

50376
1974
9-1

Université des Sciences et Techniques de Lille

50376
1974
9-1

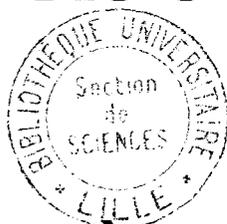
Année 1974

N° 293

Conséquences, sur la forme et le port de la tête, d'une augmentation volumétrique de l'encéphale

Approche expérimentale en orientation vestibulaire
chez le rat

par
Pierre DESTOMBES



THESE

présentée pour obtenir le grade de Docteur ès Sciences Naturelles
et soutenue le 8 Février 1974 devant la commission d'examen :

MM. M. DURCHON, Président
R. FENART, Rapporteur
B. DRIEUX, Examineur
A. DELMAS, Membre invité

B.U. LILLE 1



D 030 114606 6

UNIVERSITE DES SCIENCES
ET TECHNIQUES DE LILLE

DOYENS HONORAIRES de l'Ancienne Faculté des Sciences
MM. H. LEFEBVRE, R. DEFRETIN

PROFESSEURS HONORAIRES des Anciennes Facultés de Droit et
Sciences Economiques, des Sciences et des Lettres

M. ARNOULT, Mme BEAUJEU, MM. BROCHARD, CAU,
CHAPPELON, CHAUDRON, CORDONNIER, DEHEUVELS, DEHORNE, DEHORS, FAUVEL, FLEURY,
P. GERMAIN, HEIM DE BALSAC, HOCQUETTE, KAMPE DE FERIET, KOURGANOFF, LAMOTTE,
LELONG, Mme LELONG, LIEBAERT, MARTINOT-LAGARDE, MAZET, MICHEL, NORMANT, PEREZ,
ROIG, ROSEAU, ROUBINE, ROUELLE, WIEMAN, ZAMANSKI.

PRESIDENT DE L'UNIVERSITE
DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE

M. PARREAU

PROFESSEUR

PROFESSEURS TITULAIRES

M. BACCHUS Pierre	ASTRONOMIE
M. BEAUFILS Jean-Pierre	CHIMIE GENERALE
M. BECART Maurice	PHYSIQUE
M. BI AYS Pierre	GEOGRAPHIE
M. BONNEMAN Pierre	CHIMIE et PHYSICO-CHIMIE INDUSTRIELLE
M. BONTE Antoine	GEOLOGIE APPLIQUEE
M. BOUGHON Pierre	MATHEMATIQUES
M. BOURIQUET Robert	BIOLOGIE VEGETALE
M. CELET Paul	GEOLOGIE
M. CONSTANT Eugène	PHYSIQUE INDUSTRIELLE-ELECTRONIQUE
M. CORSIN Pierre	PALEOBOTANIQUE
M. DECUYPER Marcel	MATHEMATIQUES GENERALES
M. DELATTRE Charles	GEOLOGIE GENERALE
M. DURCHON Maurice	ZOOLOGIE GENERALE et APPLIQUEE
M. FAURE Robert	MECANIQUE
M. FOURET René	PHYSIQUE
M. GABILLARD Robert	RADIO-ELECTRICITE-ELECTRONIQUE
M. GLACET Charles	CHIMIE ORGANIQUE
M. GONTIER Gérard	MECANIQUE
M. GUILLAUME Jean	BIOLOGIE VEGETALE
M. HEUBEL Joseph	CHIMIE MINERALE
M. LANSRAUX Guy	PHYSIQUE
Mme LENOBLE Jacqueline	PHYSIQUE EXPERIMENTALE
M. LOMBARD Jacques	SOCIOLOGIE
M. MAILLET Pierre	SCIENCES ECONOMIQUES et SOCIALES
M. MONTARIOL Frédéric	CHIMIE APPLIQUEE
M. MONTREUIL Jean	CHIMIE BIOLOGIQUE
M. POUZET Pierre	INFORMATIQUE (Lille)
M. PROUVOST Jean	GEOLOGIE MINERALOGIE
Mme SCHWARTZ Marie-Hélène	ANALYSE SUPERIEURE
M. TILLIEU Jacques	PHYSIQUE THEORIQUE

PROFESSEURS TITULAIRES (suite)

M.	TRIDOT Gabriel	CHIMIE
M.	VAILLANT Jean	MATHEMATIQUES
M.	VIDAL Pierre	AUTOMATIQUE
M.	VIVIER Emile	BIOLOGIE ANIMALE
M.	WERTHEIMER Raymond	PHYSIQUE
M.	ZEYTOUNIAN Radyadour	MATHEMATIQUES

PROFESSEURS A TITRE PERSONNEL

M.	BOUISSET Simon	PHYSIOLOGIE ANIMALE
M.	DELHAYE Michel	CHIMIE
M.	DERCOURT Jean-Michel	SCIENCES DE LA TERRE
M.	LEBRUN André	ELECTRONIQUE (Lille)
M.	LEHMANN Daniel	MATHEMATIQUES
M.	LINDER Robert	BOTANIQUE
M.	LUCQUIN Michel	CHIMIE PHYSIQUE
M.	PARREAU Michel	MATHEMATIQUES APPLIQUEES
M.	SCHILTZ René	PHYSIQUE

PROFESSEURS SANS CHAIRE

M.	BELLET Jean	PHYSIQUE
M.	BILLARD Jean	PHYSIQUE
M.	BODARD Marcel	BOTANIQUE
M.	BOILLET Pierre	PHYSIQUE
M.	BONNOT Ernest	BIOLOGIE
M.	BRIDOUX Michel	I.U.T. Béthune
M.	CAPURON Alfred	CHIMIE MINERALE
M.	DEPREZ Gilbert	I.U.T. Lille
M.	DEVRAINNE Pierre	CHIMIE MINERALE
M.	GOUDMAND Pierre	CHIMIE PHYSIQUE
M.	GRUSON Laurent	MATHEMATIQUES
M.	GUILBAULT Pierre	BIOLOGIE
M.	LABLACHE-COMBIER Alain	CHIMIE
M.	LACOSTE Louis	BIOLOGIE
M.	LANDAIS Jean	CHIMIE
Mme	LEHMANN Josiane	MATHEMATIQUES
M.	LOUCHEUX Claude	CHIMIE
M.	MAES Serge	PHYSIQUE
Mle	MARQUET Simone	MATHEMATIQUES
M.	MONTEL Marc	PHYSIQUE
M.	MONTUELLE Bernard	I.U.T. Lille
M.	PANET Marius	I.E.E.A.
M.	SALMER Georges	I.E.E.A.
M.	SEGUIER Guy	I.U.T. Béthune

MAITRES DE CONFERENCES (et chargés de fonctions)

M.	ADAM Michel	ECONOMIE POLITIQUE
M.	ANDRE Charles	SCIENCES ECONOMIQUES
M.	ANGRAND Jean-Pierre	GEOGRAPHIE
M.	ANTOINE Philippe	MATHEMATIQUES
M.	AUBIN Thierry	MATHEMATIQUES
M.	BART André	BIOLOGIE

MAITRES DE CONFERENCES (et chargés de fonctions) suite

M.	BEGUIN Paul	MECANIQUE DES FLUIDES
M.	BKOCHE Rudolphe	MATHEMATIQUES
M.	BOILLY Bénoni	BIOLOGIE
M.	BONNEMAIN Jean-Louis	BIOLOGIE VEGETALE
M.	BOSCQ Denis	MATHEMATIQUES
M.	BREZINSKI Claude	I.E.E.A.
M.	BRUYELLE Pierre	GEOGRAPHIE et AMENAGEMENT SPATIAL
M.	CARREZ Christian	I.E.E.A.
M.	CORDONNIER Vincent	INFORMATIQUE
M.	CORTOIS Jean	PHYSIQUE
M.	COQUERY Jean-Louis	BIOLOGIE
M.	COULON Jean	I.E.E.A.
Mlle	DACCHARI Monique	GEOGRAPHIE et AMENAGEMENT SPATIAL
M.	DEBOURSE Jean-Pierre	SCIENCES ECONOMIQUES et SOCIALES
M.	DEBRABANT Pierre	SCIENCES APPLIQUEES
M.	DELAUNAY Jean-Claude	SCIENCES ECONOMIQUES et SOCIALES
M.	DERIEUX Jean-Claude	BIOLOGIE (I.U.T.)
M.	DOUKHAN Jean-Claude	PHYSIQUE
M.	DRIEUX Baudouin	I.E.E.A.
M.	DUEE Gérard	SCIENCES DE LA TERRE
M.	DYMENT Arthur	MATHEMATIQUES
M.	ESCAIG Bertrand	PHYSIQUE
Mme	EVARD Micheline	CHIMIE (I.U.T.)
M.	FONTAINE Jacques-Marie	I.U.T. Lille
M.	FOURNET Bernard	I.U.T. Lille
M.	FROELICH Daniel	SCIENCES APPLIQUEES
M.	GAMBLIN André	GEOGRAPHIE
M.	GOBLOT Rémi	MATHEMATIQUES
M.	GOSSELIN Gabriel	SOCIOLOGIE
M.	GRANELLE Jean-Jacques	SCIENCES ECONOMIQUES
M.	GUILLAUME Henri	SCIENCES ECONOMIQUES et SOCIALES
M.	HECTOR Joseph	S.E.N. Calais
M.	HERMAN Maurice	PHYSIQUE
M.	HUARD DE LA MARRE Pierre	I.E.E.A.
M.	JOURNAL Gérard	SCIENCES APPLIQUEES
Mlle	KOSMANN Yvette	MATHEMATIQUES
M.	KREMBEL Jean	CHIMIE
M.	LAURENT François	AUTOMATIQUE
Mlle	LEGRAND Solange	MATHEMATIQUES
M.	LENTACKER Firmin	GEOGRAPHIE et AMENAGEMENT SPATIAL
M.	LEROY Jean-Marie	E.N.S.C.L.
M.	LEROY Yves	ELECTRONIQUE (Lille)
M.	LHENAFF René	GEOGRAPHIE
M.	LOCQUENEUX Robert	PHYSIQUE
M.	LOUAGE Francis	SCIENCES APPLIQUEES
M.	MAHIEU Jean-Marie	PHYSIQUE (I.U.T. Lille)
Mme	MAILLET Monique	SCIENCES ECONOMIQUES et SOCIALES
M.	MAIZIERES Christian	I.E.E.A.
M.	MALAUSSENA Jean-Louis	SCIENCES ECONOMIQUES et SOCIALES
M.	MESSELYN Jean	PHYSIQUE
M.	MIGEON Michel	CHIMIE (Sciences Appliquées)
M.	MOTZKIN Joseph	MATHEMATIQUES
M.	MONTUELLE Bernard	I.U.T. Lille
M.	NICOLE Jacques	CHIMIE (E.N.S.C.L.)
Mlle	LEGRAND Denise	MATHEMATIQUES

MAITRES DE CONFERENCES (et chargés de fonctions) suite

M.	PAQUET Jacques	SCIENCES APPLIQUEES
M.	PARSY Fernand	MATHEMATIQUES
M.	PECQUE Marcel	CHIMIE (Béthune)
M.	PERROT Pierre	CHIMIE
M.	PERTUZON Emile	BIOLOGIE
M.	PONSOLLE Louis	CHIMIE (Valenciennes)
M.	POVY Jean-Claude	SCIENCES APPLIQUEES
M.	RACZY Ladislas	PHYSIQUE
M.	ROGALSKI Marc	MATHEMATIQUES
M.	ROUSSEAU Jean-Paul	PHYSIOLOGIE ANIMALE
M.	ROY Jean-Claude	BIOLOGIE
Mme	N'GUYEN VAN CHI Régine	GEOGRAPHIE et AMENAGEMENT SPATIAL
M.	SIMON Michel	PSYCHOLOGIE
M.	SLIWA Henri	CHIMIE
M.	SMET Pierre	PHYSIQUE
M.	SOMME Jean	GEOGRAPHIE
Mle	SPIK Geneviève	CHIMIE BIOLOGIQUE
M.	THERY Pierre	Calais
M.	TOULOTTE Jean-Marc	SCIENCES APPLIQUEES
M.	TREANTON Jean-René	SCIENCES ECONOMIQUES et SOCIALES
M.	VANDORPE Bernard	CHIMIE PHYSIQUE
M.	VILETTE Michel	Génie Mécanique (Béthune)
M.	WERNER Georges	INFORMATIQUE (I.U.T. Lille)
M.	WATERLOT Michel	GEOLOGIE
Mme	ZINN JUSTIN Nicole	MATHEMATIQUES

AVANT - PROPOS

Préalablement à l'exposé des résultats de nos investigations, il nous est particulièrement agréable d'exprimer notre plus vive reconnaissance à tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, nous ont apporté leur aide désintéressée.

C'est à Monsieur le Professeur R. FENART, Maître de Recherche au C.N.R.S. que nous devons d'avoir pu participer depuis près de huit années aux travaux du Laboratoire de Craniologie comparée de Lille. En nous confiant un sujet découlant de sa thèse sur le bipodisme expérimental, nous avons pu apprécier, dès le début, la confiance et la sympathie qu'il a bien voulu nous accorder. Avec beaucoup de sûreté et de clairvoyance il a guidé nos travaux dans leur progression. Nous ne saurions trop le remercier d'avoir partagé ses vastes connaissances en craniologie ainsi que son enthousiasme pour la recherche.

A Monsieur le Professeur DURCHON, qui a accepté la présidence de cette thèse, vont nos sentiments respectueux et déferents. Etudiant, les circonstances nous ont permis d'apprécier sa rigueur scientifique et son sens didactique; jeune chercheur, nous avons toujours trouvé auprès de lui un accueil très chaleureux et un encouragement à persévérer.

Notre profonde gratitude s'adresse encore à Monsieur le Professeur DELMAS, Membre de l'Académie de Médecine, qui a bien voulu participer à notre jury. Il vit naître la méthode vestibulaire et en a suivi tous les développements. Il nous a toujours encouragé et honoré de sa confiance dans un domaine où il est un Maître incontesté. Nous tenons à lui témoigner particulièrement nos remerciements.

Que Monsieur le Professeur DRIEUX, qui nous fait l'honneur d'être l'un des juges de cette thèse, veuille bien trouver ici l'expression de notre très grande reconnaissance. Ses compétences en mathématiques ainsi que l'intérêt qu'il a porté à notre travail sont pour nous un précieux encouragement.

A Monsieur le Professeur DELATTRE, Doyen honoraire de la Faculté Libre de Médecine de Lille, nous exprimons toute notre admiration pour sa très vaste culture, sa grande cordialité et la sollicitude dont il nous a entouré.

Nous avons trouvé auprès de Monsieur le Doyen LIEFOOGHE une aide efficace non seulement pour un approfondissement de nos connaissances en Physiologie animale mais encore pour la part technique qu'il a prise au cours de la mise au point de l'expérimentation. Ce travail est pour nous l'occasion de lui dire combien nous avons été sensible à cette disponibilité dont il a bien voulu nous faire bénéficier.

A Monsieur B. TERK qui étudia avec beaucoup de soin l'évolution des dents, chez les rats hydrocéphales, nous adressons nos remerciements amicaux pour sa collaboration très sympathique.

D'autres travaux sur l'hydrocéphalie ont pu être envisagés, et seront prochainement publiés, notamment chez les Bovins et les Equidés, grâce à l'obligeance de Monsieur le Professeur BARONE de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon qui a mis à notre disposition ses pièces de collection. Qu'il veuille bien accepter nos très sincères remerciements.

De nombreux amis ont été fréquemment sollicités tant pour des services relatifs à l'élevage expérimental que pour diverses manipulations; en les remerciant nous tenons à leur renouveler l'expression de notre amitié. Nous pensons particulièrement à Monsieur J. BOLLENGIER; que son épouse veuille bien trouver ici l'assurance de notre très grande sympathie en souvenir de son mari dont la collaboration très précieuse a permis une progression régulière de nos travaux.

Enfin j'adresse mes plus affectueux remerciements à ma femme qui a participé très activement à ce travail et qui a compris, toujours avec beaucoup de gentillesse, les vicissitudes inhérentes à une telle entreprise.

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION ET POSITION DU PROBLEME	1
PREMIERE PARTIE :	
PRODUCTION EXPERIMENTALE DE L'HYDROCEPHALIE	5
CHAPITRE I : CONDITIONS D'APPARITION DE L'HYDROCEPHALIE	5
A. – PHYSIOLOGIE NORMALE DU LIQUIDE CEPHALO-RACHIDIEN	5
1. Sécrétion	6
2. Circulation	6
3. Résorption	7
4. Facteurs de régulation	7
5. Echanges au niveau du système nerveux central	8
B. – PATHOGENIE DE L'HYDROCEPHALIE	8
1. Hypersécrétion liquidienne	9
2. Insuffisance de résorption	9
3. Blocage	9
C. – HYDROCEPHALIE CONGENITALE - FACTEURS GENETIQUES	9
CHAPITRE II : PRODUCTION EXPERIMENTALE DE L'HYDROCEPHALIE- EXPOSE HISTORIQUE	12
A. – FACTEURS NON MECANIQUES	12
1. Facteurs métaboliques	12
a) Carence en Vitamine A	12
b) Hypervitaminose A	14
c) Carence en riboflavine	14
d) Carence en acide folique	15

e) <i>Carence en vitamine B₁₂</i>	15
f) <i>Autres carences</i>	15
2. Facteurs chimiques	16
a) <i>Injection de bleu trypan</i>	16
b) <i>Ingestion de tellure</i>	16
c) <i>Ingestion de cuprizone</i>	16
d) <i>Autres facteurs tératogènes</i>	17
3. Facteurs viraux	17
4. Discussion	17
B. – FACTEURS MECANIQUES	18
1. Procédés chirurgicaux	19
a) <i>Ligatures vasculaires</i>	19
b) <i>Obturations ventriculaires</i>	19
c) <i>Autres méthodes</i>	20
2. Procédés irritatifs et inflammatoires	20
a) <i>Au niveau des ventricules</i>	20
b) <i>Au niveau des espaces sous-arachnoïdiens</i>	20
c) <i>Discussion</i>	22
CHAPITRE III : CONDUITE DE L'ELEVAGE	23
A. – MATERIEL D'ETUDE	23
1. Critères d'ordre zoologique et considérations biologiques	23
2. Conditions d'élevage	24
3. Récolte des pièces	25
B. – PROTOCOLE EXPERIMENTAL	25
1. Technique d'injection	25
2. Influence relative des divers facteurs	27
a) <i>L'âge</i>	27
b) <i>La dose</i>	27

α) <i>Volume</i>	27
β) <i>Concentration</i>	28
c) <i>L'espèce</i>	28
d) <i>Notion de seuil</i>	28
CHAPITRE IV : OBSERVATION DES ANIMAUX	30
A. – TROUBLES PHYSIO-PATHOLOGIQUES	30
B. – OBSERVATION DE L'EXTREMITÉ CEPHALIQUE	31
1. Aspect de l'extrémité céphalique à l'apparition de l'hydrocéphalie	31
2. Hydrocéphalie rapide	32
a) <i>Description</i>	32
b) <i>Port de la tête</i>	32
c) <i>Evolution</i>	32
3. Hydrocéphalie lente	32
a) <i>Description</i>	33
b) <i>Port de la tête</i>	33
CHAPITRE V : CROISSANCE	34
A. – CROISSANCE PONDERALE	34
1. Croissance individuelle	34
2. Courbes de croissance moyenne	35
B. – CROISSANCE DE LA TÊTE "IN VIVO"	35
1. Paramètres retenus et calculs statistiques	35
2. Analyse	36
a) <i>Longueur</i>	36
b) <i>Largeur</i>	37
c) <i>Hauteur</i>	37
d) <i>Indice largeur/longueur</i>	37
e) <i>Volume de l'ovoïde céphalique</i>	37

3. Croissance différentielle de la tête, chez les hydrocéphales	37
a) <i>Répartition en catégories</i>	37
b) <i>Analyse de la croissance de la tête "in vivo" chez les diverses catégories d'hydrocéphales</i>	38

DEUXIEME PARTIE :

ETUDE BIOMETRIQUE DE L'EXTREMITÉ CEPHALIQUE "POST-MORTEM"	39
--	----

CHAPITRE I : MATERIEL D'ETUDE	40
--	----

A. – RECOLTE DES PIÈCES ET OBSERVATIONS PRELIMINAIRES	40
--	----

1. Mesure des tibias	40
---------------------------------------	----

2. Section sagittale de la tête et observation du degré de dilatation des ventricules latéraux	41
---	----

3. Troubles de la denture	41
--	----

4. Modifications de l'encéphale	42
--	----

5. Répartition du kaolin	42
---	----

B. – CRITERES DE DIFFERENCIATION DES HYDROCEPHALES	42
---	----

1. Utilisation du poids corporel et de la longueur du tibia	42
--	----

2. Sélection des pièces	44
--	----

C. – REPARTITION DU MATERIEL D'ETUDE PAR SERIES	45
--	----

1. Regroupement des hydrocéphales.	45
---	----

2. Regroupement des témoins	46
--	----

3. Interprétation	47
------------------------------------	----

a) <i>Tendances ontogéniques</i>	47
--	----

b) <i>Forme du crâne</i>	47
------------------------------------	----

CHAPITRE II : APPLICATION DE LA METHODE VESTIBULAIRE	48
A. – AXES ET COORDONNEES VESTIBULAIRES	48
B. – PROCEDES EMPLOYES	49
1. Radiographie	49
2. Dissection	50
3. Orientation	50
4. Exécution des tracés	50
C. – PARAMETRES DE BASE	50
1. Paramètres choisis	50
a) <i>Le neurocrâne</i>	51
b) <i>Le splanchnocrâne</i>	52
2. Présentation des données	52
D. – TECHNIQUE STATISTIQUE ET RESULTATS	53
1. Caractéristiques d'une population	53
2. Comparaisons de populations	54
a) <i>Différences expérimentales</i>	54
b) <i>Différences sexuelles</i>	55
3. Tests de croissance	55
4. Iconographie	56
a) <i>Types moyens</i>	56
b) <i>Variation</i>	56
CHAPITRE III : TYPES MOYENS	58
A. – GROUPES RAPIDES	58

1. Comparaison entre $H_2 + H_3 + H_4$ et $T_2 + T_3 + T_4$	58
a) <i>Le neurocrâne</i>	58
b) <i>Le splanchnocrâne</i>	59
2. Evolution des classes 2, 3 et 4	60
a) <i>Le neurocrâne</i>	60
b) <i>Le splanchnocrâne</i>	61
B. – GROUPES LENTS	62
1. Hydrocéphalie lente chez les mâles	62
2. Hydrocéphalie lente chez les femelles	63
3. Différences sexuelles	63
a) <i>Chez les témoins</i>	63
b) <i>Chez les hydrocéphales</i>	63
4. Conclusion.	64
C. – STADES TRANSITOIRES	64
1. Classe T_0	64
2. Classes $H_1 - T_1$	65
3. Classes $H_5 - T_5$	66
CHAPITRE IV : LA VARIATION	68
A. – INTERPRETATION DES ECARTS-TYPES DES COORDONNEES DES POINTS CRANIOMETRIQUES	69
1. La voûte du neurocrâne	69
2. La base du neurocrâne	70
3. Le trou occipital	70

4. Le massif facial	70
5. La mandibule	71
6. Test " F "	71
B. – INTERPRETATION DES ECARTS-TYPES DES AUTRES PARAMETRES	71
C. – ECARTS-TYPES DES FEMELLES ET DIFFERENCES SEXUELLES	72
1. Points craniométriques	72
2. Autres paramètres	73
D. – COMPARAISON DES GROUPES SUCCESSIFS	73
E. – LES INTERVALLES DE CONFIANCE	73
1. Points craniométriques	73
a) Aire	74
b) Forme	74
. Chez les témoins	74
. Chez les hydrocéphales	75
2. Autres paramètres	75
CHAPITRE V : CORRELATIONS ET REGRESSIONS	77
A. – INTERPRETATION DES RESULTATS	77
1. Chez les témoins	77
2. Chez les hydrocéphales	78
B. – COMPARAISON DES COEFFICIENTS DE CORRELATION	79
C. – CORRELATIONS DE L'ARRIERE-CRANE ET DIFFERENCES SEXUELLES	79

CHAPITRE VI : LES ELLIPSES EQUIPROBABLES	80
A. – DONNEES STATISTIQUES	80
B. – INTERPRETATION DES RESULTATS	80
1. Position	81
2. Etendue	81
a) <i>Chez les témoins</i>	81
b) <i>Chez les hydrocéphales</i>	82
3. Forme	82
a) <i>Chez les témoins</i>	82
b) <i>Chez les hydrocéphales</i>	83
4. Direction	83
a) <i>Témoins</i>	84
b) <i>Hydrocéphales de type lent</i>	85
c) <i>Hydrocéphales de type rapide</i>	86
d) <i>Valeur et signification de cette analyse</i>	86
CHAPITRE VII : COMPARAISON ENTRE TEMOINS ET HYDROCEPHALES	88
A. – TAUX D'ELOIGNEMENT	88
1. Données statistiques	88
2. Analyse des résultats	89
B. – DIFFERENCES EXPERIMENTALES PAR LA METHODE D'ANALYSE DISCRIMINANTE	90
1. Méthode, technique et résultats	90
2. Interprétation des résultats	91
a) <i>Distance généralisée et pourcentage de mal classés</i>	91
b) <i>Direction des droites frontières</i>	92
c) <i>La variation</i>	93
d) <i>Calcul de " t "</i>	93

CHAPITRE VIII : LA CROISSANCE	94
A. – TECHNIQUES D’ANALYSE	94
1. Matériel d’étude	94
2. Tests statistiques	95
- test “ F de croissance”	95
- test “ F de linéarité”	95
3. Iconographie	95
a) <i>trajets ontogéniques des points craniométriques</i>	95
b) <i>Evolution des autres paramètres</i>	96
c) <i>Profils superposés</i>	96
B. – TRAJETS ONTOGENIQUES DES POINTS CRANIOMETRIQUES	96
1. Longueur	96
2. Forme	97
3. Position	97
C. – EVOLUTION DES AUTRES PARAMETRES	98
1. Paramètres linéaires et capacité	98
2. Indices	99
3. Angles	99
D. – PROFILS SUPERPOSES	100
1. Le neurocrâne	100
2. Le splanchnocrâne	102
CONCLUSIONS	103
BIBLIOGRAPHIE	in fine

INTRODUCTION ET POSITION DU PROBLEME

La génétique traditionnelle nous enseigne que le phénotype d'un individu dépend, avant toute chose, de la garniture chromosomique de celui-ci. Mais, faut-il entendre par là que durant leur genèse, les éléments ou organes, ainsi déterminés, n'obéissent à rien d'autre qu'aux ordres reçus des séquences d'acides nucléiques où ils sont "inscrits" à la manière d'un code ? En d'autres termes, tous les détails de la forme, du volume et des proportions d'un organe adulte sont-ils sous la dépendance exclusive des gènes, ou bien d'autres facteurs ne peuvent-ils venir concourir à l'obtention du phénotype ? Par ailleurs, l'impact génétique est-il toujours *direct* ? ou bien certaines formations déjà déterminées peuvent-elles répondre à d'autres exigences ?

