIRES**  
 Les cases blanches correspondent aux séquences sans Planaires ni Crustacés.  
*D. gonoc.* ; *Dugesia gonocephala* ; P. lim. ; Planaires limnophiles.

Ruisseau type	Eaux vives			Eaux calmes		Confluent
	Source et eaux très vives	Gammares	<i>D. gonoc.</i> Gammares	P. lim. Gammares	Localité Aselles	
Mauchère	<i>C. alpina</i> Gammares	Gammares	<i>D. gonoc.</i> Gammares	<i>D. gonoc.</i> <i>D. lacteum</i>	Malleloy - Custines - Confluent Aselles	Aselles
Vaux		Gammares	<i>D. gonoc.</i> Gammares		Millery — Confluent	
Chanteraine		<i>D. gonocephala</i> Gammares			Chanteraine	Aselles
Grand Rupt	<i>C. alpina</i>	Gammares	<i>D. gonocephala</i>		Montauville — Confluent Aselles	Pont-à-Mousson Confluent Aselles
Trey	<i>C. alpina</i> Gammares	Gammares	<i>D. gonoc.</i>	<i>D. gonoc.</i> <i>P. tenuis</i> Gammares	Villers-sous-Prény	Vandières-Confluent
Moulon	<i>C. alpina</i> Gammares	Gammares	<i>D. gonoc.</i> Gammares	<i>D. gonoc.</i>	Cité du Moulon	Aselles
Beaurne-Haie	<i>C. alpina</i>	Gammares	<i>D. gonocephala</i> Gammares	Gammares	Pagny-sur-Moselle	— Confluent
Gorze	<i>D. gonocephala</i> Gammares	<i>D. gonocephala</i> Gammares	<i>D. lugubris</i> <i>D. lacteum</i> Gammares	Gammares	Novéant-sur-Moselle Gammares	Gammares

contiennent des Gammare, d'abord seuls puis accompagnés de *D. gonocephala*. Les eaux calmes mais encore assez claires du cours moyen sont peuplées de Planaires limnophiles (*D. lugubris*, *P. tenuis*, *D. lacteum*) et de Gammare. Planaires et Gammare disparaissent quelques centaines de mètres à 1 km en amont de la localité qui, elle, est située sur la partie basse du ruisseau. Dans cette localité et jusqu'au confluent prospèrent des Aselles dans des eaux devenues troubles.

Aucun des 8 ruisseaux ne correspond exactement à ce ruisseau type, car le plus souvent l'une ou l'autre des espèces fait défaut. Mais l'ordre séquentiel est respecté, comme le montre le tableau II qui est à compléter par les explications suivantes :

— Seules les sources rhéocrènes, aux eaux constamment froides du fait de leur environnement géologique et de leur couverture forestière, contiennent des *C. alpina*.

— Les Gammare apparaissent souvent dès la source et peuvent peupler tout le ruisseau si l'eau est bien aérée. Dans le Gorze leur présence en aval de Novéant-sur-Moselle est la meilleure preuve de l'efficacité de la station d'épuration de cette localité.

— Les *D. gonocephala* peuvent peupler les eaux de source si celles-ci ne sont pas trop froides (cas de Gorze) et peuvent descendre très bas jusqu'à accompagner ou remplacer en eaux calmes les Planaires limnophiles, se montrant donc parfois plus résistantes à la pollution que ces dernières, en voie de disparition. Il est à noter que jusqu'à présent *D. tigrina* n'a pas encore envahi ces 8 ruisseaux.

— La zone sans Planaires ni Crustacés est parfois fort réduite, mais elle existe toujours, sauf dans le Gorze (Gammare).

— Les Aselles apparaissent en principe dès l'entrée du ruisseau dans la localité. Pour des raisons techniques (inaccessibilité, canalisations) elles n'ont pas toujours été repérées.

En comparant ce schéma d'étagement avec le schéma européen classique, on constate l'absence de *Polycelis felina* qui est commune dans les Vosges. DE BEAUCHAMP (1961) note effectivement que « dans de larges régions *Polycelis felina* manque sans qu'on en sache la cause, qui n'est pas le pH ou la teneur en Ca comme on l'a soutenu ». Notons cependant que les *P. felina* trouvées dans la Meurthe vosgienne, près de Plainfaing durant la même période de

prospection, vivent dans une eau à pH voisin de 6,4, alors que les eaux des 8 ruisseaux étudiés dans cette présente note ont un pH compris entre 7,2 et 7,6.

D'autre part, l'absence de Planaires et de Crustacés juste en amont des localités ne semble pas avoir été notée dans des ruisseaux similaires par d'autres auteurs ; il s'agit peut-être simplement d'une absence d'observation à ce niveau des ruisseaux.

## IMPORTANCE DU MILIEU

### A) L'eau

Les résultats d'une seule analyse physico-chimique de l'eau par station n'ont bien entendu qu'une valeur indicative. D'autre part la recherche des éléments toxiques n'a pas été faite. Tout au plus peut-on signaler que dans le cadre de ces résultats il n'y a ni carence ni excès particulier qui puisse expliquer l'absence de Planaires dans une station. Inversement certains résultats dépassant la limite donnée comme acceptable (cf le livre de RODIER, 1976) n'empêchent pas la présence des Planaires. C'est ainsi qu'à Custines, où la conductivité électrique de l'eau est très forte (1750  $\mu$  S/cm à 18°), donc l'eau très minéralisée, vivent des *D. lugubris* et des *D. tigrina*. La demande biochimique en oxygène est dite excessive à Millery, à Custines et dans le ruisseau de Chanteraine (D.B.O.-5 : 7,3 à 8,9 mg/l) ; on y rencontre cependant *D. lugubris*, *D. tigrina* et même *D. gonocephala*.

Cependant le fait qu'il n'y ait plus de Planaires dans les ruisseaux après la localité montre que la qualité générale des eaux est devenu impropre à la vie de ces vers ou impropre au moins au maintien de leur biotope.

### B) Les faciès géologiques et écologiques

Indirectement, les faciès géologiques et écologiques jouent un rôle important dans le peuplement des cours d'eau en Planaires, rôle bien mis en valeur par les présents résultats :

De façon générale, les cours d'eau de la rive droite de la Moselle sont bien moins fournis en Planaires que ceux de la rive gauche. Or, côté rive droite, les reliefs sont doux (mises à part les buttes témoins), à dominance liasique avec argiles et marnes principalement. Il y coule des eaux lentes et troubles. Côté rive gauche

les reliefs sont accusés ; les « côtes de Moselle » sont essentiellement faites de calcaires bajociens épais, à la base desquels sortent des eaux froides, rapides et propres, favorables d'abord aux espèces rhéophiles, puis aux autres espèces.

En résumé, la Moselle et ses affluents de la rive droite entre Custines et Metz sont pauvres en Planaires. Seules y prospèrent les *Dugesia tigrina* — réputées résistantes à la pollution — et, dans 2 stations, des *Dugesia lugubris*. Les affluents de la rive gauche offrent encore quelques stations remarquablement riches en *Dugesia gonocephala*, en *Crenobia alpina* et, dans une moindre mesure, en *Dendrocoelum lacteum*. L'espèce la plus fragile, *Polycelis tenuis*, a pratiquement disparu. *Dugesia gonocephala-subtentaculata* et *Bdellocephala punctata*, très rares dans les environs de Nancy, n'ont pas été retrouvées.

---



---

#### SUMMARY

Epigeous Tricladia Paludicola of the river Moselle and its tributaries, from north of Nancy to Metz : The results of this research complete those of the previous prospections, made in the neighbourhood of Nancy. The river Moselle and its tributaries of the right side are poor in Planarians. The affluents of the left side are richer in Planarians. Six species were found : *Dugesia lugubris* s.l., *Dugesia tigrina*, *Dugesia gonocephala* s.str., *Crenobia alpina*, *Polycelis tenuis*, *Dendrocoelum lacteum*.

---



---

#### BIBLIOGRAPHIE

- BEAUCHAMP P. DE. — Traité de Zoologie (Paris, Masson), 1961, voir p. 97.
- HUBAULT E. — Contribution à l'étude des Invertébrés torrenticoles. *Bull. biol. Fr. Belg.*, 1927, suppl. 9, 1-384.
- LASCOMBE C. — Recherches écologiques et biogéographiques sur deux espèces jumelles de Planaires d'eau douce dans la région lyonnaise. *Thèse* (Lyon), 1971, 116 p. photocopiées plus Pl.
- RODIER J. — L'analyse de l'eau. (Paris, Bordas), 1976, 2, 1-364.
- STEICHEN P. — Les Triclades paludicoles épigés du Bassin de la Moselle au Nord de Nancy. *Mém. Luxemb.*, 1976, 122 p. photocopiées.
- STÉPHAN-DUBOIS F. et KELLER J.M. — Les Triclades paludicoles épigés des environs de Nancy. *Bull. Ac. et Sté Lor. Sc.*, 1976, 15, 117-136.