Il est possible d'aborder ce problème sous des angles divers, et, laissant la solution génétique aux spécialistes de cette science, nous avons tenté de raisonner en anatomiste.

Les biologistes connaissent bien la notion de "compétition physiologique"; plusieurs organes, déterminés chacun indépendamment par le génome, peuvent agir les uns sur les autres, la forme finale étant le résultat de cette interférence. Si pour une raison donnée, génique ou extra-génique, l'un des organes est modifié, il faut s'attendre à ce qu'une nouvelle morphologie soit obtenue pour l'ensemble, à la recherche d'un nouvel état d'équilibre.

Appliquant ce raisonnement à l'extrémité céphalique des Mammifères, il est possible de retrouver dans celle-ci un certain nombre de composants dont le déterminisme morphologique est différent, et dont l'agencement général correspond à la tendance des diverses espèces. Les recherches poursuivies depuis une dizaine d'années au Laboratoire de Craniologie Comparée de Lille ont permis de séparer un certain nombre de ces composants céphaliques, et ceci par des procédés divers : études ontogéniques et phylogéniques, comparaisons d'ordre anthropologique entre ethnies, recherche des déplacements des points craniométriques durant la croissance, considérations des différences sexuelles de la tête, étude des jumeaux vrais, expérimentation sur le mode de station et de locomotion, et apports de l'investigation par des procédés mathématiques analysant les phénomènes de la variabilité.

En schématisant à l'extrême, on peut dire que le splanchnocrâne obéit à d'autres lois que le neurocrâne, et que dans ce dernier la partie postérieure répond, avec la colonne, aux exigences de la posture.

L'avant-crâne, en situation intermédiaire entre des éléments faciaux qui évoluent selon des translations et des éléments occipitaux opérant une rotation, subit, à distance, les deux influences précédentes. C'est là que se fera sentir le plus efficacement l'expansion volumétrique de l'encéphale, comme nous le montrerons sur nos profils sagittaux, et comme le suggéraient déjà les travaux de MM. Delattre et Fenart lorsqu'ils étudiaient en 1963-64 les processus d'homínisation du crâne dans le sens transversal. Aux composants céphaliques qui précèdent, il faut encore ajouter les "capsules" sensorielles, notamment les capsules otiques sur lesquelles nous insisterons longuement dans cette thèse.

En somme, on voit que de la notion de "composants anatomiques" on passe à celle "d'éléments fonctionnels" de la tête : volume encéphalique, prise de nourriture par les mâchoires, degré d'érection du corps, orientation spatiale par rapport au milieu extérieur. Certains d'entre eux, lors du jeu de l'Evolution, manifestent une extériorisation de plus en plus élaborée du génome, mais d'autres en sont indépendants et représentent des "servitudes" plus générales. Pour les premiers, il nous apparaît que l'augmentation du volume de l'encéphale et la bascule occipitale, allant de pair avec la station droite, sont essentiels; parmi les seconds, la quête de la provende et le maintien de la tête en position favorable imposent des directions liées au milieu extérieur (*figure 1*).

En 1966 R. Fenart (B. 104) étudiant le bipodisme expérimental chez le rat, a modifié expérimentalement l'un des quatre facteurs précédents : la station. Il a observé que l'amputation précoce des membres antérieurs provoquait une rotation de la loge cérébelleuse dans le sens inverse de celui observé durant l'évolution phylogénique. Un facteur externe, mécanique, était donc mis en évidence dans la morphogénèse^{ab} céphalique.

Notre thèse s'inscrit à la suite du travail précédemment évoqué, car elle vise à modifier expérimentalement un second facteur morphogénétique de la tête : le volume cérébral (ou, plus exactement, la capacité endocrânienne), et à étudier quelles en sont les répercussions sur les autres constituants de la tête. Le labyrinthe de l'oreille interne, pris comme base de référence des diverses modifications qui seront observées, est fixe par convention (et aussi parce qu'il est lié à une direction invariable : la pesanteur). Il reste à savoir si le splanchnocrâne d'une part, et l'arrière-crâne d'autre part, subissent les effets de notre intervention. Nous attirons particulièrement l'attention sur la relation éventuelle entre une augmentation du volume encéphalique et une "bascule" du trou occipital; ce sont là deux phénomènes qui s'observent durant l'évolution phylogénique et mènent à l'homínisation de la tête. Ces deux processus paraissent "liés" au cours de cette orthogénèse. En fait, cette liaison est-elle absolue, toute augmentation volumétrique du cerveau entraînant mécaniquement une tendance au "redressement" de la colonne ? ou bien s'agit-il d'adaptations progressives, par paliers, de la forme du crâne suivant alternativement l'évolution de l'un puis de l'autre facteur, sans effet direct obligatoire et immédiat ?

On comprend toute l'importance de la question soulevée et son incidence sur une meilleure compréhension de l'évolution de la tête des Mammifères, des Primates et de l'Homme.

Certes, il convient de faire la réserve d'usage quant à l'application à d'autres espèces, et notamment à l'Homme, de résultats obtenus expérimentalement chez le rat; c'est pourquoi les mêmes recherches sont actuellement poursuivies chez d'autres espèces animales : le chat (*Felis catus*) et le lapin (*Oryctolagus cuniculus*); elles feront l'objet de publications ultérieures, mais les premiers résultats qui en découlent appuient ceux que nous exposons ci-après. Par ailleurs, l'observation de cas d'hydrocéphalie spontanée chez le veau, le poulain, le chimpanzé et surtout chez l'Homme, semble également en faveur des thèmes qui seront avancés par nous. Il convien-

(1) dans ce travail, le terme de *morphogénèse* sera utilisé dans le sens de *topogénèse*, selon Huber (B.144); il n'est pas équivalent de celui d'*organogénèse* qui concerne la détermination embryologique préalable des organes; mais il inclut, par contre, les phénomènes consécutifs, de croissance.

dra aussi de les reprendre à part, ultérieurement.

Enfin, il ne faut pas oublier que, du point de vue embryologique, le développement du cerveau et celui du crâne ne sont pas synchrones, le premier étant nettement en avance sur le second. Le cerveau impose à la tête un "volume" auquel s'adapte le crâne, mais celui-ci, surtout dans sa zone occipitale, change ensuite de "forme". Chez les Anthroïdes notamment, a été décrit le phénomène de la rotation ontogénique "négative" de l'occipital amenant le trou occipital d'abord dirigé vers le bas, à regarder de plus en plus en arrière. Cette constatation appuie également les conclusions que nous apporterons car elles démontrent que toute augmentation volumétrique du cerveau n'a pas pour conséquence une bascule du trou occipital dans le sens de la bipédie puisque c'est précisément l'inverse qui se passe durant la croissance des Primates. Mais, on peut aussi discuter en disant qu'il s'agit d'une ontogénèse et non de processus phylogénique !

En 1959, Young (B. 307) provoque chez de jeunes rats une microcéphalie par aspiration de matière cérébrale. Le crâne adapte ses contours à ce nouveau volume et acquiert une forme nouvelle. Chez d'autres rats, il injecte une suspension de kaolin dans la grande citerne et provoque une hydrocéphalie ; le crâne s'adapte encore et le trou occipital tourne vers l'arrière et le bas, tandis que dans le cas de la microcéphalie le trou occipital subissait une rotation inverse (*figure 2*).

Mais, les sujets hydrocéphales décrits par Young sont morts très jeunes (40 jours maximum) et l'on est en droit de se demander quel aurait été le devenir du postéro-crâne, en essayant de continuer l'analyse chez des hydrocéphales adultes. C'est ce à quoi nous nous sommes attaché dans cette thèse.

Comme Young l'a précisé dans son travail, il est entendu que le contenu endocrânien est ici considéré par son aspect volumétrique et non par sa nature.

Délaissant le premier aspect (microcéphalie), notre travail se limitera à l'étude de l'hydrocéphalie : à sa production expérimentale chez *Rattus rattus albinus*, puis à l'examen des résultats obtenus au niveau de la tête, observée d'abord "in vivo" puis "post-mortem".

Des témoins seront utilisés dans toutes nos comparaisons et nos assertions seront appuyées par les calculs statistiques appropriés. Ceux-ci sont rendus commodes par l'utilisation de la méthode d'orientation "vestibulaire" de la tête qui situe avec exactitude tout point de celle-ci, grâce à des coordonnées rectangulaires.

Cette thèse comprend deux parties : la première, expérimentale, se rapporte à l'obtention des sujets hydrocéphales, et la seconde, à l'interprétation des résultats biométriques qu'on peut en tirer.

Afin de faciliter la lecture, nous avons rélégué, dans un tome annexe, un ensemble d'éléments (Tableaux de chiffres et Iconographie) servant essentiellement de documents, en réservant au Tome 1 l'interprétation proprement dite. Un glossaire est proposé dans le Tome 2.

Pour éviter toute confusion, nous avons convenu d'adopter le système suivant pour la désignation des tableaux et des figures.

Tome 1 : Tableaux : Chiffres romains - Caractères droits.

Figures : Numéro, suivi éventuellement d'une lettre - Caractères italiques.

Tome 2 : Tableaux : Numéro, suivi éventuellement d'une lettre - Caractères droits.

Figures : Lettre suivie d'un chiffre - Caractères italiques.

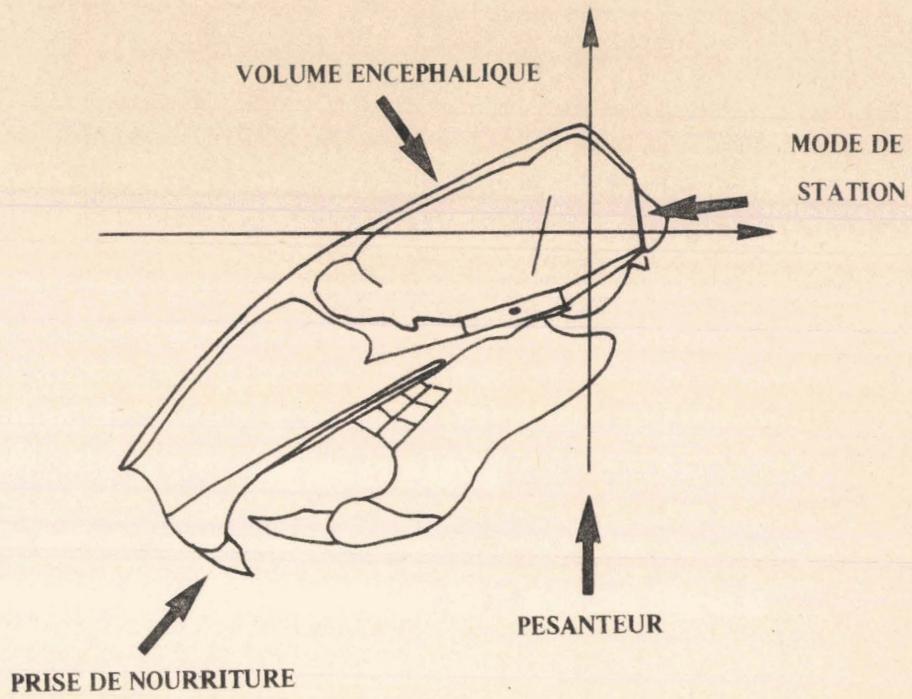


Figure 1

Facteurs "topogéniques" principaux intervenant dans la morphogénèse céphalique.

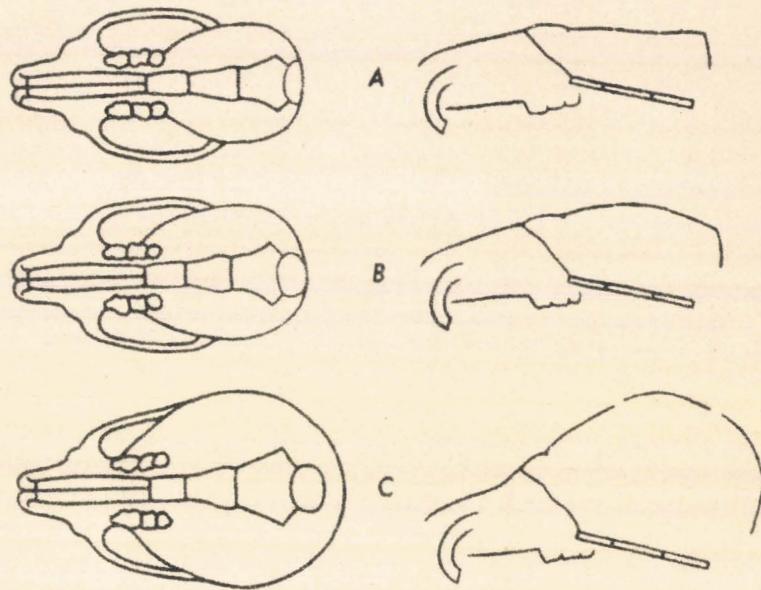


Figure 2

Crânes de rats âgés de 33 à 35 jours (d'après Young B. 307) :

A - Microcéphale

B - Témoin

C - Hydrocéphale

- à gauche : vues inférieures

- à droite : sections sagittales médianes



PREMIERE PARTIE

PRODUCTION EXPERIMENTALE DE L'HYDROCEPHALIE

CHAPITRE I

CONDITIONS D'APPARITION DE L'HYDROCEPHALIE

A. — PHYSIOLOGIE NORMALE DU LIQUIDE CEPHALO-RACHIDIEN.

Avant d'aborder les différentes techniques de production expérimentale de l'hydrocéphalie, il semble souhaitable de faire brièvement le point sur les phénomènes d'homéostasie du liquide céphalo-rachidien (L.C.R.).

Il est classiquement admis que le liquide céphalo-rachidien est sécrété au niveau des plexus choroïdes des ventricules cérébraux. Il circule, par l'aqueduc de Sylvius, vers le quatrième ventricule. De là, il gagne la grande citerne par le trou de Magendie et les citernes latérales par les trous de Luschka, puis les citernes basales pour se répandre dans tout l'espace sous-arachnoïdien. La résorption se fait, à ce niveau, directement par les villosités arachnoïdiennes (les granulations de Pacchioni n'étant qu'un aspect différencié et volumineux des villosités arachnoïdiennes) pour passer, par les sinus durs, dans le système veineux.

En réalité, la dynamique du liquide céphalo-rachidien est plus complexe et elle est soumise à certaines particularités spécifiques d'ordre anatomique et physiologique.

1. Sécrétion.

Les auteurs (B. 25, 50, 177, 239, 252, 256) s'accordent à reconnaître qu'au niveau des ventricules, la production du liquide céphalo-rachidien par les plexus choroïdes est une *sécrétion active* et non le résultat d'une simple filtration ou même d'une dialyse plasmaticque. Deux mécanismes concourent au maintien de la sécrétion : d'une part, un mécanisme actif permettant le passage de certains ions (les autres diffusant de façon passive), et d'autre part, un passage sélectif pour les substances non électrolytiques, dû à l'activité de l'épithélium des plexus choroïdes; dans le même temps, un mouvement d'eau permet de rétablir l'équilibre osmotique.

L'origine plexuelle, bien que primordiale, n'est pas exclusive : en effet, les cellules épendymaires qui tapissent la paroi des ventricules latéraux pourraient prendre le relais, au cours de certaines circonstances : en cas d'ablation des plexus, chez l'embryon...

- La quantité sécrétée est de l'ordre de 0,5 ml/mn chez l'Homme, (0,2 ml/mn chez le chat, 0,12 ml/mn chez le lapin), il y a donc chez lui renouvellement total du liquide trois à quatre fois par jour.

- Un tiers du liquide serait formé au niveau des ventricules latéraux et du troisième ventricule, un peu moins d'un tiers au niveau du quatrième ventricule, et le reste, de façon diffuse, au niveau de l'espace sous-arachnoïdien notamment à proximité des vaisseaux.

- Notons enfin que la production de liquide céphalo-rachidien est relativement indépendante de la pression hydrostatique.

2. Circulation.

Les mécanismes assurant la circulation du liquide céphalo-rachidien restent obscurs : on peut invoquer, certes, les différences de pression entre les zones de production et les zones de résorption, les mouvements des cils de l'épithélium épendymaire...

Plus récemment Philippon (B. 239) insiste d'une part sur l'expansion systolique des plexus choroïdes, voire du cerveau tout entier, entretenue par la pulsation des gros vaisseaux de la base et d'autre part sur les mouvements pulsatiles intéressant en particulier le troisième ventricule et capables de déterminer un mouvement liquidien vers l'aqueduc.

La vitesse ne serait pas la même dans toutes les parties du système ventriculaire, de plus existeraient des zones stagnantes.

En ce qui concerne le passage de liquide dans les citernes basales et latérales, Lhermitte (B. 177) n'accepte pas la description que fait Bichat de trois orifices au niveau de la corne d'Ammon.

L'existence des trous de Magendie et de Luschka est admise généralement chez l'Homme après avoir été controversée et longuement discutée (Testut (B. 279), Leblanc (B. 170), De Ribet (B. 84), Bellocq (B. 19)). Le rat, comme tous les non-anthropoïdes, ne possède que deux ouvertures latérales (*aperturæ laterales ventriculi quarti*), homologues des "foramen" de Luschka de l'Homme. Kappers (1) confirme l'absence de trou de

(1) Correspondance personnelle.

Magendie chez la souris et précise, par des coupes sériées de la tête, que les ouvertures latérales se forment au moment de la naissance.

Chez le rat, après injection dans un ventricule latéral, de quelques substances (tryptamine, harmaline, bleu trypan) Bouchaud et coll. (B. 30), laissent penser que celles-ci peuvent emprunter une voie de passage, jusqu'aux leptoméninges, à travers l'infundibulum.

Enfin, il n'existe encore actuellement aucun élément qui permette de résoudre de façon définitive le problème de la circulation du L.C.R. au niveau médullaire.

3. Résorption.

La résorption du liquide céphalo-rachidien se fait essentiellement au niveau des villosités arachnoïdiennes des sinus veineux crâniens et des veines spinales, mais aussi au niveau des prolongements méningés autour de certains nerfs crâniens et de certaines racines rachidiennes.

Les villosités arachnoïdiennes des sinus crâniens semblent constituer un agrégat de tubes s'ouvrant directement dans les lacunes latérales du sinus dural, si la pression dans l'espace sous-arachnoïdien est suffisamment élevée. Quand la pression est trop basse, les tubes s'affaissent empêchant le passage du sang dans l'espace sous-arachnoïdien, le tout fonctionnant à la manière d'une valve. Ceci peut expliquer la rapidité considérable avec laquelle le liquide céphalo-rachidien retourne au sang, ainsi que l'élimination des grosses molécules (protéines, etc...). Le mécanisme de la résorption du liquide ferait intervenir essentiellement une différence de pression hydrostatique entre le sang veineux et le liquide céphalo-rachidien plutôt qu'une différence de pression osmotique.

Dans une étude comparée chez le chien, le chat et le singe, Schurr (B. 263) met l'accent sur les variations spécifiques. Il reconnaît l'importance majeure des villosités arachnoïdiennes dans la résorption du liquide céphalo-rachidien mais observe que, chez le chien, la résorption par les gaines des nerfs olfactifs et optiques est fort importante, de même pour la voie optique mais non la voie olfactive chez le singe; ces deux voies n'ayant qu'une importance tout-à-fait secondaire sinon négligeable chez le chat.

Chez le rat, les corpuscules de Pacchioni n'ont pas été observés et il est probable que la résorption du L.C.R. s'effectue par la voie des "gainés" méningées situées autour des racines nerveuses de la moelle (Craigie et coll. B. 57).

4. Facteurs de régulation.

Dans les conditions physiologiques, la pression du liquide céphalo-rachidien reste constante et son volume demeure très stable. Ceci suppose l'existence d'un mécanisme de contrôle. Comme le démontre la pathogénie de l'hydrocéphalie, la pression du L.C.R. ne peut, à elle seule, assurer ce contrôle; il en est de même pour les phénomènes de résorption si l'on admet qu'ils sont purement mécaniques: c'est donc au niveau de la sécrétion qu'il faut le rechercher.

Certains facteurs susceptibles de modifier cette sécrétion nous éclairent sur ce point :

- L'acétazolamide réduit le métabolisme des cellules sécrétrices par action sur l'anhydrase carbonique tandis que les cardioglycosides (l'ouabaine par exemple) inhibent les processus enzymatiques membranaires agissant sur le transport de Na^+ et K^+ à travers la membrane.
- L'hypothermie diminue la production de L.C.R. par vasoconstriction choroïdienne.
- L'avitaminose A s'accompagne, chez certains animaux, d'une augmentation de la pression du L.C.R. corrigible par la vitaminothérapie, mais on sait aussi que l'ingestion de grandes quantités de vitamine A peut produire une hydrocéphalie aiguë.
- Enfin il est possible que le glomus choroïdien constitue un récepteur baro-sensible et que la très riche innervation des plexus choroïdes ait une fonction de contrôle.

5. Echanges au niveau du système nerveux central.

Ajoutés à ceux que nous venons de décrire, d'autres échanges, dans lesquels intervient aussi le tissu glial, s'établissent au niveau du tissu nerveux :

- avec le liquide céphalo-rachidien à travers la membrane piale ou épendymaire.
- avec le sang par les espaces extra-cellulaires où le liquide est en rapport, à la fois, avec les cellules nerveuses et le liquide céphalo-rachidien.

En plus de la sécrétion liquidienne au niveau des plexus, il y a passage direct possible de certaines substances du sang vers le liquide céphalo-rachidien et vice versa.

B. – PATHOGENIE DE L'HYDROCEPHALIE.

Le terme d' "hydrocéphalie" s'applique à la dilatation des espaces ventriculaires ou des espaces sous-arachnoïdiens, sous l'effet de la pression excessive du liquide céphalo-rachidien.

Selon que l'accumulation liquidienne a lieu dans le système ventriculaire ou dans les espaces sous-arachnoïdiens péri-cérébraux, on parle d'hydrocéphalie *interne*, de loin la plus commune, ou d'hydrocéphalie *externe*, rare.

Délaissant l'hydrocéphalie "passive", consécutive à une atrophie cérébrale primaire, nous nous arrêterons quelques instants aux processus de production et d'entretien de l'hydrocéphalie "active interne" pour lesquels le *primum movens* doit être recherché dans un trouble de l'hydraulique du liquide céphalo-rachidien. Le cerveau dans ce cas ne fait que subir secondairement les effets de cet état de choses.

Doros Oeconomos (B. 220) distingue les hydrocéphalies fonctionnelles des hydrocéphalies par obstacle. Signalant dans ce cas, qu'une discrimination doit être faite d'emblée, suivant que l'obstacle isole ou non une partie ou la totalité du compartiment ventriculaire, de l'espace sous-arachnoïdien, il parle alors d'hydrocéphalie *obstructive* ou d'hydrocéphalie *communicante*.

Russel (B. 257, 258) précise ces notions et tient compte de trois mécanismes principaux :

- l'hypersécrétion de liquide,
- la résorption insuffisante,
- le blocage des voies d'écoulement ventriculaires ou cisternales.

1. Hypersécrétion liquidienne.

Celle-ci est en cause surtout quand il y a hypertrophie ou tumeur des plexus choroïdes ou encore gêne à la circulation veineuse profonde, au niveau du système de Galien par exemple...

2. Insuffisance de résorption.

Plus courante, on l'observe dans les cas d'aplasies de l'espace sous-arachnoïdien et à la suite de lésions arachnoïdiennes. Selon Lepoivre (B. 172), tous les facteurs pathogènes susceptibles d'apporter une modification structurale au niveau du réseau capillaro-veineux picro-arachnoïdien, aux espaces péri-vasculaires et péri-neuraux, vont ralentir plus ou moins l'exsorption liquidienne. Suite aux processus inflammatoires cérébro-méningés, les grosses molécules protéiques peuvent précipiter au niveau des membranes constituant la barrière hémoméningée et gêner la résorption. Les hémorragies sous-arachnoïdiennes, en précipitant les produits d'hémolyse, agissent par un mécanisme analogue.

3. Blocage.

Enfin, le troisième mécanisme fait appel aux blocages ventriculaires et extra-ventriculaires.

Chez l'Homme, mise à part l'origine *tumorale* (au niveau des trous de Monro ou des troisième et quatrième ventricules), les blocages ventriculaires et cisternaux sont essentiellement d'origine *congénitale* ou *inflammatoire* (après infection, hémorragie méningée ou encore par réaction à un corps étranger).

Le blocage des voies *ventriculaires* est généralement malformatif; il peut se faire au niveau de l'aqueduc de Sylvius ou par obstruction des trous de Magendie et de Luschka. On associera à ce type de blocage le Syndrome de Dandy-Walker et la malformation d'Arnold-Chiari (B. 287).

Les blocages *extra-ventriculaires* ont très souvent pour cause des lésions inflammatoires; ils siègent au niveau des citernes basales qui s'effacent par un processus d'arachnoïdite adhésive; dans ce cas, l'infection des leptoméninges se complique d'un blocage des citernes. Les lésions primaires passent par divers stades pour aboutir à un accollement de l'arachnoïde à la couche piaie, supprimant l'espace sous-arachnoïdien. L'atrophie et les autres lésions cérébrales consécutives à cette hyperpression dépendent surtout de la localisation du blocage, de son importance ainsi que de sa durée.

C. – HYDROCEPHALIE CONGÉNITALE - FACTEURS GÉNÉTIQUES.

La bibliographie et l'observation de nombreux spécimens tératologiques étudiés dans notre labo-

ratoire nous apprennent que l'*hydrocéphalie congénitale* peut survenir chez l'Homme et bon nombre de Mammifères, avec une fréquence variable.

Il suffit de consulter la littérature, notamment médicale, pour se rendre compte du nombre de travaux et de recherches que cette affection a déjà suscités.

Dans l'étiologie de l'hydrocéphalie, des facteurs exogènes sont trouvés occasionnellement, tels la syphilis, la méningite, la toxoplasmose, le traumatisme obstétrical...

Toutefois, en l'absence de causes décelables, certains incriminent des facteurs génétiques.

Ainsi Gellman (B. 121), analysant plusieurs cas de jumeaux "vrais" hydrocéphales, conclut en ce sens; Larson (B. 165), dans un cas similaire, après un examen cytogénétique qui s'avère être normal, présume un défaut de l'organogénèse au cours de la gestation.

El-Alfi et coll. (B. 97) signalent le cas d'un fœtus humain de vingt-cinq semaines présentant une hydrocéphalie associée à d'autres anomalies. L'examen du caryotype démontre une *trisomie 18*.

Walbaum (B. 292) relate une anomalie de la structure chromosomique (gp +) dans deux familles d'hydrocéphales et analyse les rapports de cause à effet possibles entre le phénotype et ce caryotype anormal.

De nombreux auteurs (B. 23, 94, 95, 180, 216, 234, 245, 269, 296, 309), après étude des ascendances familiales dans des cas d'hydrocéphalie congénitale non compliquée, s'accordent à reconnaître, entre autres signes cliniques, une sténose de l'aqueduc de Sylvius qui, selon eux, serait due à une mutation récessive du gonosome X; transmise par la mère, elle n'apparaîtrait que chez les fils.

Les cas d'hydrocéphalie congénitale ne se limitent pas à la seule espèce humaine, la littérature relate de multiples exemples chez les Mammifères : veau (B. 167, 173), cheval (B. 33, 176), ours (B. 138), chien (B. 39, 113, 224), lapin (B. 254), chimpanzé (B. 106) etc...

Comme c'est le cas chez l'Homme, la transmission héréditaire est très probable; elle serait conditionnée par la présence d'un gène autosomique récessif. La mise en évidence est d'ailleurs réalisée avec facilité dans les lignées fortement consanguines. Gilman (B. 124), Kobozieff et coll. (B. 159), Silson (B. 270) invoquent ce type d'hérédité pour des espèces très variées parmi les Palmipèdes, Gallinacés, Equidés, Bovidés, Ovidés, Suidés, Carnivores et Rongeurs. Toutefois, Lauvergne et Pavaux (B. 169), analysant le cas d'un taureau limousin d'après sa descendance, estiment que celui-ci est porteur d'un gène dominant à 90 % de pénétrance chez les hétérozygotes.

Des études très approfondies ont été menées chez la souris. Entre autres travaux, signalons ceux de Clark (B. 47), de Bonnevie (B. 28, 29) et Egoscue (B. 96) qui font intervenir un gène *Hy 1*.

Zimmermann (B. 310) parle d'un gène *Hy 2*, tandis que Grüneberg (B. 134) et Berry (B. 22) étudient la transmission d'un gène *Hy 3*.

Pour le gène Hy 1, Bonnevie signale que l'hydrocéphalie est apparente dès la naissance et même à partir du douzième jour de la vie intra-utérine. La "période critique" se situerait donc avant cette date. Le gène commencerait à se manifester juste avant, ou pendant l'implantation du blastocyste dans la paroi utérine (quatrième jour). L'ectoblaste paraît ensuite anormalement ténu avec des lésions plus ou moins étendues. Plus tard, l'examen de l'encéphale permet d'observer un cervelet presque complètement inexistant et une dilatation des cavités antérieures.

De son côté, Berry met en évidence un mécanisme de dégénérescence des méninges, à l'origine d'une hydrocéphalie apparente au cours de la première semaine post-natale.

Enfin, Mori (B. 197) relate le cas d'hydrocéphalies héréditaires se développant 20 à 60 jours après la naissance.

La littérature nous laisse encore entrevoir la possibilité d'intervention de facteurs tels que les radiations. Ainsi l'existence d'une éventuelle mutation génératrice d'hydrocéphalie dans la descendance d'une lignée de souris mâles irradiées a été mise en évidence par Lushbaugh et Spalding (B. 181). De même Senyszyn et coll. (B. 265), soumettant divers lots de souris gestantes à des doses de 150 - 200 et 250 Roëntgens, du 9ème au 14ème jour de gestation, observent une grande sensibilité des fœtus entre le 11ème et le 13ème jour.

CHAPITRE II

PRODUCTION EXPERIMENTALE DE L'HYDROCEPHALIE - EXPOSE HISTORIQUE.

Les problèmes que pose l'étiopathogénie de l'hydrocéphalie ont amené les chercheurs à la provoquer expérimentalement. Actuellement, on peut classer en deux catégories les facteurs de production de l'hydrocéphalie :

- les facteurs non mécaniques :

- . facteurs métaboliques
- . facteurs chimiques
- . facteurs viraux

- et les facteurs mécaniques, avec réaction inflammatoire ou autre.

A. – FACTEURS NON MECANIQUES.

1. Facteurs métaboliques.

Tout un aspect du problème de la production expérimentale de l'hydrocéphalie peut être envisagé en fonction de processus métaboliques plus ou moins perturbés du fait de certaines carences en vitamines ou autres éléments indispensables.

a) *Carence en vitamine A.*

Millen et Woollam (B. 188, 189) démontrent l'apparition de cas d'hydrocéphalie congénitale dans la descendance directe de lapines soumises à un régime de longue durée, déficient en vitamine A. Ils estiment que cette hydrocéphalie expérimentale serait due à une formation excessive de liquide céphalo-rachidien par les plexus choroïdes. Dans ce cas, une augmentation de la pression du liquide précéderait l'apparition de l'hydrocéphalie

et serait l'un des premiers indices d'une carence en vitamine A. Les auteurs attirent l'attention sur le moment où la formation du liquide céphalo-rachidien est affectée, ainsi que sur l'importance de ce trouble, par rapport à l'état d'ossification de la voûte.

Les ventricules latéraux et le ventricule médian sont dilatés, le cervelet fait hernie dans le *foramen magnum*; ce déplacement secondaire interfère avec la sortie du liquide céphalo-rachidien du quatrième ventricule et sa libre circulation autour du cerveau. L'aqueduc de Sylvius n'est pas complètement obturé puisque du carbone injecté dans les ventricules, quelques heures avant la mort, est retrouvé à l'autopsie autour de la moelle épinière et, dans une très faible proportion, au niveau des espaces sous-arachnoïdiens du crâne.

Millen et Woollam pensent que le nombre des nouveau-nés hydrocéphales dépend de la durée du régime auquel a été soumise la mère. Cette alimentation imposée pendant une période de douze à quinze semaines, permet d'obtenir une majorité de lapereaux d'aspect normal et un petit nombre d'hydrocéphales; par contre, un même régime proposé pendant vingt quatre ou vingt huit semaines, augmente le nombre de cas pathologiques.

Après le sevrage, les jeunes reçoivent la même alimentation que les adultes en expérience. Le temps de survie est alors variable mais ne dépasse jamais quelques mois. Cependant, si on administre par voie buccale à des animaux manifestement hydrocéphales, 10 000 à 20 000 U.I. de vitamine A (sous forme d'acétate) tous les huit jours, on s'aperçoit qu'après trois à quatre semaines de ce traitement, la pression du liquide céphalo-rachidien devient tout à fait comparable à celle des témoins et que la survie est très prolongée (plus d'un an). L'hydrocéphalie semble être stabilisée sinon stoppée et ne plus causer de mortalité (*in vivo*, les sujets ne peuvent plus être distingués des témoins).

Malheureusement, les auteurs ne précisent pas l'état du crâne et du cerveau à l'autopsie de ce dernier type d'animaux.

La même expérience chez la poule (soumise pendant sa croissance, à un régime déficient en vitamine A) ne produit pas de poussins hydrocéphales (même à l'autopsie). Cependant, la pression du liquide céphalo-rachidien est plus élevée que celle des poussins témoins.

Rokkones (B. 255) après avoir soumis des rattes à cette même carence vitaminique, du sevrage jusqu'à six mois, n'obtient pas d'hydrocéphale dans leur descendance; s'il poursuit le traitement au-delà de six mois, des nouveau-nés hydrocéphales sont observés.

Moore et Sykes (B. 193, 194) notent, après avoir alimenté des veaux avec un régime carencé en vitamine A, une augmentation de pression du liquide céphalo-rachidien, mais aucun cas d'hydrocéphalie.

Hentges et coll. (B. 142), Sorensen et coll. (B. 272), Palludan (B. 227) signalent un phénomène du même ordre chez des porcelets alimentés avec un régime analogue et précisent qu'un apport de carotène réduit la pression du liquide céphalo-rachidien.

Eveleth et coll. (B. 99) font des observations similaires chez des agneaux et trouvent que la pression du liquide cérébro-spinal de ces animaux s'accroît à mesure que le taux du sérum sanguin en vitamine A

diminue.

Mellanby (B. 186), étudiant les malformations osseuses du crâne de jeunes chiens nourris pendant plusieurs mois avec un régime déficient en vitamine A, a noté une pression parfois double de la normale. Selon lui, les accroissements trop importants et les déformations des os, essentiellement ceux de la base, provoquent des lésions secondaires. De plus, il observe une grave labyrinthite, se développant dans la cochlée, à l'origine d'une dégénérescence de l'épithélium sensoriel du labyrinthe (organe de Corti et ampoules des canaux semi-circulaires).

L'hydrocéphalie n'est qu'un des nombreux effets de l'avitaminose A prolongée; d'autres affections très graves peuvent encore être notées. Liées au rôle métabolique joué par cette vitamine, elles contribuent à rendre plus difficiles les travaux de l'expérimentateur préoccupé par l'évolution d'une hydrocéphalie isolée.

b) *Hypervitaminose A.*

Suivant Marie, Sée et Sauvart (B. 184), l'ingestion de 350 000 U.I. de vitamine A par de tout jeunes enfants (4 à 24 mois) peut provoquer une hydrocéphalie aigüe avec saillie considérable de la fontanelle, par hypersécrétion de liquide céphalo-rachidien. Celle-ci est cependant bénigne et transitoire avec retour à la normale dans les 24 à 48 heures.

Chez l'adulte, l'intoxication aigüe comporte une céphalée intense, des vertiges, des vomissements, une irritabilité et un besoin irrésistible de sommeil.

Rappelons aussi les travaux de Giroud et coll. (B. 128-129) qui ont étudié l'hypervitaminose A, provoquée chez des rattes en gestation (20 000 U.I. par jour du 2ème et 4ème au 12ème et 15ème jour). Cette expérimentation amène toujours des malformations : anencéphalie, fente palatine, anomalies oculaires et près de 50 % de résorption des jeunes, mais pas d'hydrocéphalie. Des résultats du même ordre sont obtenus par Cohlan (B. 48), Murakami et coll. (B. 213).

c) *Carence en riboflavine.*

Nelson et coll. (B. 217) ont étudié, chez le rat, l'effet tératogène de la galactoflavine, antagoniste de la riboflavine. Kalter (B. 154) fait une étude semblable chez la souris en administrant aux 9-10-11-12èmes jours après accouplement, un régime déficient en riboflavine augmenté de 90 mg de galactoflavine par kg de nourriture. Dans ce cas, dès le 13ème jour, les effets tératogènes sont toujours présents chez les fœtus. L'aqueduc de Sylvius est plus large que normalement, les ventricules sont dilatés, surtout le quatrième. Les parois cérébrales sont amincies et, fréquemment, le cervelet est presque totalement absent.

L'auteur fait le rapprochement entre cette forme d'hydrocéphalie et celle due au gène Hy1 (Bonnevie B. 28, 29) au 12ème jour de vie embryonnaire et l'oppose à celle obtenue dans le cas du gène Hy3 par dégénérescence des méninges, puisque celle-ci apparaît au cours de la première semaine de vie post-natale. (Grüneberg B. 134 et Berry B. 22).

d) *Carence en acide folique.*

Signalons entre autres études, celle de Stempak (B. 274) sur des rattes Wistar albinos en gestation : celles-ci sont traitées pendant 48 heures à partir du 8ème jour de gestation par addition, à leur ration, d'une substance antagoniste de l'acide folique. Les coupes sériées de la tête démontrent, chez les embryons, une sténose de l'aqueduc de Sylvius au 16ème jour et une oblitération complète au 17ème jour.

Selon l'auteur, les effets de cette déficience se traduisent essentiellement par une hydrocéphalie; elle peut cependant s'accompagner d'anomalies du palais (Asling et coll. B. 8), du système uro-génital et du système cardio-vasculaire (Monie et coll. B. 191-192).

Amenés, pour des raisons thérapeutiques, à suivre une conduite similaire auprès de femmes enceintes, Thiersch et Seattle (B. 280) déplorent la mort de nombreux fœtus parmi lesquels un cas d'hydrocéphalie, un de méningo-encéphalocèle et une fissure palatine avec bec de lièvre.

De même, Symonds (B. 276) rapporte l'observation de nouveau-nés faux jumeaux, l'un anencéphale, l'autre hydrocéphale et suggère qu'un tel développement des fœtus peut être imputé à la carence en acide folique dont a souffert la mère durant sa grossesse.

e) *Carence en vitamine B₁₂*

Comme la déficience en acide folique, la carence en vitamine B₁₂ provoque chez la ratte, l'apparition de nouveau-nés hydrocéphales (Overholser et coll. B. 225). Ceux-ci présentent une sténose de l'aqueduc de Sylvius associée à l'aplasie de l'organe sous-commissural; ces malformations se déclenchent du 16ème au 18ème jour de la gestation.

Le rétrécissement de l'aqueduc de Sylvius serait dû à l'absence d'un groupe de cellules particulières dans le toit de ce dernier et dans la partie postérieure de celui du 3ème ventricule. Ces cellules sécrèteraient un liquide à l'intérieur du système ventriculaire au cours du développement embryonnaire avant que les plexus choroïdes ne soient complètement développés. Cette sécrétion empêcherait l'accolement et la fermeture de l'aqueduc qui est la plus étroite partie du système ventriculaire.

Woodward et Newberne (B. 305-306), en plus de la déficience en vitamine B₁₂, ajoutent une déficience en choline ou encore un antagoniste de l'acide folique. Dans la descendance, ils observent des cas d'hydrocéphalie et d'autres malformations : arrêt de croissance chez les embryons, hydronéphrose, hernie ombilicale, spina bifida etc...

f) *Autres carences.*

Pudenz et coll. (B. 246) dans leur exposé historique sur l'hydrocéphalie expérimentale, signalent que O'Dell, Whitley et Hogan ont obtenu 28 % d'hydrocéphales dans la descendance de rats maintenus sous un régime à carences multiples (vitamine C, niacine, acide folique, inositol et vitamine B₁₂).

Les effets tératogènes d'une absence isolée d'acide ascorbique chez la ratte sont mis en évidence par Richardson et coll. (B. 249), puisque 2 % des descendants, entre autres anomalies, souffrent d'hydrocéphalie. De même, Chamberlain et coll. (B. 41), par l'injection de 6 Amino-nicotinamide (antagoniste de la niacine) provoquent l'apparition de malformations congénitales chez les fœtus dont de nombreux cas d'hydrocéphalie.

Plus récemment, Hurley et coll. (B. 146) mettent en évidence l'effet néfaste d'une insuffisance en zinc chez la ratte : l'hydrocéphalie et l'hydranencéphalie présentent une fréquence de 65 %.

2. Facteurs chimiques.

a) *Injection de bleu trypan.*

Stempak (B. 273) injecte 1 ml d'une solution de bleu trypan (1 %) à des rattes aux 6-7-8ème jours de gestation. Les fœtus sont retirés de la mère à partir du 16ème jour et jusqu'au 20ème. La défectuosité neurale la plus fréquemment observée est l'hydrocéphalie par sténose ou blocage total de l'aqueduc de Sylvius. Mais encore une fois, le bleu trypan cause aussi des spina bifida et autres malformations (Warkany et coll. B. 294, Hamburg B. 139, Waddington et Carter B. 291).

Cette activité tératogène se retrouve d'ailleurs, avec une même intensité, après injection de composés voisins du bleu trypan : le groupe congo, les bleus Niagara 2_B, 4_B, 6_B, et le bleu Evans (Beaudoin B. 16).

b) *Ingestion de tellure.*

L'hydrocéphalie peut encore être obtenue chez des rats nouveau-nés par une technique proche de la précédente (Garro et Pentschew B. 120); la mère gestante absorbe quotidiennement des quantités de tellure, ajoutées à la ration alimentaire, dans des proportions non toxiques, soit : 1,25 à 2,50 parties pour 1000 de nourriture, jusqu'au 3ème ou 5ème jour avant la date présumée de parturition.

Les nouveau-nés, bien que d'aspect normal, sont plus petits que les animaux témoins. L'hydrocéphalie apparaît dès la naissance pour atteindre son maximum la troisième semaine et permettre une survie totale de un mois. La dilatation des ventricules latéraux et médian gagne l'aqueduc de Sylvius puis le quatrième ventricule. Il n'y a pas de blocage, l'arachnoïde semble normal. On ne peut dire, actuellement, par quel mécanisme métabolique la balance : "Sécrétion - Résorption" est cette fois perturbée.

c) *Ingestion de cuprizone.*

Selon Carlton (B. 40), chez la souris en croissance, l'addition aux aliments de doses non toxiques de cuprizone provoque l'apparition de l'hydrocéphalie par induction de lésions microscopiques au niveau de l'encéphale (myéline, membranes gliales etc...) qui évoluent en processus de dégénérescence divers.

Nous ne soulignerons qu'un aspect de ce type d'expérimentation, celui par lequel l'auteur fait intervenir l'âge des animaux au moment où ils sont soumis au traitement. C'est ainsi que l'administration de

0,5 % de cuprizone pendant huit semaines, à des souris âgées, au départ, de cinq semaines, provoque l'hydrocéphalie chez tous les survivants (30 % de mortalité) tandis que la même quantité de produit actif, administrée à des souris de huit semaines, ne laisse apparaître l'hydrocéphalie que chez un peu moins de la moitié des survivants (20 % de mortalité).

d) *Autres facteurs tératogènes.*

Cette liste des facteurs tératogènes, susceptibles de provoquer des cas d'hydrocéphalie, n'est pas exhaustive. Citons encore pour mémoire les travaux de Delahunt et Lassen (B. 71) qui analysent les effets de la thalidomide sur le singe et ceux de Gibson et Becker (B. 123) qui mettent en évidence l'action de la cyclophosphamide sur la souris.

Enfin, on ne peut passer sous silence les nombreuses recherches effectuées à partir de différentes substances cancérogènes inductrices de tumeurs cérébrales (Hosobuchi et coll. B. 143).

3. Facteurs viraux.

L'apparition d'une hydrocéphalie plus ou moins tardive, après inoculation de divers virus, a été démontrée chez la souris, le rat et le hamster. Signalons les travaux de Li et coll. (B. 178) et de Vandeputte (B. 285) sur le virus polyome, ceux de Margolis et coll. (B. 183), de Phillips et coll. (B. 240) sur le réovirus type 1, enfin ceux de Jonhson et coll. (B. 152-153) sur les myxovirus.

Si l'induction de l'état pathologique par les myxovirus ne peut se réaliser qu'après injection intracérébrale, il en est tout autrement des deux autres types de virus qui peuvent être administrés par voie intra-péritonéale, sous-cutanée et même oro-nasale (tout au moins pour le réovirus type 1).

Les observations de Vandeputte portent, chez le rat, sur des lésions cérébrales qui prennent la forme d'une hydrocéphalie ou d'hémorragies cérébrales consécutives à une sarcomatose méningée qui représente la lésion primaire. Selon l'auteur, cette sarcomatose méningée n'est pas spécifique de l'inoculation intracérébrale puisqu'on la retrouve aussi après l'inoculation intraveineuse ou sous-cutanée. Il faut noter également l'éventualité d'autres lésions macroscopiques telles que des sarcomes du rein, des ostéochondrosarcomes, etc...

Dans les autres types d'action virale, les auteurs s'accordent à reconnaître une infection des plexus choroïdes, des cellules de l'épendyme et une inflammation périvasculaire pour aboutir finalement, sans phénomène réactionnel résiduel, à une sténose ou même à une occlusion de l'aqueduc de Sylvius avec accroissement du volume des trois ventricules d'amont.

4. Discussion.

Sur cette longue série de cas d'hydrocéphalie d'origine variée, génétique, métabolique, chimique ou infectieuse, quelques considérations sont possibles :

- S'il reste encore de nombreuses incertitudes quant à l'explication du mécanisme initial mis en

jeu, il apparaît clairement que le processus pathologique est déclenché et entretenu par hyperproduction de liquide céphalo-rachidien, ou par vice du mécanisme d'absorption, ou encore par obstruction au niveau des orifices ventriculaires, de l'aqueduc de Sylvius ou du compartiment sous-arachnoïdien.

- L'action de l'expérimentateur porte sur la mère ou sur le jeune, mais finalement c'est toujours au niveau de l'embryon ou du jeune sujet que les répercussions sont observées. Seul varie en somme le moment où intervient cette action.

- Des différences spécifiques sont observées et les Rongeurs paraissent être plus sensibles dans ce genre d'expériences.

- Des différences d'ordre individuel sont notées dans certains cas où une partie seulement de la portée est nettement atteinte .

- Par ces techniques, de nombreuses malformations viennent s'ajouter à l'hydrocéphalie et compliquent la tâche de l'expérimentateur qui veut étudier l'hydrocéphalie isolée. Il est bien évident que des troubles tels que la dégénérescence de l'épithélium sensoriel des ampoules des canaux labyrinthiques influent sur le port de la tête (qui sera l'objet particulier de notre étude).

- Un trouble de croissance empêche une bonne comparaison avec les témoins et il en va de même en ce qui concerne les altérations endocriniennes et métaboliques...

- Ainsi, de ces expériences, il nous faut retirer quelques enseignements qui nous permettront de souligner les critères sur lesquels sera basée notre propre expérimentation.

a) Il faut que l'hydrocéphalie soit isolée, sans autre malformation.

b) un critère, très important à notre avis, dont Augier (B. 9) précise toutes les répercussions sur le crâne, est le *moment* où l'hydrocéphalie se manifeste. Cette notion est importante à considérer, car l'hypertension intra-ventriculaire va produire des troubles morphologiques différents suivant l'état de la boîte crânienne au moment où elle se produit.

c) enfin et surtout, il faut non seulement que l'individu soit viable, mais encore qu'il vive suffisamment longtemps pour qu'interviennent des facteurs tels que le mode de station et de locomotion... "l'idéal" étant, pour nous, un hydrocéphale devenu adulte !

C'est pourquoi, nombre de ces techniques sont inapplicables dans notre projet; d'autres pourraient, à l'avenir être reprises. Il serait intéressant, par exemple de savoir si une hydrocéphalie par hypovitaminose A, plus ou moins réprimée, donnerait des résultats semblables à ceux que nous proposerons (d'autant plus que chez certaines espèces, cela semble être le seul moyen vraiment efficace). Enfin, d'autres techniques doivent être instaurées, et c'est précisément l'objet des paragraphes suivants.

B. — FACTEURS MECANIQUES.

Un dernier type d'expérimentation susceptible d'amorcer et de maintenir une hydrocéphalie active fait intervenir des procédés chirurgicaux (blocage des cavités ou ligature de vaisseaux) ou des réactions irritatives et inflammatoires provoquées par l'introduction d'une substance étrangère.

1. Procédés chirurgicaux.

a) *Ligatures vasculaires.*

- Blocage de la circulation *veineuse*.

Dandy (B. 61-62), chez le chien, effectue la ligature de la grande veine de Galien à son origine et provoque, selon lui, une hydrocéphalie par surproduction de liquide céphalo-rachidien.

Suivant Bedford (B. 18) et Schlesinger (B. 261), l'obturation complète ou non, de la grande veine de Galien, ne mène pas nécessairement au développement de l'hydrocéphalie puisque la même expérience, reprise chez le chien et le singe, est négative. Ces auteurs estiment qu'une circulation collatérale est rapidement établie après l'oblitération de la veine et justifient les résultats de Dandy par le développement d'une méningo-encéphalite menant à l'obstruction de la circulation normale du liquide céphalo-rachidien à la base de l'encéphale.

A ce type d'expérimentation, nous pouvons adjoindre celles de Bering et Salibi (B. 20) sur le chien. En bloquant, au niveau du cou, une grande partie de la circulation veineuse de la tête et, au niveau des condyles occipitaux, les anastomoses avec le système veineux spinal, ils constatent une élévation de la pression veineuse céphalique et la réalisation progressive (après 2 à 3 semaines) d'une hydrocéphalie dans 74 % des cas.

- Blocage de la circulation *artérielle*.

Ten Cate (B. 277) soumettant un chat à une anoxie ischémique totale de douze minutes, à température normale, par occlusion de l'aorte ascendante, observe neuf mois plus tard, à l'autopsie, une hydrocéphalie partielle limitée aux ventricules latéraux. Selon l'auteur, il s'agit là d'un processus secondaire provoqué par la grave atrophie de l'écorce occipitale et des parties corticales avoisinantes, par suite d'une anoxie trop prolongée.

b) *Obturations ventriculaires.*

. Obturation d'un trou de Monro.

Dandy, chez le chien, provoque une hydrocéphalie unilatérale en obturant un seul trou de Monro. Il obtient par contre, un affaissement du ventricule s'il a préalablement supprimé le plexus choroïde.

. Obturation de l'aqueduc de Sylvius.

Poursuivant ses investigations, après trépanation occipitale du chien, ce même auteur introduit dans l'aqueduc de Sylvius, par la voie du 4ème ventricule, un fragment de coton recouvert d'une mince couche de gélatine. L'hypertension crânienne se révèle dans les 48 heures, associée à une hydrocéphalie occlusive typique.

La technique de Dandy, à quelques modifications près, a été reprise, particulièrement chez le chien, par de nombreux auteurs (B. 11, 46, 59, 117, 135, 140, 147, 156, 161). La production d'une hydrocéphalie

est constante, mais les pourcentages de survie restent faibles.

Milhorat (B. 187), chez le singe, préconise d'obturer l'extrémité caudale de l'aqueduc de Sylvius et tout l'ensemble du 4ème ventricule en disposant dans cette cavité un petit ballon introduit par le trou de Magendie puis rempli d'eau salée (1 à 1,5 cm³).

Enfin signalons que l'hydrocéphalie peut être obtenue par obstruction du *foramen ovale* de Pacchioni (Bize B. 25).

c) *Autres méthodes.*

D'autres procédés chirurgicaux sont également décrits dans la littérature (B. 246) : augmentation de pression entre la dure-mère et le cervelet, traumatisme mécanique ou électrique du cortex, injection de suspensions diverses dans les gaines méningées des nerfs, etc...

2. Procédés irritatifs et inflammatoires.

a) *Au niveau des ventricules.*

En 1905, Claude et Thaon (B. 246) constatent, chez le lapin, un accroissement de volume du système ventriculaire à la suite d'une injection de tuberculine dans les ventricules latéraux. Quelques années plus tard, Merle induit le même processus pathologique en injectant des cultures de staphylocoques et de streptocoques dans les ventricules latéraux de chiens ; il attribuera l'accroissement ventriculaire à une obstruction de l'aqueduc de Sylvius, par réaction inflammatoire.