## LA MORT DE 25 ANIMAUX DE FERME PAR PIQUES DE SIMULIES DANS LES VOSGES

Paul BOITEUX et Claude NOIRTIN

Il y a maintenant un an la Direction des Services Vétérinaires des Vosges était contactée par MM. les Maires de Vienville, Biffontaine, les Poulières, ainsi que par M. le Docteur LEMASSON, vétérinaire à Bruyères qui avaient constaté une mortalité anormale de bétail. Des bovins succombent, en général dans la journée même de leur mise au pâturage, en présentant des œdèmes importants des parties déclives. D'autres animaux présentent ces œdèmes, mais survivent ; fièvre, dyspnée, constipation et parésie du train postérieur sont les symptômes qui accompagnent les œdèmes. Les thérapeutiques administrées, généralement à base d'antibiotiques, de corticoïdes et d'antihistaminiques semblent peu actives ; l'état des animaux ne s'améliore que progressivement, en une semaine ou plus.

Ces accidents ne surviennent que dans une zone de la vallée du « Neuné » et d'un de ses affluents (le B'Heumey) dans un secteur de quatre à cinq kilomètres de rayon comprenant tout ou partie du territoire de sept communes : Corcieux, La Houssière, Biffontaine, les Poulières, La Chapelle-devant-Bruyères, Vienville, Les Arrentès de Corcieux.

Le printemps 1978 est particulièrement humide ; les périodes de pluie alternent avec d'assez rares journées ensoleillées au cours desquelles surviennent des orages. Les premières hypothèses sont variées et en relation avec les conditions climatiques : certains animaux sont-ils morts par fulguration ? S'agit-il de troubles alimentaires dus à une pousse très rapide de l'herbe, aggravés dans certains cas par des épandages récents d'engrais ?

Les cadavres d'animaux sont acheminés vers l'équarrissage de Tomblaine (54). Certains y sont autopsiés par le Docteur A. GEORGE, de Nancy. Les lésions sont toujours celles d'un syndrome septicémique : congestion, voire hémorragie de la rate, des reins, de la caillette, de l'intestin grêle, des poumons, pétéchies sur l'épicarde et le péricarde. Des prélèvements sont adressés au laboratoire de la Direction des Services Vétérinaires de Meurthe-et-Moselle pour examen bactériologique.

Exposé fait à la séance extraordinaire, à Epinal, le 6 mai 1979.

Après l'autopsie des animaux, des examens bactériologiques ont été pratiqués; les germes isolés (*Clostridium perfringens*, *Escherichia coli*, *Protéus*, *Entérobacter*) ne permettent pas d'attribuer la mort des animaux à une cause infectieuse définie.

Les éleveurs ont, certes, dès le départ, remarqué la présence de « mouchérons » qui s'abattent en véritables essaims sur les animaux au pâturage, par beau temps, principalement sur les parcs situés en bordure de forêt ou parsemés de buissons. A priori il semble difficile de croire qu'à eux seuls ces insectes puissent provoquer la mort de bovins.

Néanmoins, des agents de la Direction des Services Vétérinaires capturent des insectes pour identification, ceux-ci seront identifiés plus tard comme *simulium ornatum* à la Faculté de Pharmacie de Rennes, par Mme BEAUCOURNU.

Le rôle de certaines espèces de Simulies est connu. *Simulium damnosum* dans les pays tropicaux est responsable d'une onchocercose humaine qui rend progressivement aveugle les individus soumis à des piqûres multiples (ce sujet sera développé par M. le Professeur PERCEBOIS).

La salive des simulies renferme entre autres toxines une anti-coaguline; une attaque massive peut provoquer dyspnée, accélération de la circulation, troubles nerveux, œdème, puis hyperthermie suivie de la mort de l'animal en hypothermie.