Thomas (B. 281), après trépanation, produit une hydrocéphalie expérimentale chez le chien en injectant dans les ventricules une suspension d'aleurionate de soude (0,25 ml à 2 ml). La première semaine il observe chez ses sujets une réaction inflammatoire aiguë, mais pas de dilatation ventriculaire notable étant donné, dit-il, la libre circulation du liquide à ce moment. Puis, pendant la phase chronique du processus inflammatoire, l'obstacle apparaît et la dilatation ventriculaire s'en suit, l'obstruction pouvant se situer au niveau des trous de Monro, de l'aqueduc de Sylvius ou, le plus souvent, au niveau du trou de Magendie. La dilatation des ventricules est lente et atteint son maximum deux mois plus tard.

De nombreuses substances conviennent pour induire un développement pathologique du même ordre : chez le rat, Lashley et coll. (B. 166) se servent de paraffine; chez le chien, Slaviero (B. 246) emploie une suspension huileuse de bois pulvérisé tandis que Riser (B. 252) et Bakay (B. 246) préconisent une solution obturante à base de gélatine, amidon, gomme arabique et paraffine.

b) *Au niveau des espaces sous-arachnoïdiens.*

La technique de Dandy consiste à recouvrir le mésencéphale d'un petit morceau de gaze imbibée d'iode.

Les travaux de Weed (B. 297), repris et confirmés quelques années plus tard par ceux de Nafiagas font appel à un procédé plus simple. Travaillant sur le chat, il enfonce l'aiguille au travers du ligament atlanto-occipital, dans la grande citerne, ou bien dans la cavité ventriculaire (seulement chez les jeunes). Il se sert de noir animal qu'il met en suspension (5 à 10 %) dans du liquide de Ringer. Après avoir laissé s'écouler un peu de liquide céphalo-rachidien, il injecte 1 ml (chez le chaton) ou 10 ml (chez l'adulte), de la suspension. Chez les jeunes il obtient une survie maximale de 47 jours tandis que chez l'adulte le maximum est de 22 jours avec, dans les deux cas, une hydrocéphalie très marquée. Selon Weed, le noir animal provoquerait une réaction inflammatoire autour du rhombencéphale et par là bloquerait la libre circulation du liquide céphalo-rachidien.

Wislocki et Putman (B. 302) pratiquent la technique de Weed en vue d'étudier l'absorption de certaines substances préalablement injectées dans les ventricules dilatés. Ils effectuent leurs travaux sur de jeunes chats et de jeunes lapins en injectant 1 ml 3/4 de la suspension chez les chats et 1/2 ml chez les lapins. Ils pressentent deux causes à la mortalité sévère qui en résulte : une lésion du rhombencéphale ou bien un arrêt respiratoire du fait de la soudaine surpression exercée à ce niveau.

Schurr et coll. (B. 263) signalent, chez le chien, au niveau des espaces arachnoïdiens, une réaction inflammatoire après deux injections cisternales (à 8 ou 15 jours d'intervalle) de 3 ml de pantopaque. Ils proposent alors une nouvelle technique de production d'hydrocéphalie : en un premier temps, l'animal subit une injection inter-péronculaire de kaolin suivie quinze jours plus tard d'une injection cisternale de pantopaque (1 ml). Chez le singe Rhésus, le même processus donne des résultats moins marqués. D'autre part, deux chiens ayant reçu des injections de lipiodol (2 ml) développent également une hydrocéphalie mais dont la vitesse de développement est extrêmement lente.

La pénétration de thorotrast dans les ventricules latéraux ou dans la grande citerne est suivie d'une hydrocéphalie bien marquée chez le chat et le chien, mais seulement d'un léger accroissement ventriculaire chez le singe.

Cette liste de travaux n'est pas limitative ; Bize (B. 25) et Pudenz (B. 246) nous signalent que d'autres substances ont été employées : Encre de chine (De, Nigam), huiles de vaseline (Delille) et de silicone (Wisniewski B. 313), suspensions microbiennes (Flexner, De, Nigam et Singhai), sang (Griffith et coll., Bachs, Bagley).

Signalons, à propos de ce dernier procédé, l'observation par Fox et Luessenhop (B.116) d'un cas d'hydrocéphalie secondaire à une hémorragie d'un anévrisme de la bifurcation de l'artère basilaire.

Enfin, la technique employée par Griffith (B. 132-150) chez le rat adulte puis reprise par Young (B. 307-308) chez le nouveau-né, nécessite une seule injection (0,02 ml) dans la grande citerne, d'une suspension de kaolin à salinité normale (30 % de concentration).

Pour éviter la surpression intracrânienne, Griffith pratique deux piqûres simultanées : l'une pour laisser sortir le liquide céphalo-rachidien, et l'autre pour injecter le kaolin.

Bering (B. 21) Fishman et Green (B. 114) appliquent avec succès cette même technique à des chiens adultes. Malheureusement pour nous, ils ne précisent ni la durée de survie maximale, ni les modifications morphologiques au niveau du crâne.

c) *Discussion.*

Nous reviendrons un peu plus loin sur l'aspect technique proprement dit de ce dernier type d'expérimentation puisque nous-même avons adopté le principe d'une injection cisternale de kaolin chez le rat, le chat et le lapin. Cependant, à la lumière des expériences précipitées et de nos propres observations, il paraît important de rechercher le mécanisme exact de l'hydrocéphalie, provoquée par la pénétration de kaolin.

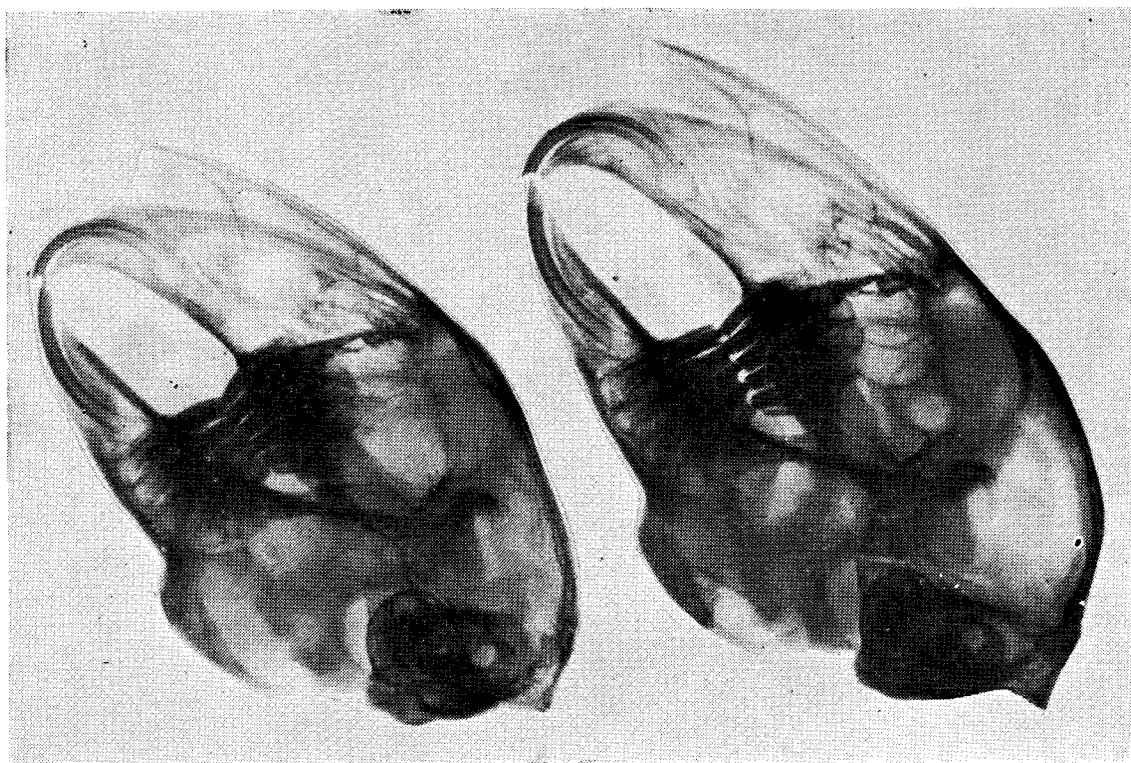
Il semble bien qu'il y ait là matière à un autre travail qui nécessiterait des études histologiques systématiques, des explorations radiologiques (ventriculographie, cisternographie, artériographie cérébrale...), des mesures de pression, l'emploi des isotopes etc...

Présentement nous avons recherché, par autopsie chez certains sujets, peu de temps après l'injection, la répartition du kaolin injecté. A part quelques traces dans le plan musculaire (essentiellement dues au reflux), le kaolin se répartit autour du tronc cérébral et même remonte pour recouvrir tout le cervelet (*figures 8 et 9*). La tente du cervelet paraît limiter la progression du kaolin.

La plupart des auteurs qui ont appliqué une technique similaire, s'accordent pour invoquer une origine inflammatoire ("méningite stérile") qui provoque un blocage cisternal (arachnoïdite adhésive). Il s'agit bien d'une hydrocéphalie aigüe mais qui n'est pas nécessairement fatale. L'ensemble des espaces sous-arachnoïdiens serait profondément modifié et des lésions vasculaires et péri-vasculaires définitives empêcheraient une résorption du liquide. Il est possible d'ailleurs que les orifices du toit du quatrième ventricule soient, en plus, obturés (au moins momentanément chez certains !). Le mécanisme de compensation que l'on peut parfois constater n'a pas encore d'explication sûre (levée d'obstacle transformant une hydrocéphalie occlusive en hydrocéphalie communicante !).

Signalons enfin que nous avons observé chez le chat et le rat, quelques cas d'atteinte de la moëlle, dont plusieurs, très apparents, de syringomyélie.

Quoiqu'il en soit, l'avantage des procédés mécaniques est d'éviter d'autres malformations, extérieures ou cryptiques et de choisir le moment précis et l'endroit de l'intervention de l'expérimentateur. Une difficulté demeure cependant : celle de *maintenir les individus en vie !*



BBS
1944

CHAPITRE III

CONDUITE DE L'ELEVAGE

La production expérimentale de l'hydrocéphalie, menée par nos soins sur une période de quatre années et demie, a été mise au point chez le rat, puis après quelques adaptations, a été appliquée chez le chat et le lapin (*figure 3*). Il ne peut être question, dans le cadre de ce travail, de vouloir analyser les multiples observations que nous avons eu l'occasion de faire dans chacun de ces élevages au cours de cette phase de travail; cependant, afin de mieux comprendre l'hydrocéphalie du rat, au fil de notre exposé nous serons amené à faire quelques remarques ayant trait à ces autres espèces.

A. – MATERIEL D'ETUDE.

1. Critères d'ordre zoologique et considérations biologiques.

Les ouvrages spécialisés traitant de la biologie du rat blanc de laboratoire sont fort nombreux. Quelques-uns des titres principaux ont été reportés en bibliographie (B. 43, 57, 102...). Très brièvement, rappelons que le rat (*Rattus rattus Wistar albinos*) est classé parmi les Glires, dans l'ordre des Rodentia (Simplicidentés) famille des Muridae. On notera principalement la morphologie de ses hémisphères cérébraux qui l'associent aux lissencéphales, ainsi que celle de la tente du cervelet qui montre une structure membraneuse.

D'une durée de vie moyenne de trois ans, cet animal présente une reproduction continue dès l'âge de 2 ou 3 mois. La durée de gestation est de 21 à 23 jours et permet d'obtenir 8 à 15 jeunes par portée.

Donaldson (B. 92) étudie la croissance du rat sous l'angle particulier de celle des organes (poids et longueur) relativement au poids du corps. Cette référence ne nous est pas indifférente si l'on considère l'importance que nous attribuerons au poids corporel dans nos expériences.

Dans son travail sur le bipodisme expérimental chez le rat, R. Fenart (B. 104) rappelle les principaux travaux se rapportant à la croissance de cet animal et plus précisément à celle du crâne. Il relève, entre autres, les considérations de Baer (B. 12), Massler et Schour (B. 185) et particulièrement celles de Moss et Young

(B. 198 à 210, 307), puis confronte leurs résultats à ceux déjà obtenus par application de la méthode vestibulaire. Rappelons notamment que la suture entre deux os de la voûte passe par deux états successifs : au départ, le stade de suture "présomptive" puis, à l'âge de 7 jours, passage au stade de suture "définitive". De plus, la croissance squelettique de la voûte crânienne du rat présente d'abord une phase osseuse généralisée jusqu'au 60 - 70ème jour, qui se limite ensuite à certains emplacements et induit des changements dans les proportions. Au 100ème jour, le crâne présente une forme en "raquette de tennis", la croissance du museau devient alors la plus nette et se poursuit jusqu'au 300ème jour. Quant à la largeur maximale du crâne, elle est atteinte au 20ème jour.

R. Fenart souligne encore deux éléments qui permettent de comprendre les variations dans la courbure générale du profil de la tête ainsi que les mouvements du massif facial par rapport au neurocrâne : d'une part la persistance (assez durable) d'une zone frontale antérieure non définitivement fixée, d'autre part la durée de la croissance de la région faciale.

Il est important aussi de ne pas confondre la *forme* d'une région, en elle-même, et la *position* qu'elle occupe dans l'espace : *une région peut n'avoir en soi que des variations mineures de forme mais présenter un déplacement dans l'espace vestibulaire.*

Enfin notre attention est attirée, par ce même auteur, sur l'origine embryologique des différents éléments anatomiques du crâne. L'interaction de facteurs mécaniques tels que les facteurs faciaux, les facteurs occipitaux, ainsi que l'augmentation du volume endocrânien, façonne des portions céphaliques qui sont d'origine "membraneuse" ou "dermique" comme c'est le cas pour la voûte et la face (excepté la partie profonde) ou d'origine "endochondrale", telles la base, la portion sous-iniaque de l'occipital ainsi que la capsule otique (*figure 1*).

Nous savons par ailleurs qu'en orientation vestibulaire, l'angle foraminien, au cours de l'ontogénèse, présente des valeurs caractéristiques pour chaque catégorie de sujets normaux. La *figure 4* montre la direction générale de la droite basion-opisthion chez le rat témoin adulte et, à titre de comparaison, celles correspondantes chez le chat et le lapin. Ces deux dernières espèces ayant subi une expérimentation analogue à celle réalisée chez le rat, il ne sera pas sans intérêt de se demander ultérieurement si les conséquences du processus pathologique sont qualitativement identiques dans les trois cas.

2. Conditions d'élevage.

L'élevage des séries de rats : sujets en expérience et témoins, a été réalisé dans des conditions matérielles normales, avec un entretien quotidien correct et des conditions de vie excellentes (nourriture standard, cages métalliques adaptées, espaces de parcours, éclairage, température etc...). Aucune épidémie nécessitant un apport thérapeutique n'a perturbé l'élevage; seuls quelques troubles broncho-pulmonaires à la suite d'incidents matériels (chauffage) ont été constatés mais sans répercussion sensible sur la courbe de poids.

Le tribut payé pour la mise au point de la technique est relativement lourd (30 portées environ) mais cependant fécond en observations et en conséquences à tirer pour la conduite de l'expérimentation. C'est ainsi que nous avons observé que le chiffre optimum de jeunes rats est de huit par portée, que dans celle-ci, tous

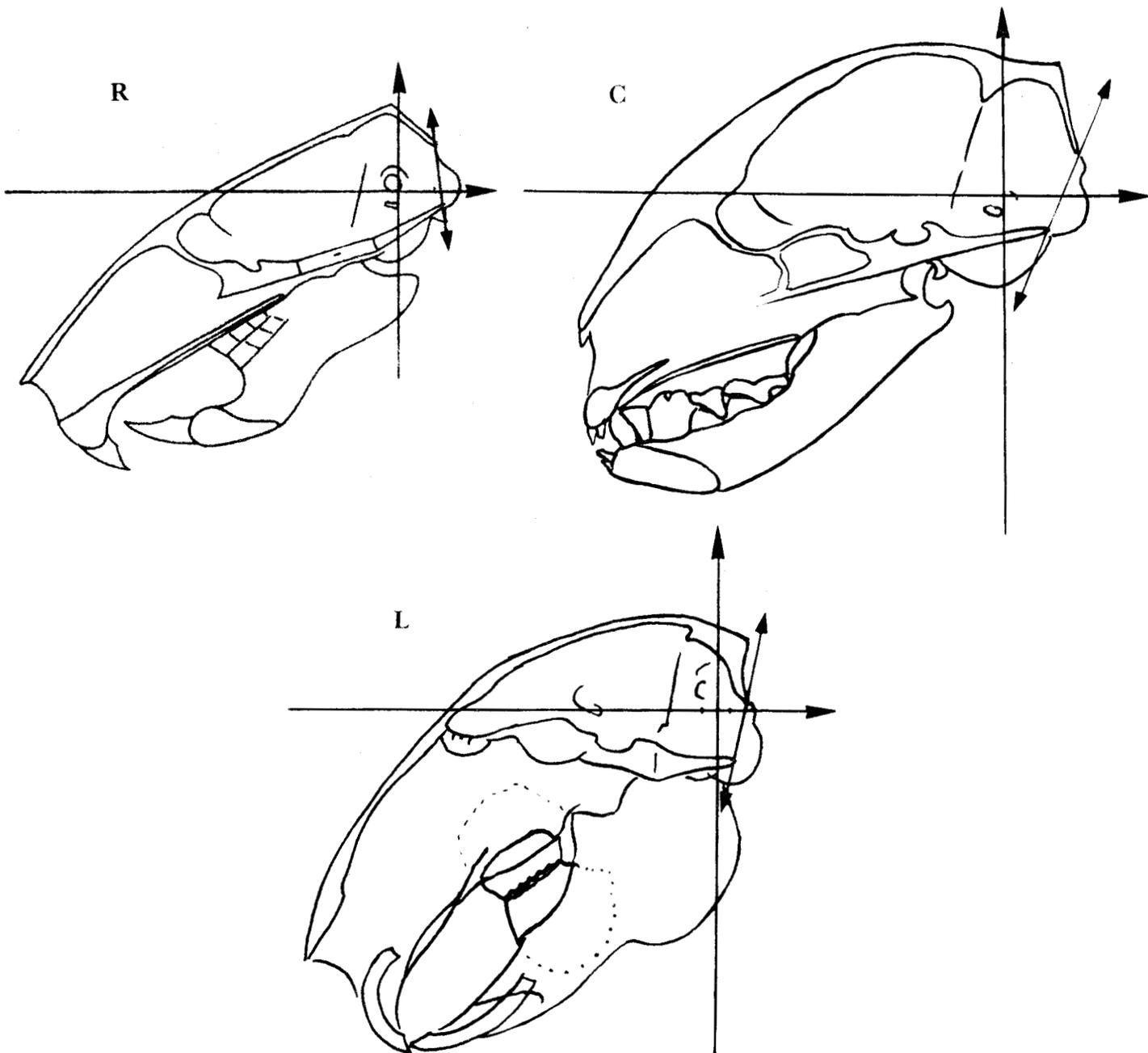


Figure 4

Section sagittale de crânes Témoins de rat (R), de chat (C), et de lapin (L), orientés vestibulairement, montrant la direction générale du trou occipital dans chaque cas.

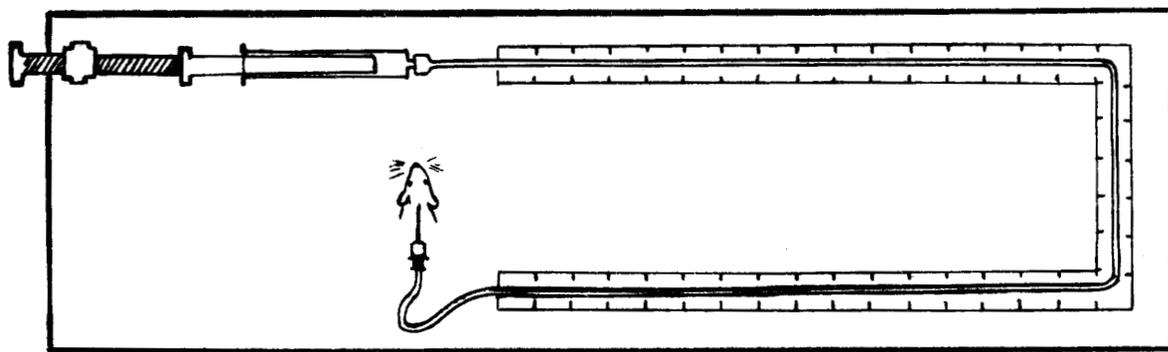


Figure 5

Schéma du dispositif employé lors de l'injection de kaolin chez de jeunes rats.

les sujets doivent subir un même protocole expérimental pour éviter par la suite le phénomène de compétition.

D'autre part, quelques précautions relatives à la mère doivent être prises puisqu'il arrive parfois que celle-ci, irritée par la manipulation de ses petits, tue et dévore tout ou partie de la portée.

La pesée régulière (deux fois par semaine pendant les 50 premiers jours) assure un contrôle fidèle de la croissance des jeunes sujets expérimentaux et permet de pronostiquer leur viabilité.

Normalement, le sevrage est effectué entre 25 et 35 jours; cependant il s'est avéré indispensable d'isoler plus précocement certains sujets sévèrement handicapés pour les soustraire aux mauvais traitements de la part du reste de la portée.

3. Récolte des pièces.

Parmi les quatre-vingt deux portées de rats (comportant plus de 600 jeunes) que nous avons eu l'occasion de manipuler, un certain nombre de sujets ont été nécessaires pour la mise au point de la technique; puis tous les sujets expérimentaux morts ou sacrifiés à différents âges (jusqu'à 627 jours) ont été soigneusement répertoriés et conservés dans un liquide fixateur.

Les rats témoins ont été produits en alternance avec les hydrocéphales à partir des mêmes reproducteurs et dans des conditions d'élevage identiques, les bêtes étant sacrifiées à différents stades de la croissance somatique, tenant compte de la répartition des hydrocéphales obtenus.

B. — PROTOCOLE EXPERIMENTAL.

1. Technique d'injection.

Reprenant le processus opératoire de Young (B. 307-308) qui consiste, chez de jeunes rats, à injecter dans la grande citerne 0,02 ml d'une suspension de kaolin à 30 %, nous avons appliqué cette même technique chez le rat, puis avons tenté de la transposer aux deux autres séries animales. Le principe est simple, il suffit de faire pénétrer dans la grande citerne, par la voie inter-occipito-vertébrale, une certaine quantité de kaolin en suspension dans un soluté physiologique (9 pour 1000 de NaCl), après stérilisation préalable du matériel et du kaolin.

Le problème de l'anesthésie ne nécessite que quelques remarques mineures. L'emploi de l'éther est d'un usage commode et généralement bien supporté par les jeunes rats, il permet une anesthésie de courte durée, suffisante cependant pour pratiquer l'injection.

Une fois anesthésié, l'animal est posé en décubitus latéral, la tête repliée. En bas du rebord nuchal de la tête, l'aiguille disposée dans le plan sagittal est tout d'abord enfoncée dans la peau puis, tout en glissant le long du bord postérieur de l'occipital, est poussée en vrillant à travers les muscles puis le ligament jaune. Ce dernier passage, à peine sensible chez le rat, est très nettement ressenti chez le chat et le lapin, sujets chez lesquels il est immédiatement suivi d'une sortie de liquide céphalo-rachidien (3 à 5 gouttes). L'injection est alors faite avec lenteur, puis l'aiguille retirée rapidement et la peau légèrement déplacée et pressée pour éviter tout reflux du produit injecté.

Le tableau ci-après indique les conditions expérimentales dans lesquelles l'hydrocéphalie peut être obtenue avec un optimum de chance. Les valeurs limites proposées démontrent la très grande "souplesse" de cette technique génératrice, par ailleurs, de cas d'hydrocéphalie fort variés.

	RAT	LAPIN	CHAT
Age (en jours)	2 à 11	5 à 12	5 à 17
Poids (en g) au jour de l'injection	7,3 à 16,5	160 à 240	180 à 380
Volume de suspension injecté (en ml)	0,02	0,10 à 0,20	0,15 à 0,20
Concentration (en %) de kaolin dans la suspension	5 à 30	5 à 30	15 à 30

Il faut ajouter qu'une part d'incertitude persiste toujours en ce qui concerne la quantité "exacte" qui a effectivement pénétré dans la grande citerne, ou encore son mode de répartition autour du tronc cérébral... Les dissections systématiques permettent de résoudre facilement le second problème.

Pour faciliter le contrôle précis de la dose de kaolin injectée aux jeunes rats, nous avons mis au point un appareillage simple (*figure 5*). La seringue préalablement emplie de la suspension de kaolin est disposée sur un support muni d'un pas de vis permettant une avancée lente du piston. Est abouché à la seringue un cathéter en polyéthylène de 0,58 mm de diamètre interne, terminé par un embout permettant d'insérer une aiguille 10 -4/10 à biseau raccourci puis minutieusement acéré. Une bande de papier millimétré est fixée sur le support, sous le cathéter.

Une fois ce dernier empli de kaolin, il est facile d'y introduire une bulle d'air utilisée par la suite comme repère. L'aiguille, montée sur l'embout du cathéter, est également emplie de kaolin puis enfoncée progressivement au travers des muscles, dans la grande citerne. L'injection est faite aussitôt, l'avancée de la bulle d'air étant de 7,4 cm pour une injection de 0,02 ml environ.

Le déplacement progressif de la bulle d'air indique la libre pénétration du kaolin dans la grande citerne (par contre, si l'aiguille se trouve dans le plan musculaire, la bulle d'air progresse par secousses).

Il faut noter que ce mode opératoire crée sans doute une surpression intra-crânienne puisqu'aucun écoulement compensatoire de liquide céphalo-rachidien n'est réalisé; cependant, l'absence de mortalité observée

après toutes nos séries d'injections peut à elle seule justifier cette simplification technique.

Afin d'être assuré de la bonne homogénéité de la suspension dont nous nous servons, nous renouvelons celle-ci dans la seringue, le cathéter et l'aiguille, toutes les deux, trois ou quatre injections au maximum, tenant compte pour cela de la concentration utilisée et du rythme auquel les manipulations peuvent se succéder.

La profondeur à laquelle l'aiguille doit pénétrer est importante à considérer si l'on ne veut pas léser le bulbe rachidien. Plusieurs portées furent traitées après qu'une garde de polyéthylène eut été placée autour de l'aiguille. En fait, nous n'avons pas poursuivi dans ce sens parce que la garde gênait la perception tactile des différents plans tissulaires traversés et aussi parce que sans nous en rendre compte, la grande citerne n'était pas toujours atteinte.

2. Influence relative des divers facteurs.

Parmi les sujets expérimentaux récoltés, nous décrivons un peu plus loin deux grandes catégories d'hydrocéphales : tout d'abord ceux dont le processus pathologique est *rapide*, très important, mais souvent fatal et ceux, par contre, où cette évolution se réalise plus *lentement*, plus discrètement et même rarement à la mort.

En fait, il semble bien que l'âge des sujets, la dose employée (c'est à dire la quantité et la concentration adoptées), de même que l'espèce utilisée, soient trois facteurs déterminants principaux de l'évolution de l'hydrocéphalie.

a) L'âge.

Associant à cette notion d'âge, le poids moyen correspondant pour l'espèce, on imagine facilement qu'il y a une limite inférieure au dessous de laquelle il vaut mieux ne pas descendre pour que l'animal supporte le choc. Nous obtenons des résultats très médiocres (forte mortalité, croissance sensiblement perturbée), quand nous pratiquons l'injection avant le deuxième jour chez le rat (et le cinquième jour chez le chat et le lapin).

Par contre, une attente trop prolongée n'empêche pas le processus effecteur de la surpression intra-crânienne mais en général, au niveau des os en voie de suture, le résultat est de moins en moins net. C'est ainsi que, chez le rat, deux séries d'injections (0,02 ml de suspension à 30 % de kaolin), faites l'une sur une portée de deux jours et l'autre sur une portée de onze jours, donnent dans le premier cas une majorité d'animaux du premier type (*rapide*) et dans l'autre cas, une majorité du second type (*lent*).

b) La dose.

Il semble évident que c'est la quantité de kaolin injectée dans la grande citerne qui intervient dans la réalisation de l'hydrocéphalie. Dans le facteur dose, il faut distinguer entre le volume et la concentration.

α) Volume.

Weed (B. 297), utilisant une suspension de noir animal (à 5 ou 10 %) injectait dans la grande citerne,

1 ml chez le chaton et 10 ml chez le chat adulte. Une surpression aussi soudaine fait risquer l'arrêt respiratoire.

Sans doute le volume sous lequel une certaine quantité de kaolin est injectée intervient-il aussi, ne serait-ce que dans le mode de répartition autour du tronc cérébral et donc dans la localisation des réactions irritatives consécutives.

β) Concentration.

Bien que ce ne soit pas une règle absolue, nous avons remarqué une évolution assez différente de l'hydrocéphalie, après utilisation d'une concentration de 30 % ou de 10 %. Nous référant aux deux groupes précédemment décrits, on trouve une majorité d'animaux de type *rapide* dans le premier cas et d'animaux de type *lent* dans le second. Par contre, l'emploi de suspensions à 5 % n'a jamais permis (ou très rarement) la réalisation du premier type d'hydrocéphalie.

c) L'espèce.

L'observation de l'état des sutures de la voûte du crâne chez les trois espèces, à la naissance et à l'âge de l'injection, devrait faciliter l'interprétation des résultats obtenus.

L'étude macroscopique que nous avons réalisée ne nous a pas permis de mettre en évidence des différences spécifiques notables comme nous pouvions nous y attendre; seule une "fermeté" des os de la voûte, plus marquée chez le lapin que chez le chat et le rat a été notée.

Une étude histologique ultérieure des sutures aux différents stades précités s'avère indispensable pour préciser les phases évolutives de chaque espèce.

Dans quelle mesure et suivant quelles lois ces sutures en formation, ou même simplement l'ossification, permettent-elles la traduction, au niveau du crâne, des forces de pressions intra-ventriculaires ? Rappelons que Moss (B. 198), étudiant chez le rat le déterminisme de la morphologie osseuse, parle du passage d'un état de suture présomptive à celui de suture définitive. Ce passage se réaliserait selon lui vers le 7ème jour pour les sutures : coronale, métopique et sagittale, tandis qu'il précéderait la naissance pour la suture fronto-nasale...

d) Notion de seuil.

Sans vouloir préjuger du résultat des examens complémentaires que nous nous proposons de réaliser dans l'avenir, il semble bien que l'évolution du processus hydrocéphalique soit fonction de l'espèce. Quelle est alors la part respective de l'âge et de la dose ? Est-il possible de définir un seuil qui permette d'obtenir à coup sûr, tel ou tel type d'hydrocéphalie ? L'ensemble de ces expérimentations nous porte à penser, pour le moment, que la réalisation d'un type d'hydrocéphalie plutôt que l'autre, dépend essentiellement de l'âge de l'animal au moment où nous intervenons. Les variations de la dose influent, elles aussi, certes, mais en venant accentuer ou réduire le pourcentage dans un sens ou dans l'autre.

C'est ainsi que chez le rat, l'injection effectuée avant le 5ème jour nous permet d'obtenir une majorité d'animaux du type *rapide* et après le 8ème jour, une majorité d'animaux du type *lent*.

Chez le chat, cette période critique est plus tardive et moins bien limitée, elle se situerait du 10ème au 15ème jour. Enfin chez le lapin (Blanc du Bouscat), n'ayant jamais pu obtenir que le seul type *lent*, c'est avant la naissance qu'il faudrait situer ce seuil.

CHAPITRE IV

OBSERVATION DES ANIMAUX

L'élevage nous a permis d'observer les animaux à la fois pour les troubles neurologiques dont ils souffraient et pour l'aspect général qu'ils présentaient : développement de l'extrémité céphalique, port de la tête...

A. – TROUBLES PHYSIO-PATHOLOGIQUES.

Bien que la présente étude n'ait pas été conçue spécialement dans ce but, nous avons jugé utile de rechercher les principaux troubles affectant nos rats, à cause de l'incidence qu'ils peuvent éventuellement avoir sur le mode de station et de locomotion et, par le fait même, sur le développement des os du crâne.

Dans les jours qui suivent l'injection, les animaux présentent une somnolence très marquée mais transitoire (48 heures environ). Au cours de l'évolution de l'hydrocéphalie, les troubles moteurs phasiques semblent bien être les premiers à apparaître.

- Trois semaines après l'injection, certains jeunes dont la déformation crânienne est très accusée ont une vivacité et une agilité au moins égales à celles des témoins bien que tout le corps soit agité par une certaine trémulation accompagnée d'une hypertonie des membres. Leur marche peut se faire sur les extrémités. D'autres animaux, par contre, ont des attitudes tout à fait normales.

Dans les cas durables, il faut supposer une stabilisation du processus, bien que de soudaines poussées d'hydrocéphalie puissent parfois venir la perturber. La démarche du rat est alors le plus souvent, lente, traînante, dandinante, avec une certaine raideur des membres ou, au contraire, une hypotonie extrême frappant parfois les seuls membres antérieurs ou postérieurs.

Certains présentent des troubles du positionnement des extrémités. Le redressement sur le train arrière nécessite parfois des points d'appui. Plusieurs cas de troubles vestibulaires ont été notés : maintenu par la queue, l'animal se met à tourner rapidement ; placé sur le dos, il a de grandes difficultés pour se redresser.

- A ces troubles moteurs phasiques, peuvent s'ajouter des troubles statiques. Notons l'inclinaison de la tête et de tout le tronc dans un plan oblique, symptôme d'origine vestibulaire encore...; des animaux étant maintenus par le cou, il est possible d'observer dans certains cas une position dissymétrique des membres. On peut enfin remarquer chez plusieurs sujets, un élargissement du polygone de sustentation avec une résistance plus ou moins diminuée à la poussée.

- L'analyse des troubles sensoriels, bien que délicate, nous a cependant révélé chez les adultes que la sensibilité au bruit, à la douleur, à la lumière était parfois très diminuée. Mais ce phénomène est loin d'être général.

- Chez des animaux de six mois environ, nous avons observé plusieurs cas très prononcés de cyphose lombaire et de scoliose.

- Relativement fréquents sont encore les troubles trophiques qui se révèlent sur la tête par de petites escarres, ou au niveau des flancs par de larges ulcérations.

- Ces différents symptômes apparaissent plus ou moins tôt au cours de l'expérimentation : trois mois, six mois, un an, et persistent par la suite sans amélioration. Sans doute sont-ils liés à des lésions nerveuses définitives ?

B. — OBSERVATION DE L'EXTREMITÉ CEPHALIQUE.

La tête *in vivo*, de nos sujets en cours d'expérience, a été l'objet d'observations, tant pour sa morphologie générale, que pour le mode fonctionnel employé par les animaux pour la porter. Cela nous a amené à distinguer, d'une manière générale, deux types d'hydrocéphales, que nous définirons après avoir exposé les premiers critères d'apparition du processus.

1. Aspect de l'extrémité céphalique à l'apparition de l'hydrocéphalie.

La poussée exercée par l'hyperpression intraventriculaire est transmise par l'intermédiaire de la substance cérébrale essentiellement à la voûte du crâne et à un moindre degré à sa base. Le développement de l'hydrocéphalie n'est visible chez le rat (comme chez les autres espèces d'ailleurs) que trois ou quatre jours après l'injection, une observation de profil suffisant généralement, chez cette espèce, pour confirmer la réussite de l'injection.

Dans la suite de l'évolution, les rats se classent d'une façon générale en deux catégories : ou bien les dimensions du crâne (hauteur et largeur) vont augmenter considérablement en un laps de temps très court (deux à trois semaines) avec mort de certains et stabilisation progressive chez d'autres, ou bien l'évolution est plus discrète, plus lente, la déformation restant indubitable.

En fait, comme nous l'avons vu précédemment, ces deux formes évolutives sont en rapport assez étroit avec les diverses variantes de la technique. Pour systématiser ces formes, nous parlerons d'hydrocéphalie *rapide* et d'hydrocéphalie *lente*.

2. Hydrocéphalie rapide.

a) Description.

La sphérisation de la tête du rat est très forte : le volume crânien peut être doublé, triplé... (figures 7-8-9). La peau de la région frontale présente un aspect faisant penser à une pilosité clairsemée qui est dû, en fait, à l'étirement du revêtement cutané. Le profil de ces animaux prouve l'existence d'une très forte poussée s'exerçant dans cette région frontale. Les signes oculaires sont discrets bien que la hauteur de la fente palpébrale soit réduite. (Parmi les deux autres espèces, seul le chat répond à ce premier type de développement).

b) Port de la tête.

Le port de la tête n'a pu être contrôlé de façon ininterrompue par enregistrement mécanique ou physique, cependant l'observation nous a permis de constater que le volume crânien augmentant, l'animal éveillé lutte constamment pour relever cette tête trop lourde. De plus, il est contraint de maintenir la tête haute et le cou plus vertical à la recherche de la position physiologique exigée par les canaux semi-circulaires portés par un crâne dont la position du trou occipital a varié (ainsi que cela sera démontré).

Dans le cas où l'hydrocéphalie devient très sévère, l'animal n'a plus la force physique d'effectuer les mouvements de redressement et pose fréquemment le museau sur le sol (figure 3).

c) Evolution.

Chez le rat, bien que la mort survienne fréquemment de trois à huit semaines après l'injection, il n'y a pas de règle absolue : certains animaux, en effet, subissent en un premier temps cette phase *rapide* d'évolution, puis l'hydrocéphalie semble marquer le pas.

Cette sédation est parfois entrecoupée par de nouvelles poussées, mais ces processus s'avèrent compatibles avec une survie durable. De tels animaux sont particulièrement intéressants pour nous puisque, d'une part, le volume intracrânien est nettement augmenté et, d'autre part, les diverses tractions musculaires ont le temps d'intervenir sur le développement des constituants crâniens.

Chez le chat, le processus est plus rapide; dès les quinze premiers jours certains sujets meurent, tandis que d'autres survivent pendant plus d'un an.

De même, chez l'Homme, l'hydrocéphalie non traitée n'est pas nécessairement fatale. Laurence et Coates (B. 168) à la suite de l'observation de cent quatre vingt deux enfants non opérés, estiment que dans 46 % des cas il y a stabilisation du processus. Mais, selon Schick et Matson (B. 260), l'arrêt spontané de l'hydrocéphalie chez l'enfant est rare.

3. Hydrocéphalie lente.

Le deuxième type d'hydrocéphalie représente un processus plus discret, plus lent à se développer ;

il est très rarement cause de mortalité. On peut l'observer chez le rat (et les deux autres espèces), avec une fréquence variable (*fig. 3 et 6*). Chez le rat, en utilisant des doses faibles et en travaillant sur des sujets âgés de 8 à 11 jours, ce type d'hydrocéphalie peut être obtenu avec une grande facilité.

Chez le chat, par contre, bien qu'il soit possible d'obtenir de tels sujets directement, il est plus fréquent d'observer : d'abord un développement *rapide*, d'ampleur variable, puis la phase de *compensation* et de développement *lent*.

Chez le lapin, enfin, notre technique ne nous a permis d'obtenir que des hydrocéphales de ce deuxième type. Signalons que, dans cette espèce, il faut déplorer une mortalité importante dans les huit à quinze jours qui suivent l'injection, éliminant ainsi les sujets les plus atteints.

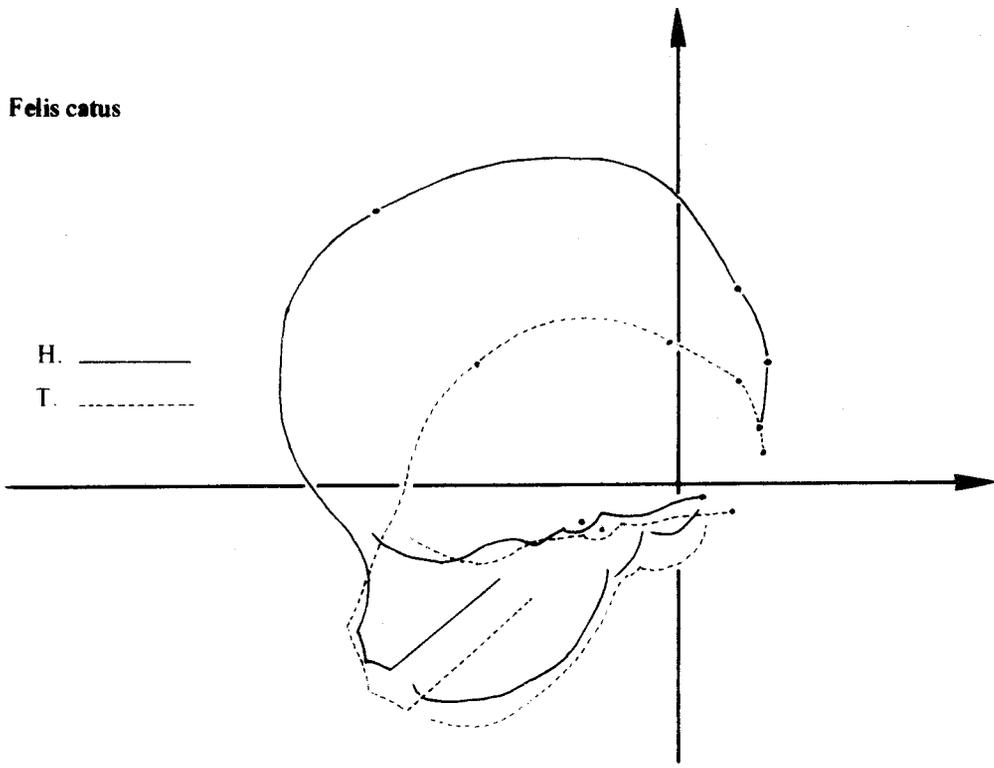
a) *Description.*

La voûte fronto-pariétale présente une voussure plus forte que celle des témoins. L'existence d'une hydrocéphalie indiscutable est d'ailleurs signée par le degré anormal de dilatation des cavités ventriculaires que l'on observe à l'autopsie (*figures 8 et 9*).

b) *Port de la tête.*

Le port de la tête semble tout à fait comparable à celui des témoins et les troubles neurologiques sont généralement moins marqués que ceux du groupe précédent.

Felis catus



Oryctolagus cuniculus

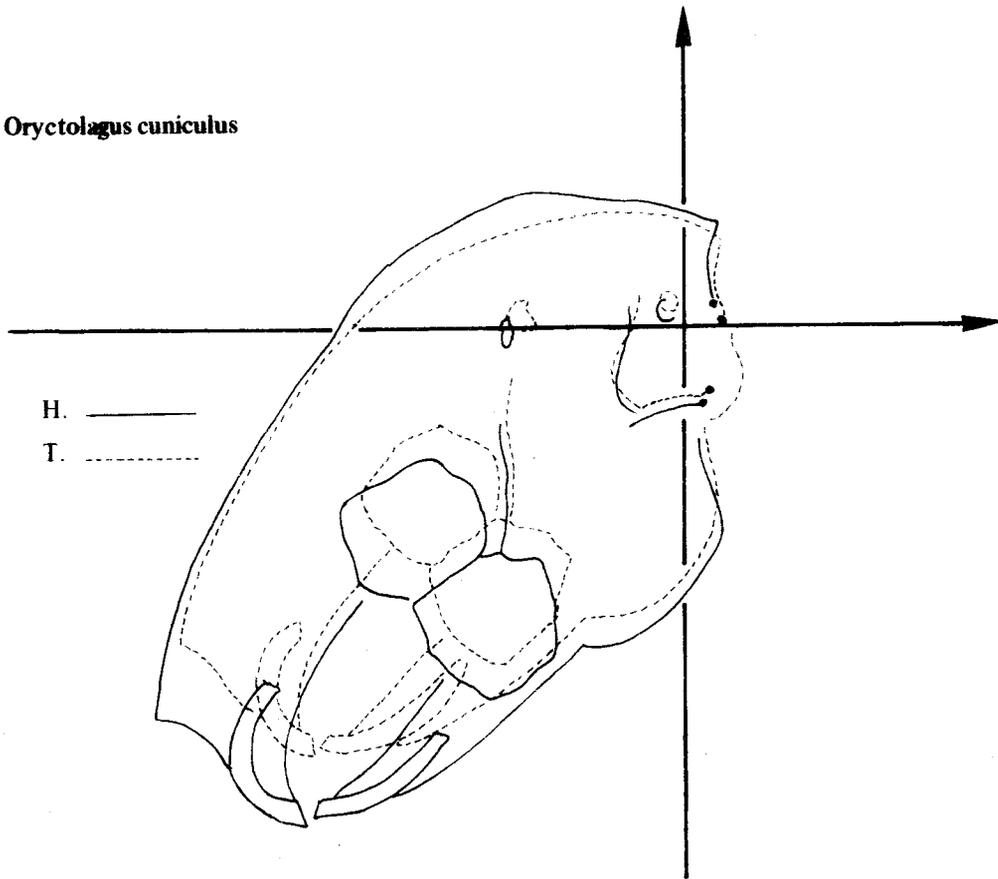


Figure 6

Résultats de l'hydrocéphalie

Chez le chat en haut
Chez le lapin en bas.



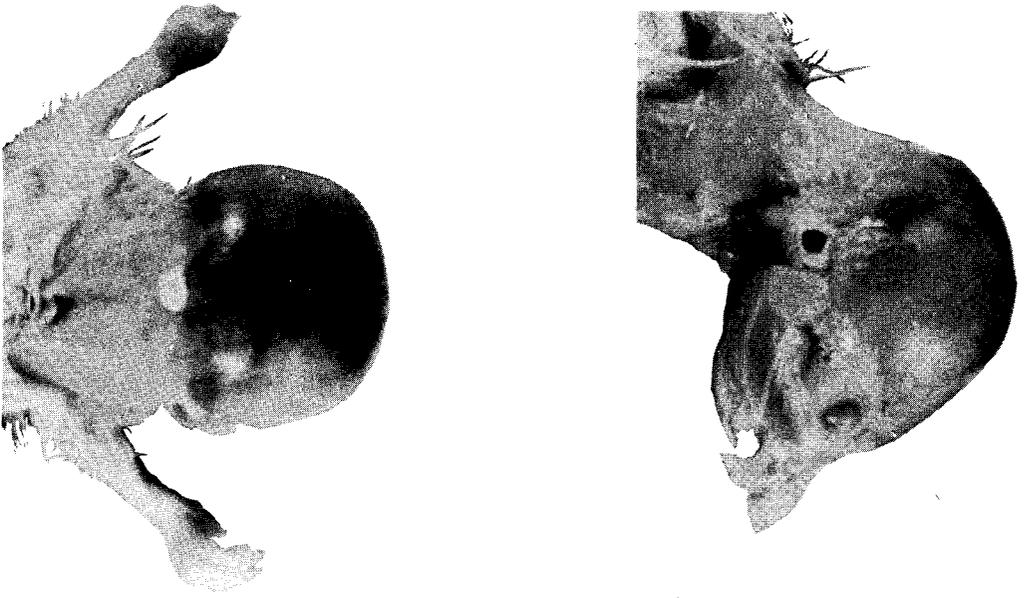


Figure 7

Vues extérieures de l'extrémité céphalique d'un rat hydrocéphale après ablation du revêtement cutané (23 jours d'hydrocéphalie).



RESEARCH
LILLE

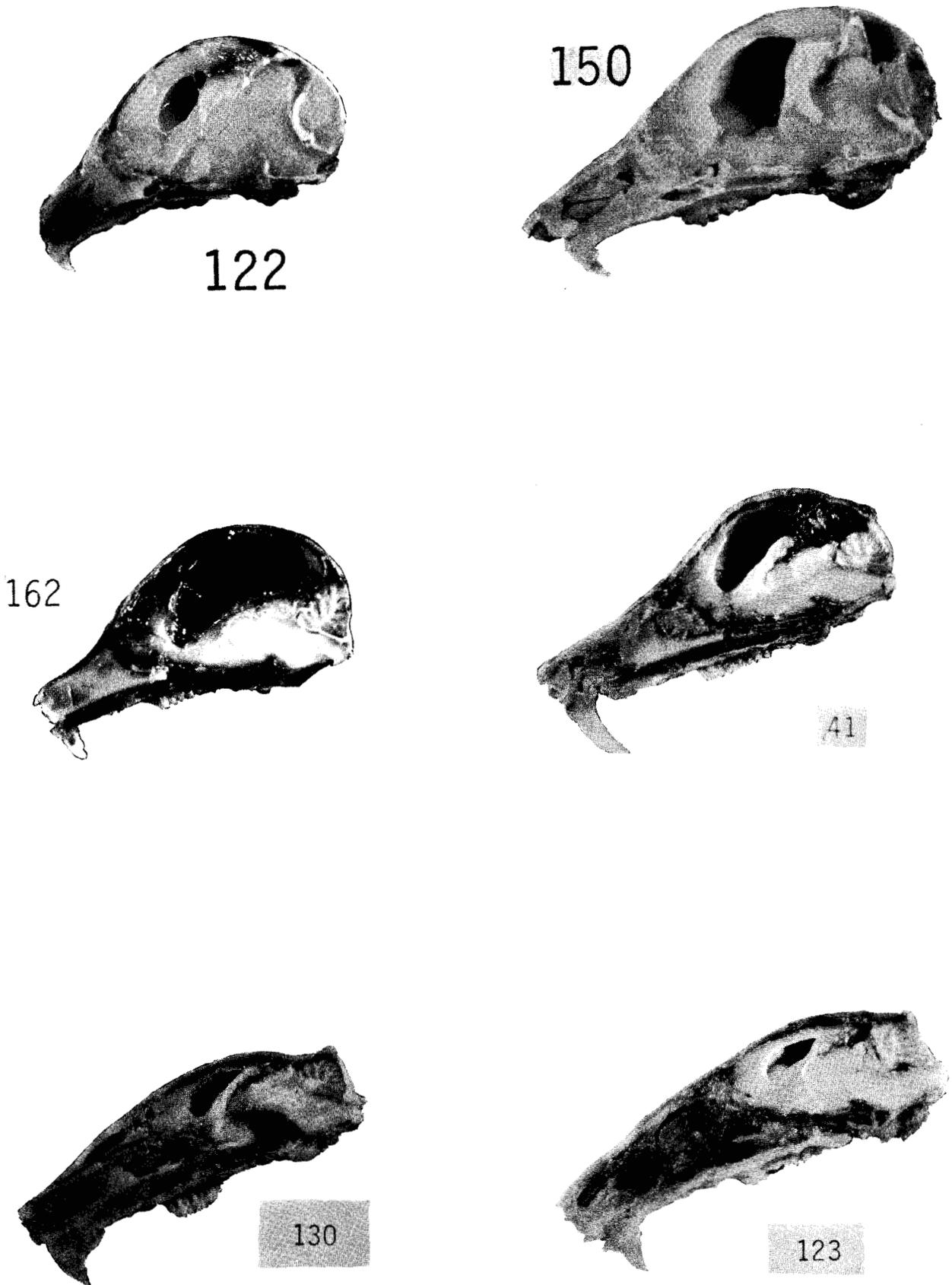


Figure 8

Hémicrânes, en vue interne, choisis pour montrer quelques caractéristiques morphologiques à divers stades de l'évolution du processus pathologique.

Outre le degré de dilatation ventriculaire, on notera les dépôts de kaolin (122, 150, 162), l'usure anormale des incisives (41), la déformation pyriforme de la voûte (41), la déformation de celle-ci en S italique (130).

Pour l'échelle on se reportera à la hauteur des chiffres : 3 mm.

122



31



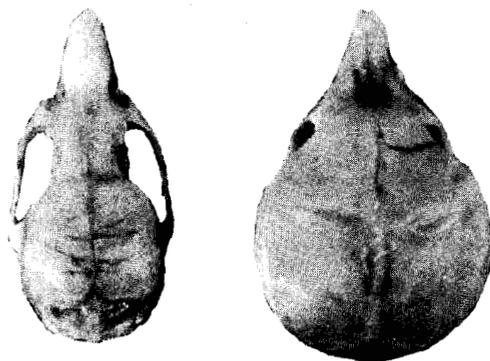
72



219



Essai de reconstitution de la croissance ontogénique suivant le type *rapide*.



Comparaison de l'extrémité céphalique d'un hydrocéphale de type *rapide* à celle d'un témoin de même poids.
en haut : vues latérales externes
en bas : vues supérieures.



21



200



204



Essai de reconstitution de la croissance ontogénique suivant le type *lent*.

Figure 9

CHAPITRE V

CROISSANCE

La comparaison de la croissance du rat hydrocéphale avec celle du témoin doit aussi retenir notre attention. Nous n'en étudierons provisoirement que deux aspects : la croissance pondérale d'une part, et la croissance de la tête *in vivo* d'autre part.

A. – CROISSANCE PONDERALE.

Rappelons que le poids peut être considéré comme une indication fidèle de l'état physiologique des sujets; c'est dire la place particulière que nous lui avons accordée au cours de l'expérimentation.

1. Croissance individuelle .

La pesée régulière de chaque rat a permis de réaliser, pour chacun d'eux, la courbe de croissance pondérale (*figures 10 et 11*). Ces documents font la lumière sur quelques phases critiques du développement de l'hydrocéphalie.

- Sitôt l'injection, la courbe de poids subit un décrochage de 2 à 5 grammes, dont la récupération est toujours effective le sixième jour au plus tard.

- Dès que l'animal a retrouvé le poids qu'il avait à l'injection, sa croissance devient alors très régulière, tout en présentant un retard (d'importance variable d'ailleurs) par rapport aux témoins. Il n'y a pas là cependant de règle absolue puisqu'il nous a été donné d'observer certains sujets de type *rapide* présentant, pendant une certaine durée, des poids nettement supérieurs à ceux des témoins.