Des accidents de ce genre ont été très fréquents en Europe Centrale; ils étaient provoqués par *Simulium columbaczense* qui se développait dans les rapides des Portes de Fer sur le Danube. La construction d'un barrage a supprimé ce gîte et sa nuisance. Quelques décès de bétail isolés ont été signalés en Bulgarie, en Allemagne et même en Alsace, mais ils étaient dus à *Simulium erythrocephalum*. En Italie, *Simulium voilens* a eu un rôle similaire en 1975.

Mais c'est la première fois que *Simulium ornatum* est impliqué de façon massive dans de tels accidents, particulièrement en France.

Localement, la piqûre saigne après le départ de l'insecte; les lésions se couvrent ainsi de croûtes. Un œdème inflammatoire très important s'installe ensuite. A l'autopsie, des lésions congestives sont observées. Tous les animaux que nous avons pu observer présen-

taient les lésions typiques décrites en Allemagne par RÜHM ; au niveau de chaque piqûre apparaît une gouttelette de sang et il se forme une pétéchie caractéristique. Lorsque l'animal subit une attaque massive, on constate des surface cutanées collées ensemble par des croûtes sanguinolentes de taille variée.

Les Simulies attaquaient essentiellement sur le pis, les organes génitaux et toute la zone médiane entre l'anus et l'hypochondre ainsi que sur le mufle, la base des oreilles et le pourtour des yeux. La densité de piqûre était de 25 par cm<sup>2</sup>. Une première et grossière estimation situe à 25.000 le nombre de piqûres reçues pour les animaux morts en mai, 60.000 pour l'animal mort en juillet.

L'étude épidémiologique a apporté la confirmation des observations cliniques. Les accidents ne se sont produits que par des journées chaudes et ensoleillées. Les animaux mis en pâturage pendant une période pluvieuse n'ont pas souffert jusqu'à la première journée de beau temps.

Seules les Simulies femelles sont hématophages ; elles ne sont agressives que par temps ensoleillé en dehors des heures les plus chaudes de la journée. Le pâturage nocturne et par temps pluvieux a été préconisé, car en outre les Simulies abandonnent l'animal dès que celui-ci pénètre dans l'étable.

Les animaux semblent également devenir plus résistants avec l'âge. A l'exception de quatre animaux, tous les accidents mortels sont survenus sur des bovins âgés de moins de trente mois. Cependant, dans la zone infestée, la très grande majorité des vaches laitières a souffert des attaques de Simulies. On a observé des trayons criblés de piqûres rendant la traite douloureuse et entraînant des réactions violentes de l'animal, ainsi qu'une rétention lactée. Les éleveurs ont constaté une diminution de la production laitière (10 % environ), qu'ils attribuent également à une baisse de la consommation d'herbe chez les animaux harcelés par les insectes.

Des essais de protection individuelle de vaches laitières par pulvérisation d'une émulsion de perméthrine se sont révélés efficaces pendant 3 à 5 jours par beau temps. De meilleurs résultats ont été obtenus par pulvérisation quotidienne après la traite des parties sensibles du bovin (pis, abdomen inférieur, plis axillaires et inguinaux, périnée).

Le prix de ces traitements, dont la répétition est contraignante n'a pas été évalué avec précision.

*Simulium ornatum* est une espèce banale qui se développe dans la plupart des cours d'eau d'Europe mais qui ne constitue pas une nuisance pour le bétail.

Cette espèce présente 3 à 4, peut-être 5 générations par an ; les œufs pondus en automne éclosent au bout d'environ trois semaines et les larves se développent à l'entrée de l'hiver puis donnent au printemps de très grosses nymphes d'où émergent des adultes de grande taille (5 à 6 mm).

Les adultes des générations estivales (3,5 mm) sont beaucoup plus petits que ceux qui émergent au printemps. Nous pensons précisément que la quantité de salive, plus grande, émise par ces derniers est à l'origine de la gravité des symptômes observés en avril-mai. En effet, dans les mois suivants un nombre plus élevé de piqûres a provoqué des effets moindres. Il n'est pas exclu également que les animaux développent une immunité à la suite des premières piqûres entraînant une relative protection contre les attaques ultérieures. Une expérimentation est en cours pour rechercher un tel phénomène qui est bien connu dans les infections par les Tiques.