- Chez les animaux correspondant au type *rapide*, un ou parfois même plusieurs paliers peuvent être décrits. Ils correspondent aux poussées d'hydrocéphalie et laissent craindre l'issue fatale. Celle-ci peut survenir dans un délai très bref (5 à 7 jours environ) après une régression de 7 à 15 grammes (ces valeurs correspondent à des poids maximaux de 30 à 60 grammes).

- Chez les sujets de la seconde catégorie, la courbe individuelle s'écarte progressivement de celle des témoins au fil des jours.

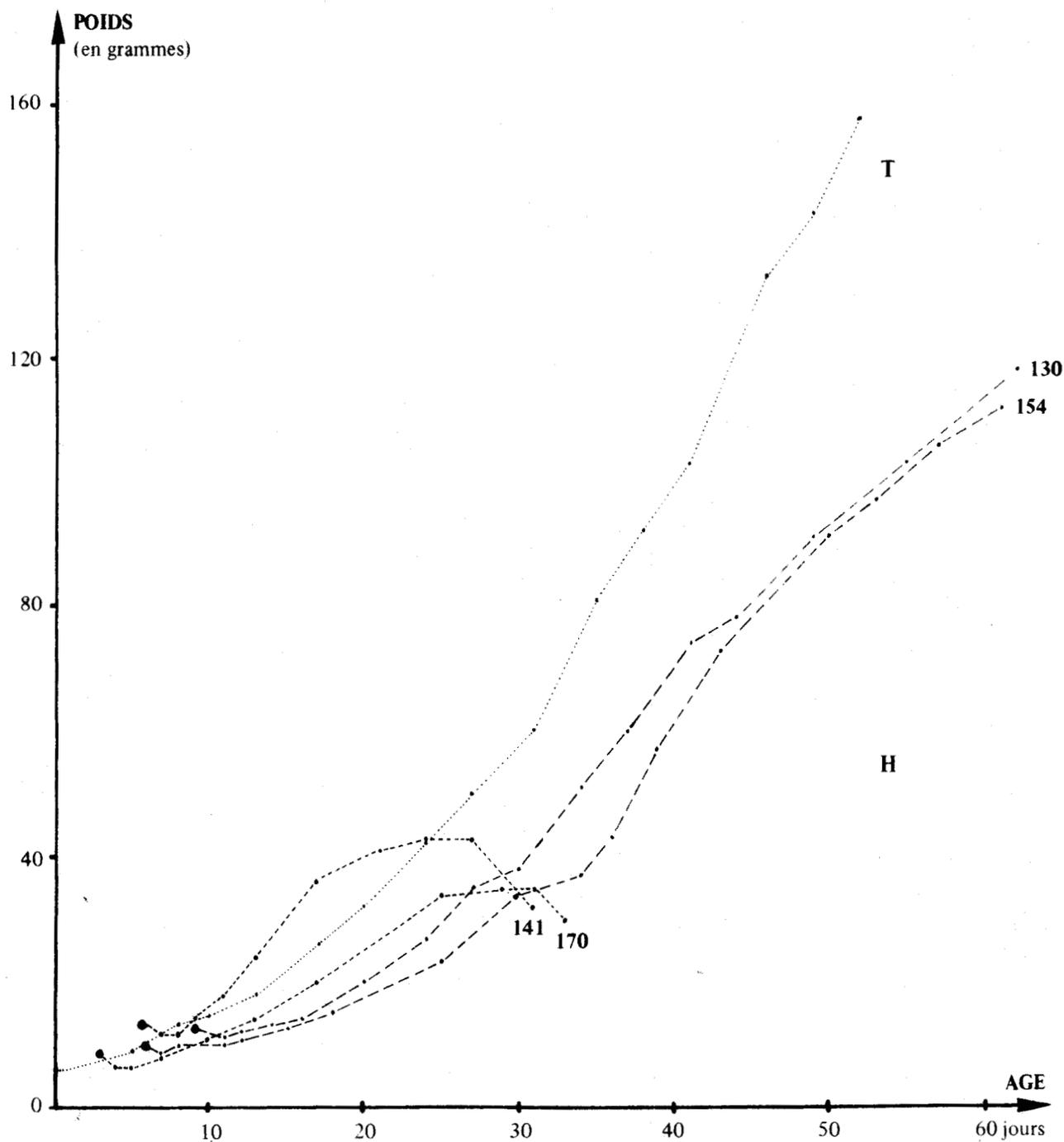


Figure 10

Croissance pondérale individuelle
 chez quatre rats hydrocéphales (H : 130, 141, 154, 170.) ayant subi l'injection de kaolin (●).
 Comparaison avec la croissance moyenne des témoins (T).



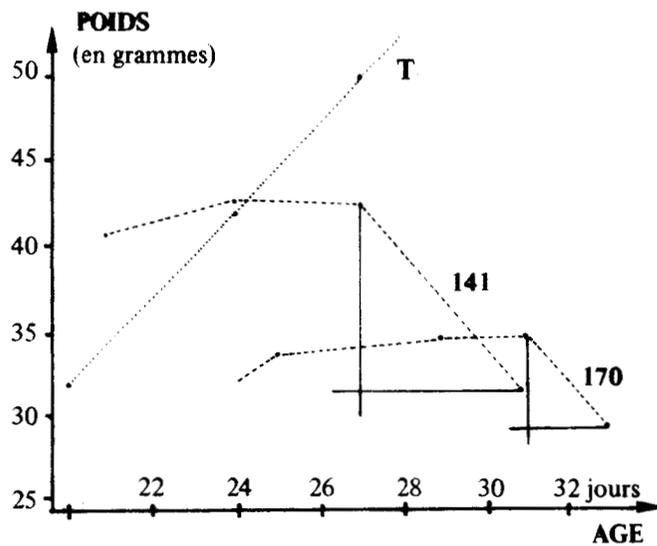
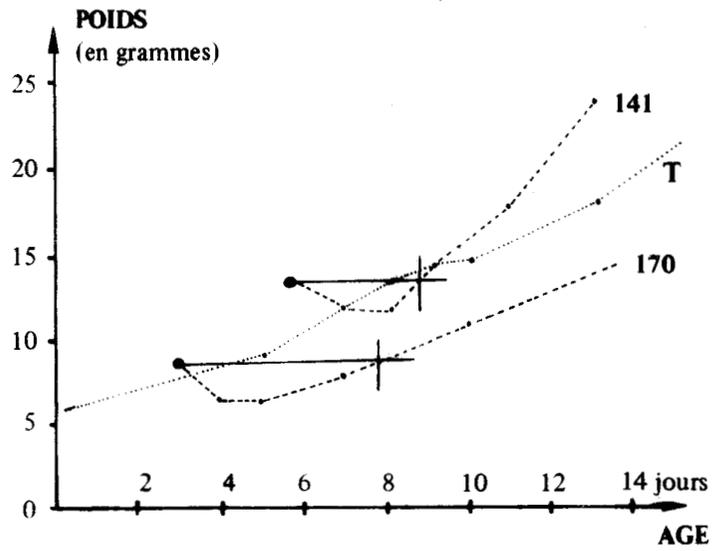


Figure 11

Agrandissements partiels de la figure 10 montrant chez deux hydrocéphales du type *rapide* (H : 141 et 170).
 en haut : le décrochage consécutif à l'injection (●).
 en bas : le déclin fatal.



Tranches d'âge (en jours)	Poids des Témoins (en gr.)		Poids des Hydrocéphales (en gr.)					
	M	σ	M	σ				
5 - 10	13,21	2,65	10,09	2,23				
10 - 15	19,18	3,41	15,89	3,63				
15 - 20	29,29	3,22	21,55	4,34				
20 - 25	37,72	4,69	31,10	7,52				
25 - 30	55,27	7,39	42,00	9,48				
30 - 35	71,97	10,11	54,46	17,21				
35 - 40	95,61	13,28	74,24	20,74				
40 - 45	112,94	14,36	97,66	27,09				
45 - 50	138,25	15,88	107,00	32,20				
	Mâles		Femelles		Mâles		Femelles	
	M	σ	M	σ	M	σ	M	σ
50 - 60	183,75	12,69	142,14	12,50	157,53	56,58	138,35	28,52
70 - 100	254,00	18,81	203,11	10,04	249,05	90,17	192,40	26,95
250 - 300	438,12	42,58	256,56	33,57	424,05	110,31	278,55	42,54
+ de 400	486,69	57,90	297,40	32,41	422,06	102,43	280,00	64,36

Tableau I

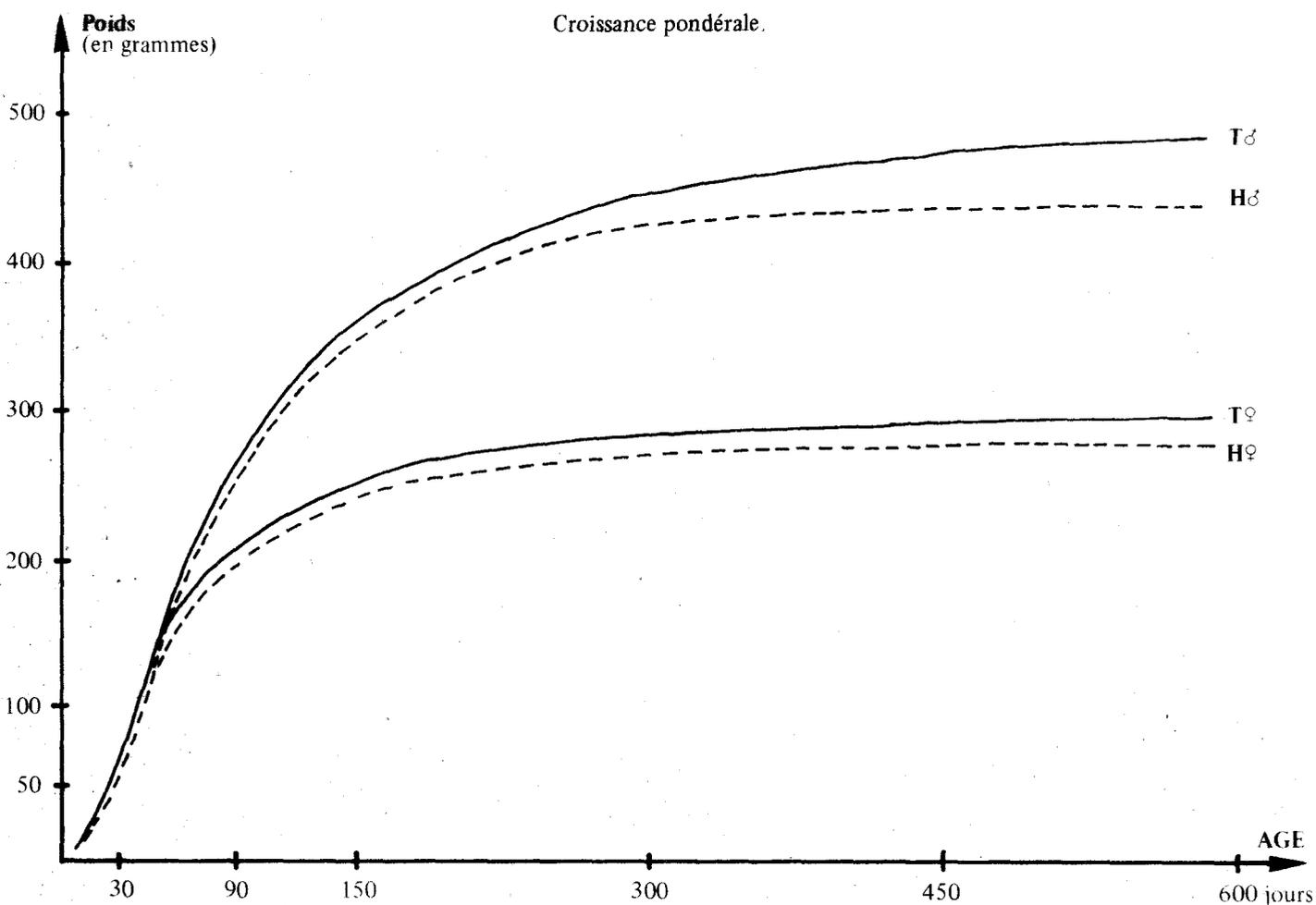


Figure 12

Croissance pondérale chez les rats hydrocéphales (H) des deux sexes, en tirets, comparée à celle des témoins (T), en traits pleins.



2. Courbes de croissance moyenne.

Les courbes de croissance moyenne ont été tracées (*figure 12*) pour l'ensemble des populations en considérant d'une part les hydrocéphales, d'autre part les témoins. Les tranches d'âge vont de 5 jours en 5 jours jusqu'au cinquantième, date à partir de laquelle le sexe est pris en considération, puis les poids moyens sont calculés à partir de mesures individuelles effectuées entre 50 et 60 jours, 70 et 100 jours, 250 et 300 jours et enfin, celles relevées à plus de 400 jours.

Ayant à l'esprit ces quelques remarques, l'étude des courbes et particulièrement celle du tableau I nous montre que la croissance pondérale moyenne est, dans son ensemble, très régulière bien que le handicap apporté par l'injection de kaolin soit particulièrement sensible. En un premier temps, l'écart pondéral entre les témoins et les sujets traités progresse avec le temps : 8 g. à 20 jours; 16 g. à 35 jours; 31 g. à 50 jours, puis il se stabilise dans les deux sexes, et ce n'est qu'au cours du vieillissement des sujets (après plus d'un an) qu'un nouvel accroissement de cet écart peut être observé. On notera également que la variation des moyennes obtenues est toujours plus grande chez les hydrocéphales que chez les témoins et chez les mâles que chez les femelles.

Sans doute, la sévérité des troubles cliniques et la compétition mutuelle des sujets sont-elles à l'origine de cette évolution pondérale; mais il faut aussi se rappeler que les valeurs moyennes des hydrocéphales comprennent au départ deux types de processus évolutif et que progressivement (notamment à partir de 2 mois) les courbes représentent presque exclusivement les sujets du seul processus *lent*, les sujets les plus atteints étant morts.

B. — CROISSANCE DE LA TÊTE IN VIVO.

L'observation de l'ensemble de nos élevages de rat nous a laissé quelque temps perplexe. Au départ, nos animaux étaient très nettement hydrocéphales, puis à mesure de la croissance, ils en perdaient progressivement l'aspect typique. Fallait-il déplorer une réduction absolue des diamètres crâniens par régression de l'hydrocéphalie et retour à la normale, ou bien s'agissait-il d'une simple impression subjective, liée à la croissance différentielle de la tête ?

Afin de résoudre ce problème dont l'importance ne peut échapper au lecteur, les sujets de plusieurs portées de rats vivants ont fait l'objet de mensurations (avec évidemment les parties molles) en ce qui concerne la longueur, la largeur et la hauteur de la tête. Un semblable travail a été mené conjointement chez des témoins.

1. Paramètres retenus et calculs statistiques.

Sur des animaux préalablement anesthésiés, les mensurations ont été faites avec un pied à coulisse (précision au dixième de mm) prenant à chaque fois comme points de repère :

. pour la *longueur*, la face postérieure de l'occipital et l'extrémité du museau (parties molles comprises) sans déprimer la peau.

. pour la *largeur*, la base de la dépression sus-zygomatique, droite et gauche, au niveau de la dimension maximale du neurocrâne, zygoma exclus.

. pour la *hauteur*, le bord inférieur de la partie postérieure la plus saillante de la mandibule (région anté-goniale) et le point qui, sur la voûte crânienne, est éloigné au maximum de celui-là.

Ces paramètres, qui ne peuvent évidemment avoir la rigueur de mesures sur os sec, entre des points craniométriques très précis, ont été relevés sur 35 rats hydrocéphales, issus de 7 portées ayant subi l'injection (0,02 ml à 30 %) du deuxième au onzième jour après la naissance. Les mesures ont été effectuées en moyenne tous les huit jours jusqu'à deux mois.

En vue de mettre en évidence la relation existant entre ces différentes mesures, il est utile de calculer dans chaque cas les indices correspondants ainsi que le volume de l'ovoïde céphalique.

. Seul l'*indice largeur/longueur* a été retenu; en effet, la hauteur et la largeur évoluant de manière similaire, il nous a paru peu utile de calculer les indices : *hauteur/longueur* et *hauteur/largeur*.

. Le *volume de l'ovoïde théorique*, bâti à partir de ces trois paramètres, répond à la formule :

$$V = 1/6 \pi L l h$$

Afin de réaliser statistiquement la comparaison des deux populations en tenant compte essentiellement du poids (de préférence à l'âge), les témoins et les hydrocéphales ont été répartis en "tranches" : de 10 g. jusqu'à un poids de 100 g. puis de 25 g. jusqu'à un poids de 150 g. et enfin une dernière tranche comprenant les animaux de 150 g. à 200 g.

Dans chaque tranche, les valeurs typiques de la distribution sont alors calculées : moyenne arithmétique et écart-type, puis la comparaison entre les deux catégories de sujets est établie par le test " t " de Student.

2. Analyse.

Les résultats ainsi obtenus chez les sujets hydrocéphales nous montrent que, mis à part quelques décrochages accidentels liés aux difficultés de mensuration, les *valeurs moyennes absolues sont constamment croissantes* (tableau II et *figure 13*). Aucun animal n'a donc présenté de réduction du volume de la tête, bien que la "stabilisation" du processus pathologique puisse s'observer nettement chez certains sujets. Seule la *croissance différentielle* des divers diamètres est responsable du fait que l'hydrocéphalie paraît moins évidente avec le temps.

Les valeurs mesurées ou calculées ainsi que les courbes correspondantes suggèrent encore quelques considérations à propos de chacun de ces paramètres.

a) *Longueur (figure 13).*

Les deux courbes obtenues sont très proches l'une de l'autre et les différentes valeurs de " t " ne nous permettent pas d'affirmer qu'elles sont significativement différentes. L'hydrocéphalie serait donc prati-

Poids (en gr.)	Longueur					Largeur					Valeurs limites de " t "	
	Témoins		Hydrocéphales			Témoins		Hydrocéphales				
	M	σ	M	σ	t	M	σ	M	σ	t	95 %	99 %
10 - 20	27,72	0,58	29,43	0,70	**5,67	14,01	0,57	16,19	0,54	**8,51	2,10	2,86
20 - 30	31,88	1,90	32,29	1,33	1,03	14,41	0,43	17,31	1,33	**12,55	2,00	2,60
30 - 40	34,85	0,68	35,16	0,88	1,12	15,18	0,19	18,09	1,48	** 7,81	2,00	2,60
40 - 50	37,92	0,53	36,67	0,76	**4,66	15,31	0,37	18,39	1,24	** 8,00	2,06	2,79
50 - 60	37,57	0,58	37,33	0,68	0,73	15,64	0,73	17,94	0,87	** 5,48	2,12	2,92
60 - 70	39,01	0,61	38,98	0,49	0,12	15,84	0,35	18,64	1,12	** 7,21	2,10	2,86
70 - 80	39,80	0,50	39,94	1,00	0,39	16,08	0,40	18,63	0,93	** 7,98	2,10	2,88
80 - 90	40,71	0,34	40,86	1,12	0,38	16,27	0,54	19,59	1,36	** 6,65	2,12	2,92
90 - 100	41,75	0,63	41,45	1,52	0,58	17,28	0,37	19,25	0,85	** 6,73	2,10	2,88
100 - 125	43,72	0,90	42,79	1,09	**2,88	17,86	0,52	19,07	1,15	** 4,31	2,00	2,60
125 - 150	45,91	0,69	44,30	0,81	**4,79	18,38	1,14	19,82	1,13	** 2,84	2,09	2,84
150 - 200	47,07	1,00	45,85	1,39	*2,40	18,69	0,88	20,59	1,25	** 4,19	2,08	2,81
Poids (en gr.)	Hauteur					Indice Largeur/Longueur					Valeurs limites de " t "	
	Témoins		Hydrocéphales			Témoins		Hydrocéphales				
	M	σ	M	σ	t	M	σ	M	σ	t	95 %	99 %
10 - 20	14,02	0,63	16,13	0,85	** 5,96	50,54	1,79	55,05	2,04	** 5,02	2,10	2,86
20 - 30	14,28	0,45	17,24	1,15	**14,48	45,31	1,81	53,58	2,95	**14,30	2,00	2,60
30 - 40	14,75	0,27	18,05	1,33	** 9,73	43,56	0,98	51,40	3,14	** 9,54	2,00	2,60
40 - 50	15,28	0,33	18,79	1,27	** 8,98	40,38	0,86	50,11	2,77	**11,29	2,06	2,79
50 - 60	15,49	0,31	18,32	0,87	** 7,81	41,63	1,73	48,05	2,20	** 6,17	2,12	2,92
60 - 70	15,98	0,31	19,36	0,88	**10,96	40,61	0,87	47,81	2,84	** 7,32	2,10	2,86
70 - 80	16,13	0,24	19,34	0,93	**10,82	40,42	1,07	46,62	1,70	** 9,49	2,10	2,88
80 - 90	16,37	0,28	19,81	1,25	** 7,96	39,96	1,18	47,93	2,94	** 7,37	2,12	2,92
90 - 100	17,16	0,44	19,83	0,87	** 8,58	41,38	0,71	46,49	2,43	** 6,51	2,10	2,88
100 - 125	17,76	0,40	20,04	0,95	** 9,96	40,85	1,12	44,59	2,79	** 5,60	2,00	2,60
125 - 150	18,94	0,69	20,48	1,18	** 3,56	40,03	2,20	44,73	2,16	** 4,82	2,09	2,84
150 - 200	19,28	0,79	21,06	1,45	** 3,61	39,71	1,49	44,92	2,37	** 6,25	2,08	2,81

Tableau II

Principales caractéristiques statistiques des trois diamètres de la tête et de l'indice largeur/longueur en fonction du poids chez les rats: Témoins et Hydrocéphales.

Etude *in vivo*.



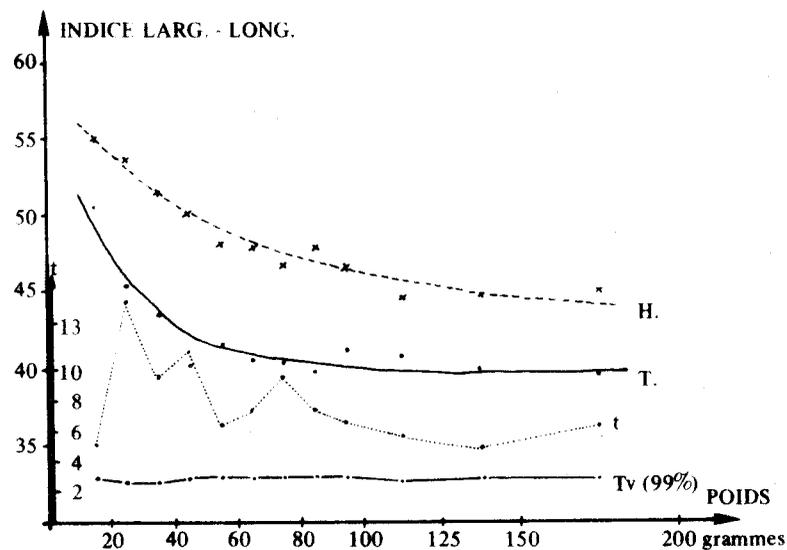
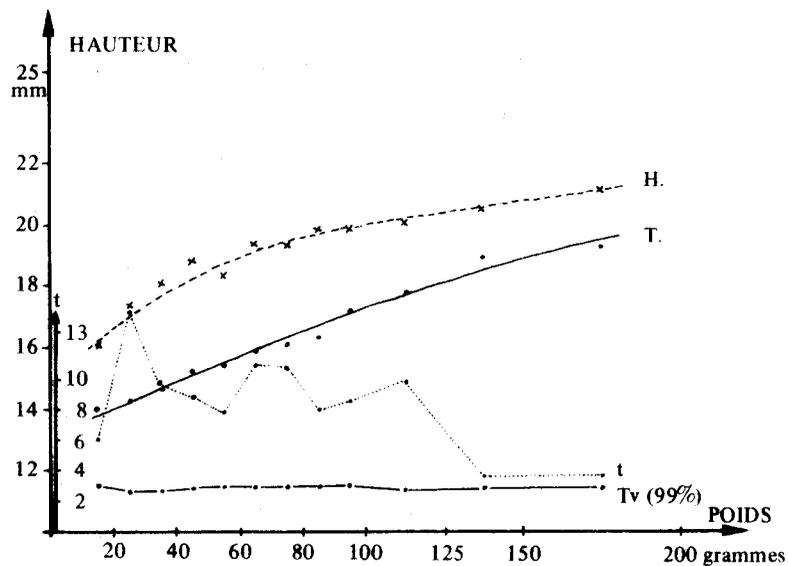
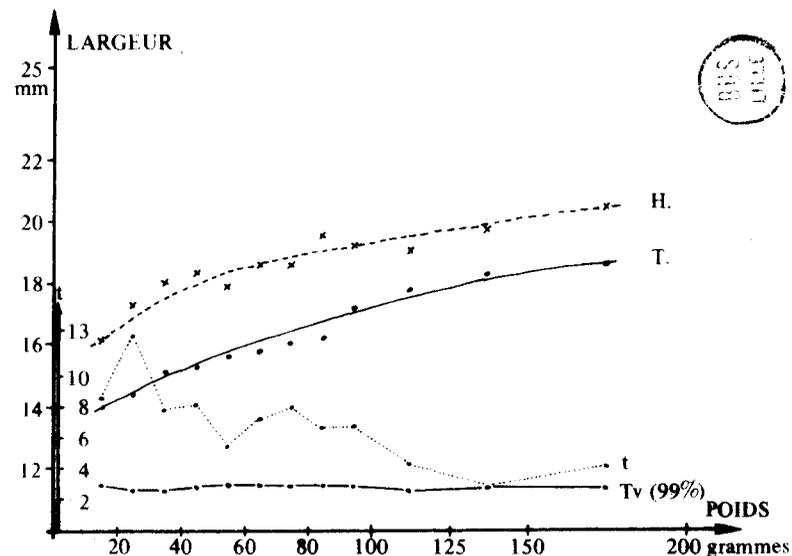
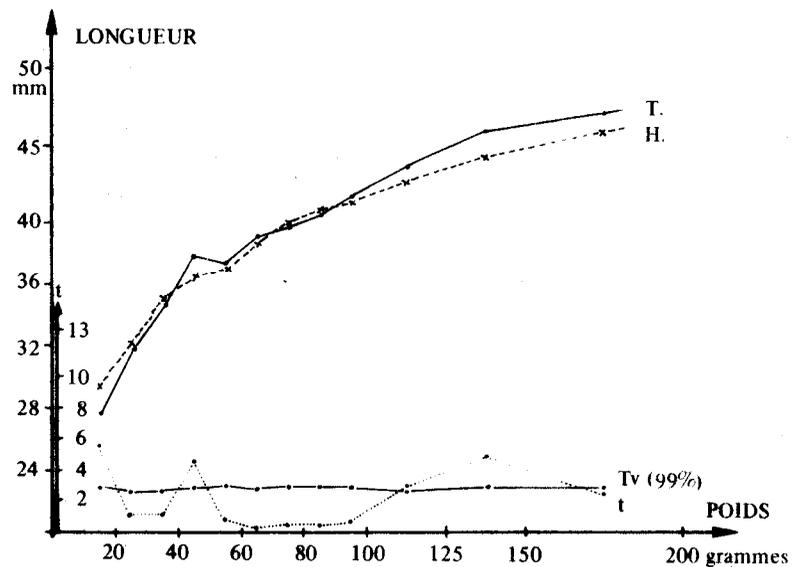


Figure 13

Mesures *in vivo* de la tête chez des rats : hydrocéphales (H.) et témoins (T.).

Les valeurs sont rapportées au poids de l'animal. Aux résultats obtenus pour la longueur, la largeur et la hauteur, sont ajoutés ceux de l'indice céphalique : $\frac{100 l}{L}$.

Les croix (H.) et les points (T.) figurent les moyennes obtenues dans chaque tranche de poids, et une courbe *moyenne* a ensuite été tracée.

Conjointement aux valeurs de "t" de chaque tranche, ont été disposées les valeurs limites "Tv" correspondant au coefficient de sécurité de 99%, pour chaque valeur de "v".

On notera que les différences sont partout significatives, sauf pour la longueur de la tête,

Poids (gr.)	Volume de l'ovoïde céphalique (en mm ³)	
	Témoins	Hydrocéphales
10 - 20	2851	4024
20 - 30	3435	5045
30 - 40	4086	6011
40 - 50	4645	6635
50 - 60	4766	6424
60 - 70	5170	7365
70 - 80	5405	7535
80 - 90	5677	8303
90 - 100	6482	8285
100 - 125	7261	8562
125 - 150	8368	9415
150 - 200	8881	10410

Tableau III

Chiffres obtenus après calcul de l'ellipsoïde céphalique, à partir des trois paramètres moyens mesurés *in vivo*, pour chaque tranche de poids, chez les témoins et chez les hydrocéphales.

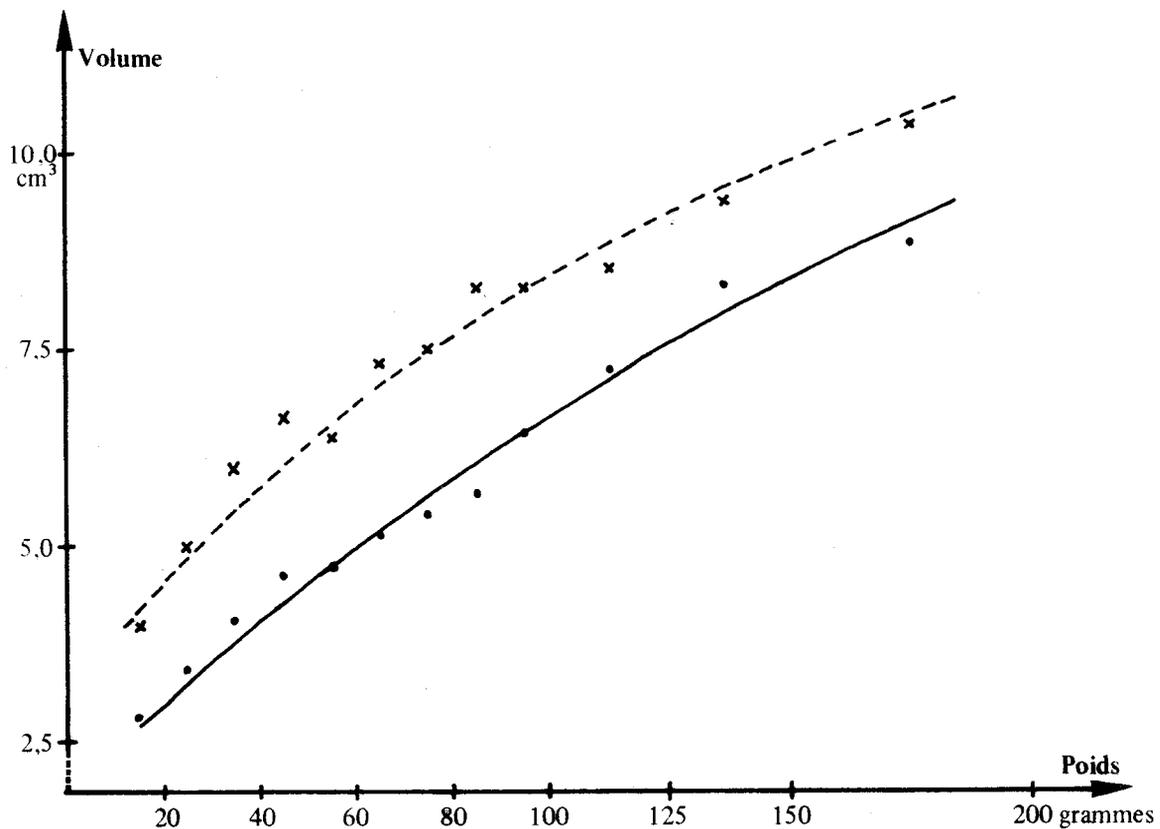


Figure 14

Représentation graphique des résultats précédents.
En traits pleins les témoins (T.), en tirets les hydrocéphales (H.).



quement sans répercussion sur la croissance de la longueur de la tête.

b) *Largeur (figure 13).*

Cette fois, la différence entre les deux courbes moyennes est manifeste (" t " constamment supérieur au seuil) bien que l'écart des moyennes soit moins marqué à partir de 100 g. de poids. Cet écart plus faible s'explique par la diminution progressive du nombre des hydrocéphales dont seuls les moins atteints survivent et par la stabilisation vraisemblable du processus hydrocéphalique chez le plus grand nombre de ceux qui restent en vie.

c) *Hauteur (figure 13).*

Les courbes relatives à ce troisième paramètre doivent être interprétées comme celles établies pour la largeur. La croissance de ces deux paramètres subit, chez les hydrocéphales et par rapport aux témoins, une évolution concomitante au cours du processus pathologique tandis que l'évolution de la longueur en est pratiquement indépendante.

d) *Indice largeur/longueur (figure 13).*

Les courbes correspondant aux valeurs moyennes successives de cet indice viennent confirmer les précédents résultats.

e) *Volume de l'ovoïde céphalique (tableau III et figure 14).*

Il ne s'agit pas du volume exact de la tête totale et encore moins du cubage endocrânien, mais ce paramètre donne une idée de la croissance générale, comparée de l'extrémité céphalique chez les rats témoins et hydrocéphales, le volume de l'ellipsoïde étant constamment plus fort chez les seconds, et la différence entre les moyennes demeurant presque constante.

3. Croissance différentielle de la tête, chez les hydrocéphales.

a) *Répartition en catégories.*

En rapportant chez les seuls hydrocéphales, la hauteur, puis la largeur, à la longueur de la tête, pour chacun des individus étudiés dans le précédent paragraphe, et ceci *aux diverses phases de sa croissance*, nous obtenons deux nuages de points qui s'élargissent à mesure que les paramètres augmentent (*figures 15 et 16*). Le coefficient de corrélation a été calculé pour ces nuages et la bissectrice entre les deux droites de régression a été tracée. On lui a comparé la ligne brisée obtenue, au cours de la croissance, pour chaque individu.

Observant que cette ligne brisée était constamment située en totalité ou en majeure partie d'un côté ou de l'autre de la droite, nous retrouvons la distinction déjà pressentie entre deux catégories de sujets : ceux dont l'hydrocéphalie prend très tôt un développement *rapide* et ceux dont le processus est plus *lent*.

Dans la première catégorie (c'est à dire lorsque la largeur et la hauteur de la tête demeurent plus importantes, par rapport à la longueur, que chez l'ensemble des hydrocéphales, et où la ligne brisée est au-dessus de la droite de régression moyenne) se situent les sujets dont l'issue fatale sera précoce et ceux chez qui, après une phase rapide, le développement se stabilise progressivement : il s'agit des hydrocéphales du type *rapide* et ceux du type *rapide stabilisé*.

A ces cas, s'opposent ceux dont la ligne brisée se trouve sous la droite de régression : ce sont les hydrocéphales à *développement lent*.

Très généralement, ce mode de répartition des sujets traités, en trois catégories, se voit confirmé par les signes morphologiques et physio-pathologiques enregistrés au cours de l'élevage.

b) *Analyse de la croissance de la tête in vivo chez les diverses catégories d'hydrocéphales.*

A partir des critères à la fois biométriques et biologiques qui viennent d'être évoqués, seuls les calculs de moyenne des trois diamètres de la tête (longueur, largeur et hauteur) ont été effectués dans chacune des trois catégories, maintenant déterminées, sur les mêmes effectifs et dans les mêmes limites de poids. Ainsi, pour chaque diamètre, *trois valeurs* seront étudiées et comparées à celles des témoins (*figures 17*).

. Pour la longueur, on remarquera que seul le cas d'hydrocéphalie *rapide non stabilisée* présente des valeurs sensiblement plus fortes. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'il s'agit là d'animaux qui, à poids égal, sont relativement plus âgés, donc à tête plus longue que les autres, vu le plus grand handicap qu'ils ont eu à surmonter au départ. Quant aux animaux des deux autres catégories, il serait utopique de proposer une interprétation quelconque, les différences observées entre ceux-ci et les témoins étant minimales.

. Pour la largeur et surtout pour la hauteur, les représentations graphiques de la *figure 17* permettent d'observer une très nette différenciation de ces trois catégories d'animaux. Elles confirment ce que les études précédentes (étude de la croissance pondérale et observation des signes physio-pathologiques) nous avaient déjà laissé prévoir.



Variations de la hauteur (Figure 15) et de la largeur (Figure 16) de la tête, en fonction de sa longueur, chez 35 rats hydrocéphales répartis sur la même étendue de poids que celle indiquée dans le Tableau III.

Dans chaque cas, construction de la bissectrice entre les droites de régression :

$$X = f(Y) \text{ et } Y = f(X)$$

M. = point central du diagramme avec ses coordonnées A et O.

r = coefficient de corrélation.

θ = angle, en degrés, compris entre la droite de régression moyenne, et l'axe des abscisses après les corrections nécessitées par la différence des échelles employées.

Par rapport aux droites de régression moyennes et à titre d'exemples, on a placé sur chaque figure, les lignes brisées correspondant à la croissance de deux individus: un rat de type *rapide* et un autre de type *lent*.



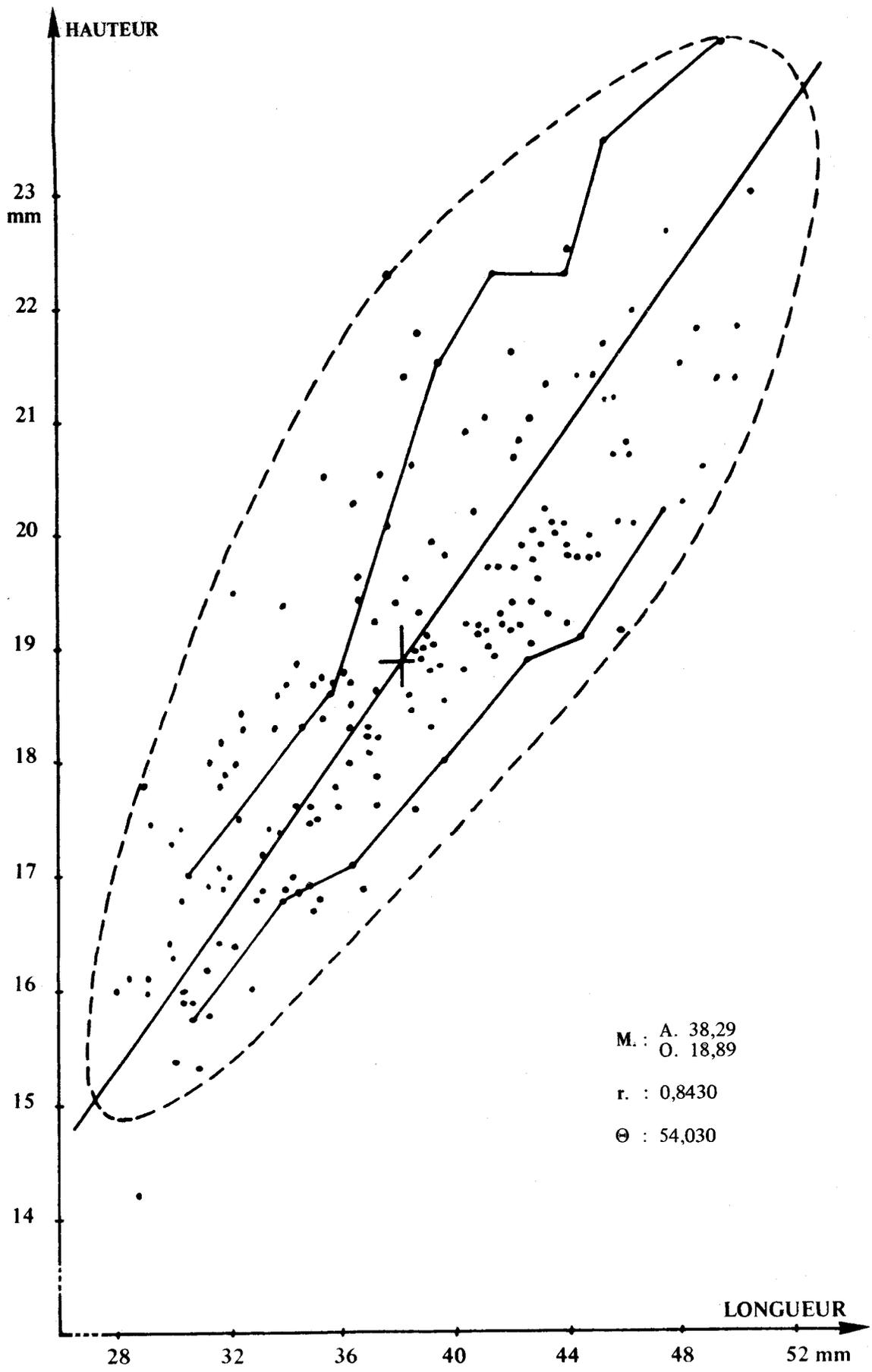


Figure 15

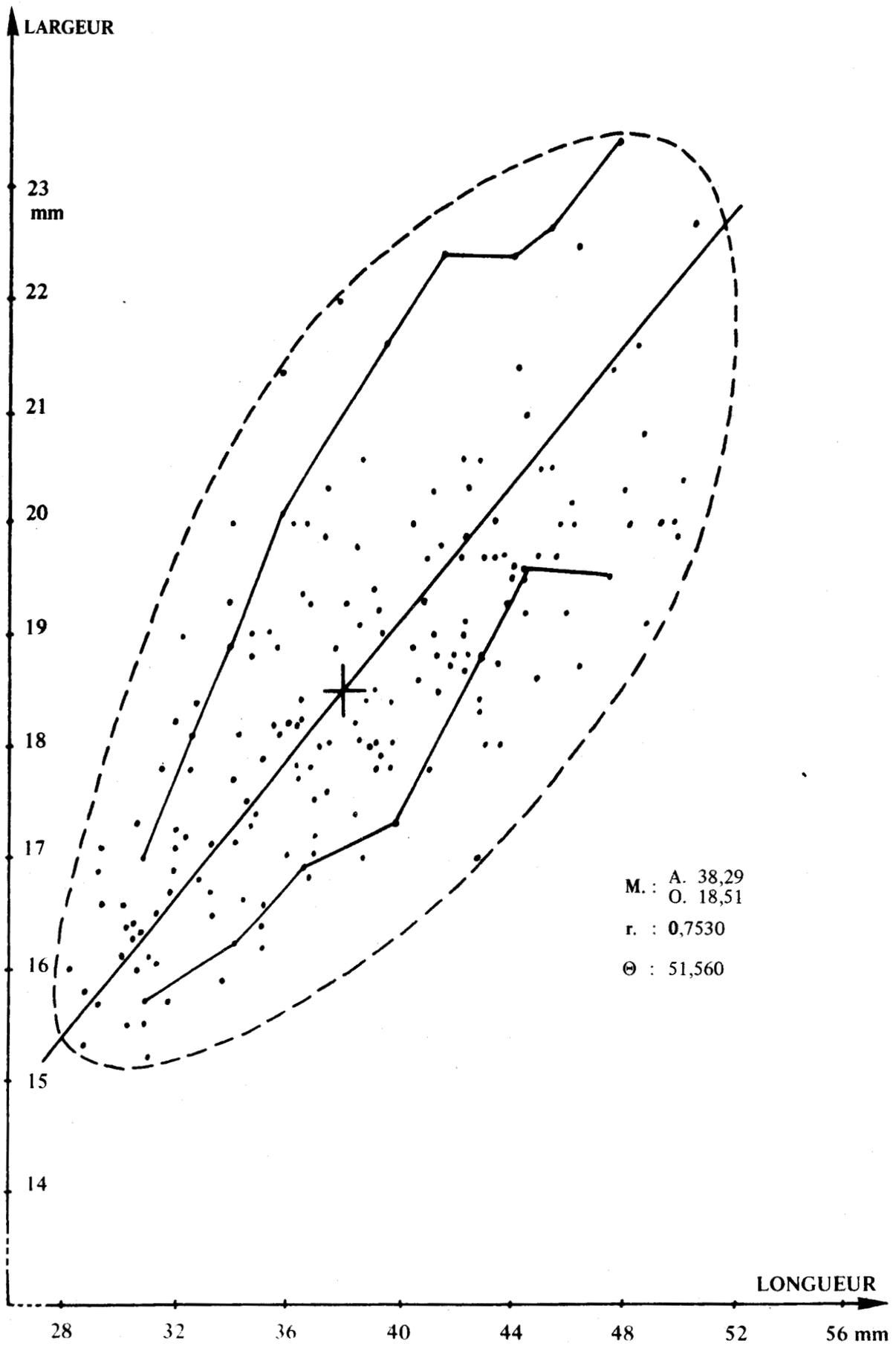


Figure 16



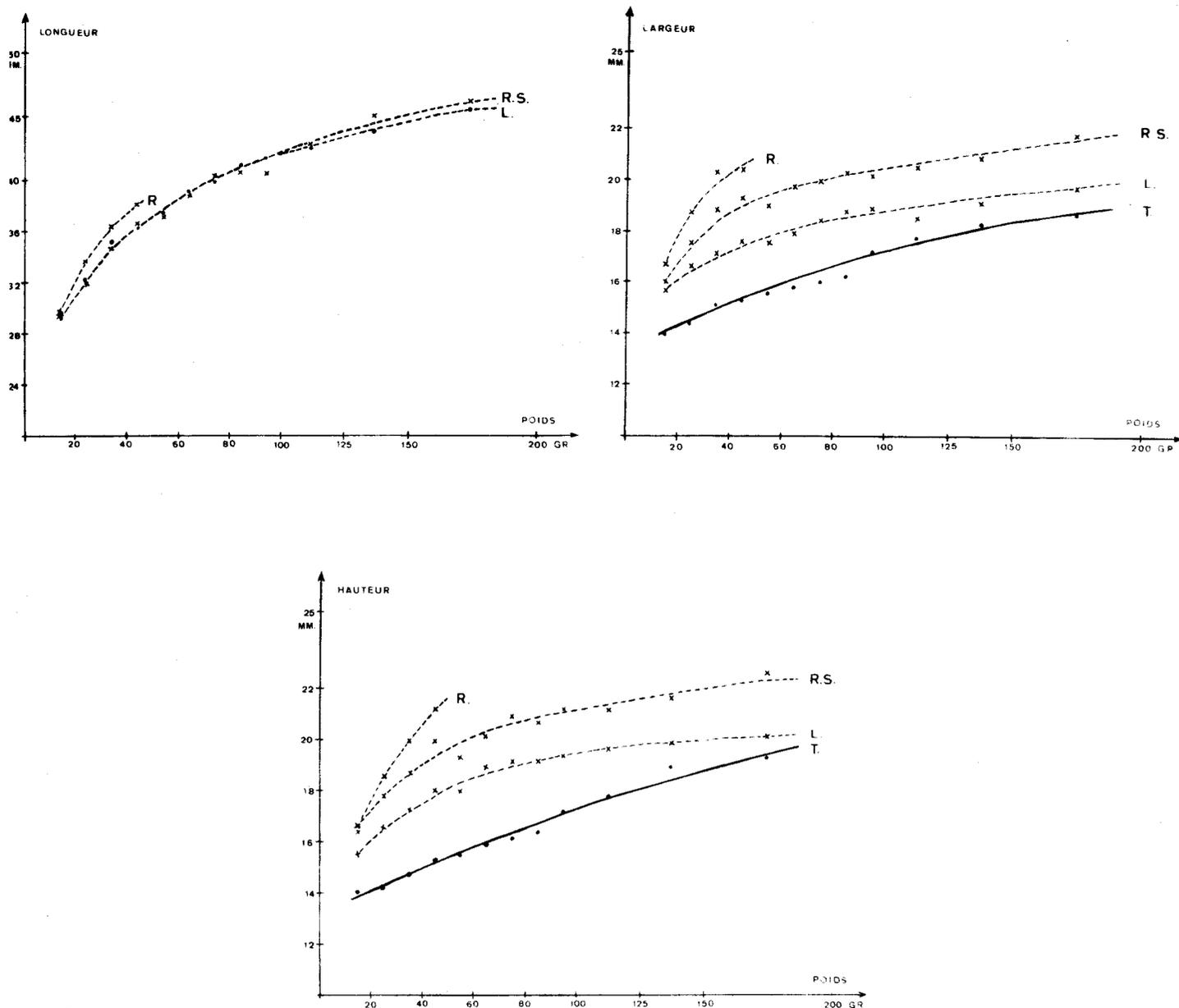


Figure 17

Représentation graphique de la croissance des trois paramètres, étudiée en fonction du poids, pour chaque catégorie de sujets :

- R = hydrocéphalie *rapide non stabilisée*
- R.S. = hydrocéphalie *rapide stabilisée*
- L = hydrocéphalie *lente*.

Pour la largeur et la hauteur : comparaison avec la moyenne des témoins (T.).
 Pour la longueur : les valeurs se rapportant aux témoins étant très proches de celles des hydrocéphales (cf. figure 13) nous avons estimé qu'il était inutile de les faire figurer sur ce graphique.

L'hydrocéphalie retentit essentiellement sur la largeur et sur la hauteur de la tête et très peu sur sa longueur.



DEUXIEME PARTIE

ETUDE BIOMETRIQUE DE L'EXTREMITÉ CEPHALIQUE "POST-MORTEM".

L'observation biologique des élevages et les mesures de la tête effectuées *sur le vivant* nous ont déjà permis de définir une classification des hydrocéphales qui, par certains aspects, peut être parfois artificielle, mais oppose assez bien le processus *rapide* d'évolution avec ou sans stabilisation possible, au processus *lent*. L'étude du crâne sec va nous fournir des moyens d'analyse bien plus précis.

La possession d'un ensemble de 300 sujets hydrocéphales ou présumés tels et des témoins correspondants permet en outre une étude de la croissance de la tête *sur os sec*, cette fois, afin d'en comparer les résultats à ceux obtenus sur le vivant.

CHAPITRE I

MATERIEL D'ETUDE

Un tel programme de travail ne peut être abordé que par une étude statistique menée sur de petites populations homogènes. C'est pourquoi, avant de pénétrer pleinement dans le sujet, et pour permettre au lecteur de percevoir le cheminement que nous avons suivi ainsi que les contingences auxquelles nous étions soumis, il nous a paru indispensable de décrire en un premier temps un certain nombre de manipulations techniques, d'observations, de calculs et de mesures que nous avons réalisés auprès de chaque individu récolté.

Dans cet esprit, nous estimons logique de rapporter les faits dans l'ordre chronologique où ils se sont présentés, cette méthode permettant de décrire à la fois : le matériel d'étude en notre possession à la fin de l'élevage, le mode de sélection des pièces, et enfin la méthode employée et les difficultés rencontrées dans le regroupement de sujets en cours de croissance, tant chez les hydrocéphales que chez les témoins.

A. — RECOLTE DES PIÈCES ET OBSERVATIONS PRELIMINAIRES.

Après mort naturelle ou sacrifice, chaque sujet est numéroté (de 1 à 500 pour les hydrocéphales et à partir de 500 pour les témoins), l'âge et le poids sont alors relevés; puis l'animal délesté de la peau, des muscles de la région cervicale et des principaux viscères de la cavité abdominale, est plongé dans une solution formolée. Ultérieurement, les parties molles étant fixées, l'extrémité céphalique et le tibia gauche sont dégagés des pièces squelettiques voisines au niveau de leurs articulations, puis dépouillés des parties molles périphériques. Chez les sujets adultes, la fixation préalable n'étant pas indispensable pour assurer une bonne conservation, la tête et le tibia sont prélevés sitôt la mort. Par la suite, l'ensemble des pièces est maintenu dans ce même fixateur. Des précautions sont prises au cours des manipulations de courte durée, à l'air libre, pour éviter une dessiccation déformante, source d'erreurs dans les mensurations.

1. Mesure des tibias.

Comme nous le verrons plus loin, le tibia gauche peut être considéré, au même titre que le poids du corps, comme élément de référence pour la croissance somatique globale ; sa longueur (en millimètres) est

mesurée sur téléradiographie, (Cf. Annexe : Matériel d'étude).

2. Section sagittale de la tête et observation du degré de dilatation des ventricules latéraux.

Reprenant une à une les extrémités céphaliques, après en avoir mesuré la largeur maximale (cf. Annexe : glossaire), chacune d'elles est sectionnée sagittalement à l'aide d'une scie circulaire montée sur "pièce à main" (de type dentiste). Une vingtaine de pièces particulièrement démonstratives ont été sauvegardées et non soumises à ce dernier traitement en prévision d'études histologiques ultérieures, de photos, de mises sous résine ou même simplement pour montrer l'aspect global de la tête.

La seule observation du plan de section des hémicrânes démontre le degré de dilatation des ventricules latéraux (lesquels sont intéressés car la coupe dévie toujours légèrement).

Conventionnellement, tenant compte de l'état des cavités cérébrales, nous avons réparti les sujets en 3 catégories. Les deux premières séries comprennent : d'une part les sujets ne présentant pas de dilatation ventriculaire décelable, et d'autre part ceux pour lesquels la dilatation est douteuse. Ces groupes correspondent aux individus ayant présenté un développement normal (échec à l'injection) ou presque normal (par un retour très précoce à cet état). La dernière catégorie comporte les sujets manifestement hydrocéphales qui, de ce fait, sont retenus d'emblée pour la suite des travaux.