Dès les premières enquêtes nous avons constaté une pullulation anormale de larves et de nymphes de Simulies dans le Neuné entre l'usine de lactosérum de Corcieux et Laveline-devant-Bruyères, soit sur un parcours de 20 km environ. Les pierres et tous les supports étaient couverts de larves et celles-ci se fixaient même sur les nymphes.

En fait, il y avait plusieurs couches. Lorsqu'en septembre, nous avons placé des supports artificiels (bandelettes de plastique) on a observé au bout de 48 heures, plus de 1.500 larves sur moins de 300 cm<sup>2</sup>. Les deux faces étaient colonisées.

La densité partout très élevée des Simulies marque un maximum au Pont de Biffontaine ; elle décroît ensuite jusqu'à Laveline.

## METHODES DE LUTTE

La majorité des bovins ont été attaqués par les Simulies dans des pâturages en bordure des bois ou sur des pâturages parsemés de bouquets d'arbres ou d'arbustes plutôt qu'au bord de la rivière elle-même. Il semble donc que ce soit là les refuges des Simulies adultes à partir desquels elles déclenchent leurs attaques. Cependant, aucun des lieux de repos des essaims de Simulies adultes n'a pu être localisé avec précision.

La lutte contre les Simulies a essentiellement visé leur destruction au stade larvaire.

Des essais ont été exécutés fin septembre et début octobre. Ils ont été calqués sur la méthode employée en Afrique Tropicale pour la lutte contre *Simulium damnosum* le vecteur de l'Onchocercose. Toutefois, les techniques n'étaient pas directement transposables du fait des différences écologiques.

Après consultation de MM. GUILLET et DEJOUX, de l'Institut de Recherches sur l'Onchocercose de Bouaké, il fut décidé d'utiliser l'Abate C 200, le meilleur antisimulien actuellement disponible, dont l'action sur l'environnement s'était révélée tolérable.

Le produit dilué dans l'eau a été dispersé à l'aide d'un jerrican percé qui permettait l'écoulement de la quantité voulue en 10 minutes.

Les essais en utilisant 0.1 ppm pendant 10 minutes, dosage recommandé en Afrique se sont révélés inefficaces, probablement par suite de la température de l'eau seulement à 10° C.

Par contre, le dosage 0,3 ppm pendant 10 minutes s'est révélé très efficace, amenant une mortalité voisine de 100 % des Simulies sur un parcours de 5 km environ.

Au cours des traitements, des contrôles réguliers de dérive ont permis une surveillance de la faune non cible (Vertébrés, Invertébrés); les effets sur les espèces autres que les Simulies sont pratiquement nuls.

Après décrochement du support, les larves de Simulies dérivent au fil du courant; le fractionnement des traitements a permis d'éviter toute accumulation massive de larves mortes.

Les traitements de la rivière ont été poursuivis jusqu'en octobre; cependant, à cette époque il restait des quantités impressionnantes d'œufs qui ne peuvent être détruites par l'insecticide.

L'éclosion des œufs et le développement des jeunes larves s'est poursuivi pendant l'hiver; il a nécessité une nouvelle série de traitements au mois de mars, qui ont été tous aussi efficaces.

Cependant, il convient de rappeler qu'une seule Simulie peut déposer facilement 500 œufs et il est vain d'espérer pouvoir un jour réaliser l'extermination totale et définitive de cette espèce d'insecte si nuisible soit-elle dans ce secteur.

Le but des traitements entrepris est plus modeste, il se propose de ramener, puis de maintenir la population simulidienne à un niveau acceptable permettant d'éviter l'aggravation ou le retour des accidents de l'an passé.

- (1) CANTENEUR R. — Communication personnelle.
- (2) LECLERQ M. — « Les mouches nuisibles aux animaux domestiques ». Ed. les Presses Agronomiques de Gembloux, Diffusion Vander, Bruxelles.
- (3) NEVEU-LEMAIRE M. — Traité d'Entomologie médicale et vétérinaire, Vigot Frères, Paris 1938.
- (4) NOIRTIN C. et BOITEUX B. — Bull. Vét. Prat. de France, janvier 1979, T 63 n° 1, pp. 41-54.
- (5) RÜHM W. — Informations de médecine vétérinaire, 69-1, pp. 31-40.
- (6) (6) The Merck Veterinary Manual — Fourth Edition Merck et Co, INC, Rahway N.J. USA, 1973.