A la lumière de ces premières observations sur pièces anatomiques, l'idée force qui se dégage et dont il nous faudra exploiter toutes les composantes dans la suite de l'ouvrage, a trait à l'importante variabilité parmi les pièces ainsi récoltées, portant à la fois sur la taille et sur la forme, et dont certaines composantes sont liées à l'âge donc au degré d'ossification.

3. Troubles de la denture.

Les rats hydrocéphales adultes présentent parfois des troubles pathologiques particuliers au niveau des dents. Ceux-ci semblent être propres à cette seule catégorie de sujets puisqu'ils n'ont pas été retrouvés chez les témoins correspondants. Ainsi, ont été observés, au niveau des incisives, des cas de déviation de la direction de l'axe dentaire, empêchant leur usure normale (*figure 8*) et, au niveau des molaires, des caries à divers stades dont certains proches de la destruction totale de l'organe. On notera enfin chez quelques individus, la présence sur le cliché téléradiographique, d'une densification au niveau de l'extrémité proximale de la racine des incisives supérieures.

Pour tenter d'expliquer ces différentes observations, des examens histologiques, voire même bio-histochimiques, seront nécessaires. Il semble raisonnable de penser que ces signes cliniques sont à rapprocher des troubles trophiques observés au niveau tégumentaire, à moins qu'ils soient la conséquence de modifications salivaires ?

Rappelons aussi que Boris Terk (B. 319) a étudié, à partir de nos populations, le déplacement de l'ensemble du système dentaire dans les axes vestibulaires.

4. Modifications de l'encéphale.

L'étude macroscopique des hémitêtes de rats en expérience, permet d'observer, au niveau de l'encéphale, des zones de "moindre résistance", symétriques par rapport au plan médian et localisées surtout dans les régions frontale, temporale et pariétale ; en ces lieux, et sur les sujets les plus atteints, l'épaisseur du cortex cérébral est extrêmement réduite : de l'ordre du millimètre ou de quelques dixièmes de millimètre (*figure 8*).

Mis à part le relief très apparent que provoquent les noyaux gris de la base, le tronc cérébral paraît peu modifié, tandis que le cervelet est refoulé vers l'arrière. Une dilatation des espaces sous-arachnoïdiens est observée entre les hémisphères cérébraux et les bulbes olfactifs, de même mais avec une moindre fréquence, qu'entre la partie antérieure du cervelet et la région occipitale des hémisphères. On repère enfin, chez quelques sujets, la présence d'hémorragies intra-ventriculaires (causes sans doute de la mort) et, au niveau de la moelle cervicale, des signes manifestes de syringomyélie.

5. Répartition du kaolin.

Dans la première partie de ce travail, nous avons analysé les principaux facteurs intervenant dans la répartition de la suspension de kaolin, après son injection. Les traces de ce kaolin sont nettement visibles surtout chez les jeunes (*figure 8*). Elles sont localisées : contre la base du crâne dans la région occipito-sphénoïdale, dorsalement au cervelet, ainsi qu'au niveau de la région tentoriale ; quelques formations fibreuses adhérentes ont été trouvées à proximité des rochers et à la périphérie du trou occipital. Il est assez remarquable de noter que, dans certains cas où l'hydrocéphalie est très réduite sinon absente (sujets des 2 premières catégories envisagées précédemment), le kaolin s'est généralement condensé à proximité du trou occipital ainsi que sur le cervelet et le bulbe.

Une étude histologique appropriée nous permettra ultérieurement d'approfondir ces problèmes.

Enfin, l'ensemble de nos observations confirme assez bien l'hypothèse étiologique de la production de l'hydrocéphalie, admise par la plupart des auteurs, à savoir un blocage des espaces sous-arachnoïdiens de la base à différents niveaux des voies de confluence vers les sinus veineux.

B. — CRITERES DE DIFFERENCIATION DES HYDROCEPHALES.

1. Utilisation du poids corporel et de la longueur du tibia.

Le principal but de ce travail étant d'établir chez le rat des comparaisons entre sujets normaux et cas pathologiques, et ce à divers stades, il s'est avéré indispensable de choisir le plus judicieusement possible un ou plusieurs paramètres de référence qui soient le reflet fidèle d'une croissance somatique globale.

Il eut été parfois trop inexact de se référer à l'âge puisque le handicap pathologique retarde (très variablement d'ailleurs) la croissance des sujets en expérience par rapport aux témoins. Certes le *poids* du sujet est un paramètre très couramment utilisé et c'est l'un de ceux que nous-même avons retenu ; mais pour en faire

une utilisation correcte "post-mortem", il ne faut retenir (tout au moins chez les hydrocéphales) que la *valeur maximale* enregistrée au cours de la vie de l'individu puisque par ailleurs nous avons observé des phases de stabilisation et des décrochages peu de temps avant la mort (*figures 10 et 11*).

Dans des travaux analogues, certains auteurs retiennent *la longueur du tibia gauche* ; nous avons utilisé également ce paramètre pour compléter et ajuster les données pondérales.

C'est ainsi que, dans le choix des sujets à éliminer et, plus encore, lors de la répartition des sujets en classes, deux éventualités se présentent, compte tenu de la tranche d'âge considérée. Dans la majeure partie des cas (comme cela se passe chez les témoins) les données pondérales sont confirmées par la mesure du tibia ; par contre dans les stades jeunes, il arrive que la croissance pondérale des hydrocéphales retarde sur la croissance osseuse : il s'avère alors indispensable de faire prévaloir la longueur tibiale.

La *figure 18* illustre la correspondance existant, dans nos populations, entre ces deux paramètres de référence (poids du corps et longueur du tibia) et entre chacun d'eux et la longueur maximale du crâne (Rh. — Op.) prise comme exemple de paramètre étudié.

Des calculs statistiques simples (Test "t" de Student) ont été effectués, tranche par tranche, afin de rechercher à l'intérieur de chacune d'elles, la signification d'une éventuelle différence entre témoins et hydrocéphales. A titre d'exemple, le tableau IV nous montre comment évolue le tibia en fonction des tranches de poids, lesquelles sont choisies de plus en plus larges à mesure de la croissance. Ce tableau et la partie inférieure de la *figure 18* démontrent que le décalage dans la croissance s'instaure dans les stades jeunes et qu'ensuite une correspondance très serrée entre les deux paramètres peut être établie. De semblables remarques pourraient aussi être faites à propos de la croissance du Rh. — Op. relativement au poids. Par contre, entre la longueur du crâne et celle du tibia, la correspondance est plus fidèle entre témoins et hydrocéphales puisque le handicap de départ, chez ces derniers, n'intervient pas.

Pratiquement il faut en conclure que si l'on souhaite regrouper les sujets en catégories, une correction du poids tenant compte du retard de croissance doit être faite. Pour un poids donné, le tibia d'un hydrocéphale est plus long que celui d'un témoin, car l'hydrocéphale est plus âgé. En projetant horizontalement le point hydrocéphale sur la courbe des témoins, on peut savoir à quel poids de ceux-ci correspond la longueur tibiale considérée chez l'hydrocéphale et procéder aux corrections nécessaires.



Tranches de Poids (en gr)	Males								Femelles				
	10 - 25	25 - 35	35 - 50	50 - 90	90 - 130	130 - 170	170 - 250	250 - 400	400 - 600	170 - 220	220 - 280	280 - 400	
Témoins	M	19,62	30,37	37,27	74,58	101,57	148,57	199,29	328,44	495,32	210,00	249,08	315,22
	σ	1,11	3,31	2,73	8,42	10,61	10,93	23,82	50,13	47,67	14,73	14,73	26,57
	n	8	8	11	19	7	7	7	9	22	1	12	18
Hydrocéphales	M	17,67	30,46	42,07	61,60	104,60	162,00	216,75	302,17	499,11	195,00	262,00	322,80
	σ	4,57	2,76	3,89	9,97	12,18	12,18	17,43	23,08	66,97	10,33	18,02	20,28
	n	6	13	15	15	5	1	4	6	19	5	6	15
test "t"	1,08	0,06	**3,37	**3,99	0,42			1,16	1,12	0,21		1,53	0,88
Long. du tibia (en mm)													
	Témoins												
	M	14,21	18,88	20,49	25,27	27,77	31,37	33,63	38,87	42,84	34,8	36,67	37,82
σ	0,27	1,64	0,77	1,20	1,13	0,57	1,54	2,04	0,79		1,13	1,19	
n	8	8	11	19	7	7	7	9	22	1	12	18	
Hydrocéphales	M	15,22	20,01	22,34	25,21	28,96	32,8	36,27	38,60	42,22	35,00	36,82	37,11
	σ	2,32	0,93	1,12	1,45	1,25	2,13	2,13	0,97	1,52	0,73	0,68	1,26
	n	6	13	15	15	5	1	4	6	19	5	6	15
test "t"	1,13	1,92	**4,51	0,13	1,57			2,15	0,28	1,63		0,28	1,62
Valeurs limites de t													
	95 %	2,18	2,09	2,06	2,04	2,23		2,26	2,16	2,02		2,12	2,04
	99 %	3,05	2,86	2,80	2,74	3,17		3,25	3,01	2,71		2,92	2,74

Tableau IV

Longueur du tibia en fonction du poids

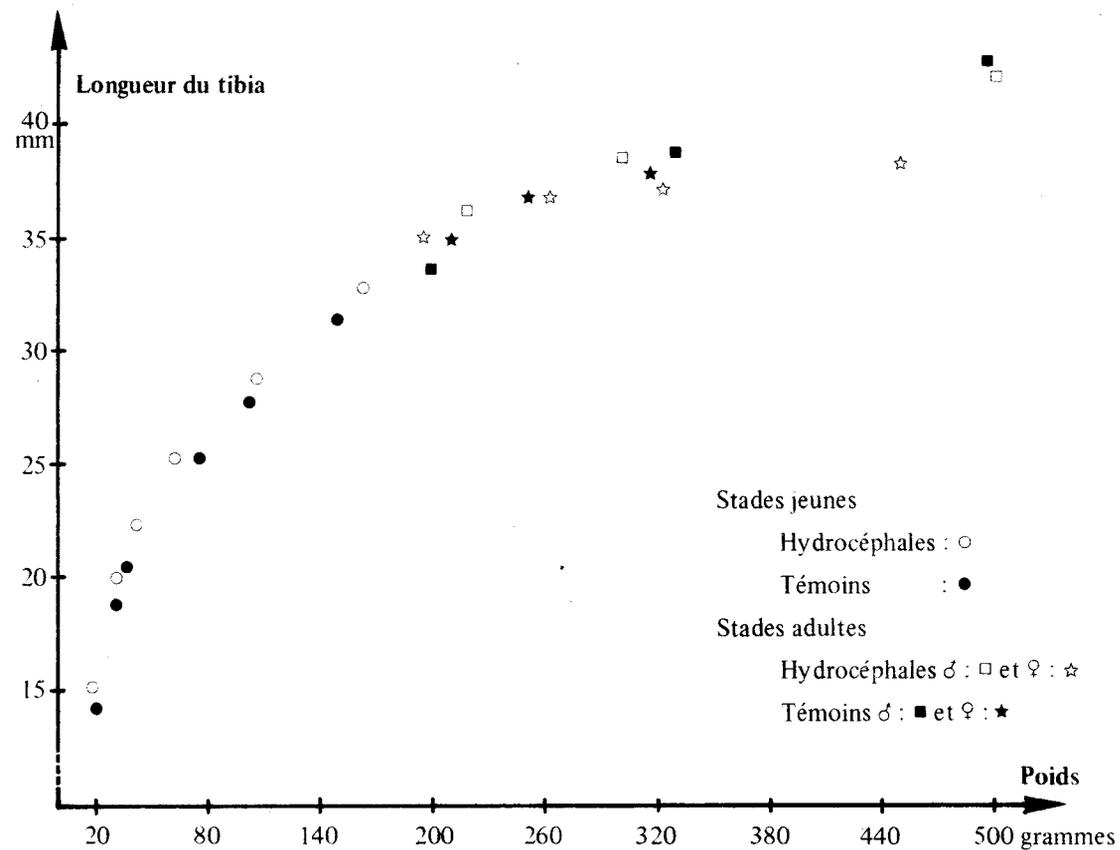
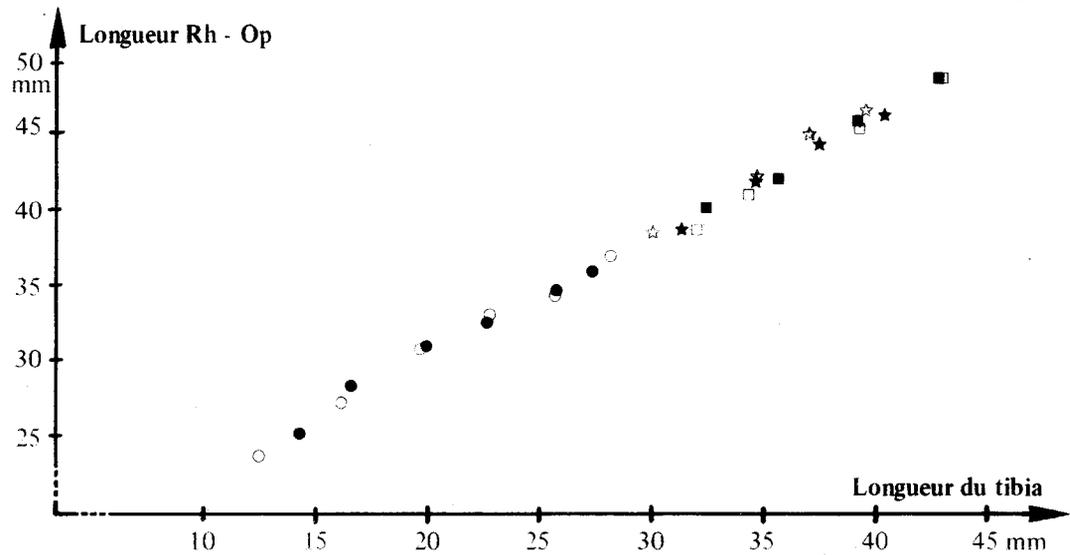
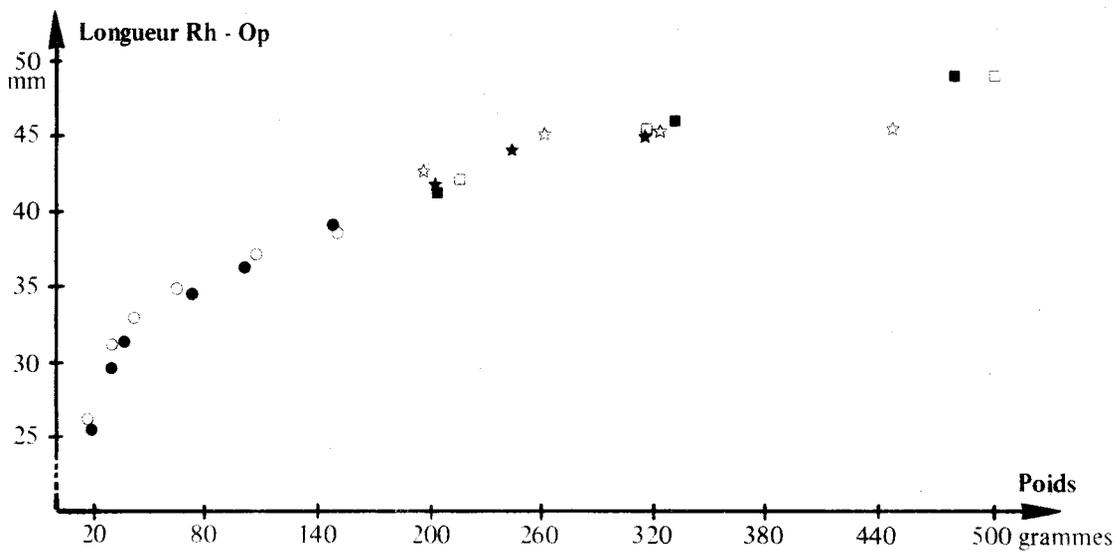
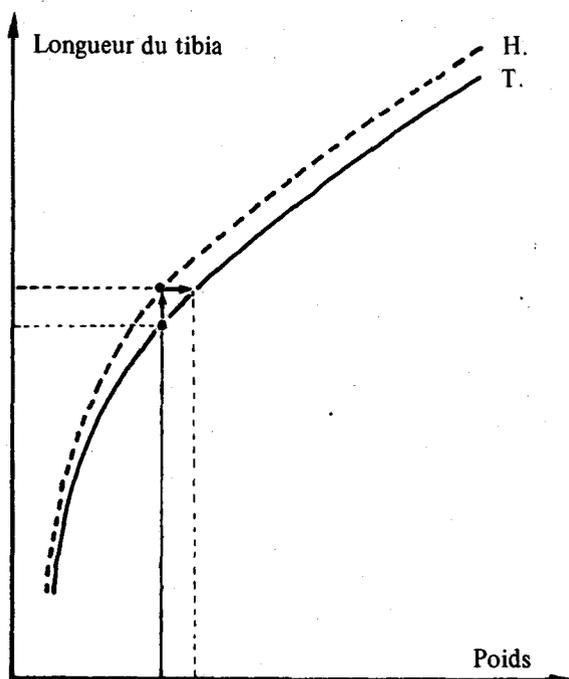


Figure 18

Différents modes de représentation de la croissance somatique.



2. Sélection des pièces.

Outre la recherche d'une correspondance entre les valeurs obtenues sur le vivant (*figure 14*) et celles, plus précises, réalisées sur "crâne sec", le calcul du volume d'un autre ellipsoïde céphalique va nous permettre de sélectionner, parmi les 190 pièces retenues jusque là, celles qui seront soumises par la suite à l'orientation vestibulaire et aux différentes mesures craniométriques.

Appliquant la même formule générale, ce calcul est réalisé pour chaque hydrocéphale en faisant intervenir, cette fois, des paramètres pris sur l'os sec : longueur nasion-opisthion, hauteur maximale endocrânienne au point S (*figure A 1*) et largeur maximale exocrânienne, prise au-dessus de l'implantation temporale du zygoma (sauf dans les cas où la forte sphérisation fait apparaître un euryon vrai).

Sur un même graphique (*figure 19*), chaque valeur individuelle du volume de l'ovoïde céphalique peut être portée (en ordonnée) relativement au poids (en abscisse), tenant compte, si nécessaire, des corrections dues à la longueur tibiale (*figure 18*). Une estimation approximative du degré d'hydrocéphalie est alors visualisée en fonction du stade de développement somatique global. Dans un but de comparaison, on peut superposer à l'ensemble de ces résultats ceux présentés par les témoins.

Pour ce faire, ces derniers ont été regroupés en classes d'âge croissant, en déterminant pour cha-

	Age en jours	Poids en grammes	Longueur tibiale en mm	n	Volume de l'ovoïde cephalique (en mm ³)		
					M	σ	M + 2,6 σ
	10	19,6	14,2	10	1061	47	1183
	14	28,7	18,2	8	1286	48	1411
	23	35,9	20,3	17	1417	61	1575
	30	64,3	23,7	6	1632	73	1823
	35	76,0	25,4	8	1649	40	1753
	41	92,2	27,2	11	1737	68	1914
Mâles	55	183,8	32,6	8	1960	71	2144
	86	254,0	36,7	9	2204	80	2412
	175	381,6	39,8	7	2397	156	2803
	275	438,1	41,3	8	2565	101	2827
	360	474,8	42,6	9	2628	77	2829
	465	470,6	42,9	5	2549	184	3029
	550	501,6	42,8	9	2682	157	3090
Femelles	55	142,1	30,9	7	1844	88	2072
	86	203,1	34,3	9	2042	78	2245
	175	260,0	36,6	7	2178	62	2338
	275	256,6	37,0	9	2098	136	2453
	360	292,6	38,0	5	2193	39	2293
	465	271,0	38,3	7	2139	132	2482
	550	309,3	38,2	8	2357	65	2525

Tableau V

Volume de l'ovoïde céphalique, sur crâne sec
chez les témoins.



Volume de l'ellipsoïde sur crâne sec
cm³

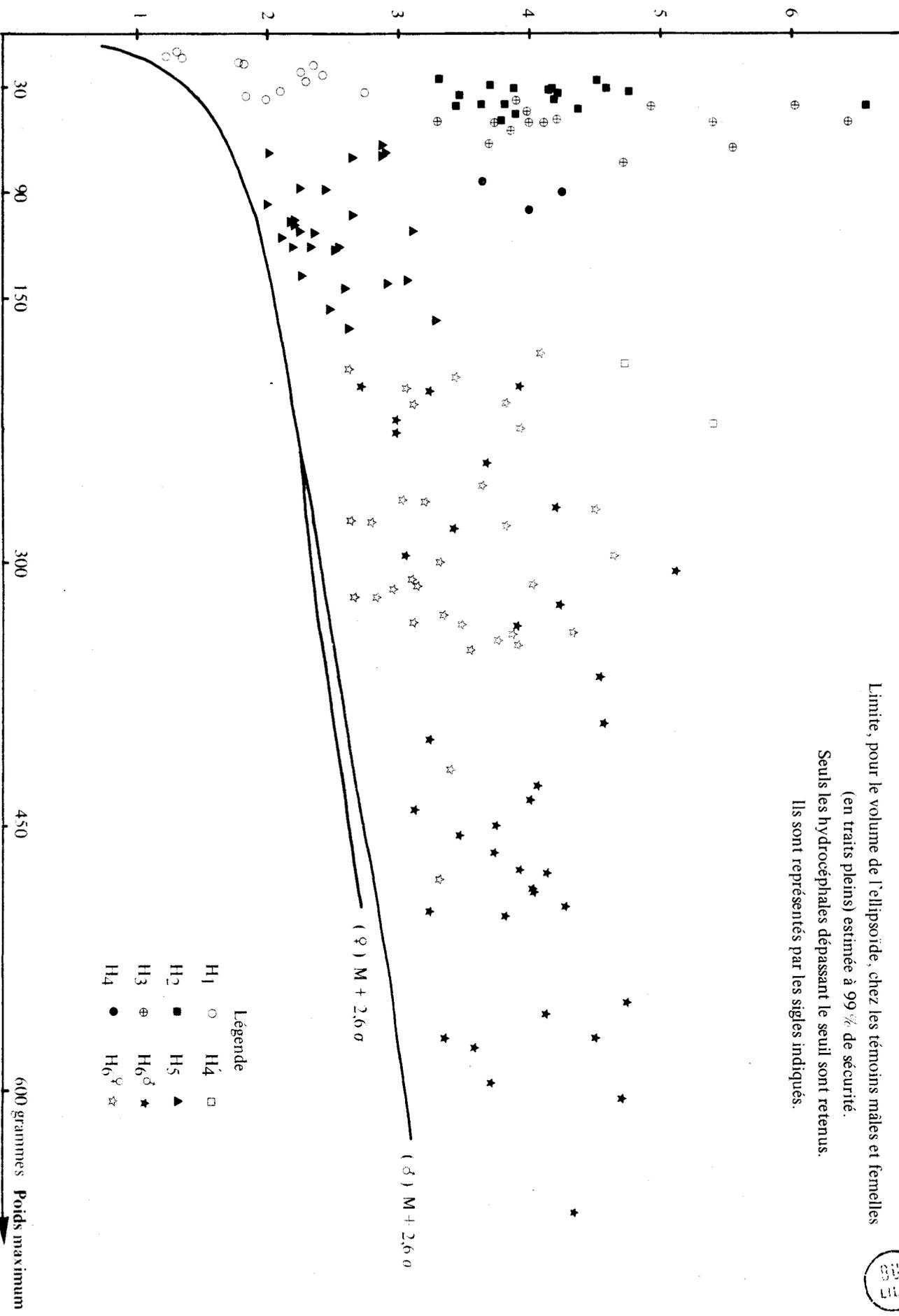


Figure 19
Limite, pour le volume de l'ellipsoïde, chez les témoins mâles et femelles (en traits pleins) estimée à 99% de sécurité. Seuls les hydrocéphales dépassant le seuil sont retenus. Ils sont représentés par les sigles indiqués.



cune d'elles la longueur tibiale moyenne et le poids correspondant (tableau V). La valeur moyenne du volume de l'ovoïde céphalique, l'écart-type, ainsi que la valeur moyenne augmentée de $2,6 \sigma$ (99 % de sécurité) ont été calculés, en distinguant les sexes à partir de 55 jours. En joignant les moyennes des classes successives, quatre courbes (Moyennes et Moyennes + $2,6 \sigma$, pour les mâles et les femelles) peuvent être tracées. On leur compare l'ensemble des points se rapportant aux hydrocéphales.

En fait, seules les deux courbes : $M + 2,6 \sigma$ sont utilisées pour la sélection, et seuls les crânes hydrocéphales disposés au-dessus de la courbe correspondante sont retenus pour les manipulations ultérieures ; ce fut le cas pour 148 sujets, les autres situés en dessous ou à la limite sont délibérément éliminés (*figure 19*).

Ce procédé donne toute garantie de n'utiliser par la suite qu'un matériel d'étude présentant un degré d'hydrocéphalie certain, mais sa très grande sévérité entraîne parfois l'abandon de pièces dont le volume est à la limite mais dont les déformations sont cependant très typiques.

C. – REPARTITION DU MATERIEL D'ETUDE PAR SERIES.

1. Regroupement des Hydrocéphales.

Les différentes valeurs des ellipsoïdes neurocrâniens individuels, représentées sur la *figure 19*, suggèrent l'existence de 8 catégories de sujets (*figure 20*).

a) 13 rats sont morts ou ont été sacrifiés très jeunes (groupe H_1), ils pèsent moins de 40 grammes. La longueur de leur tibia est inférieure ou égale à 21,7 mm et le volume de leur ellipsoïde céphalique ne dépasse guère 3 cm^3 .

b) 38 sujets, de 25 à 100 g. morts d'hydrocéphalie, ont un volume céphalique compris entre 3 cm^3 et 7 cm^3 . Ils forment la classe type du *développement rapide* que nous avons scindée, en fonction du poids et de la longueur du tibia, en trois sous-groupes (H_2 , H_3 et H_4) qui précisent mieux les stades de la croissance, et qui se caractérisent comme suit :

	H_2	H_3	H_4
Poids (en grammes)	25 à 55	55 à 85	85 à 100
Longueur du tibia (en millimètres)	19 à 23	23 à 27	27 à 31
Effectif	18	16	4

Deux sujets, constituant le groupe H₄, n'ont pas été soumis aux divers calculs statistiques bien que les volumes soient tout à fait comparables à ceux du dernier groupe. En effet leur poids sensiblement plus élevé risque de perturber l'homogénéité de la série. On peut considérer ces individus comme des types intermédiaires avec les H₆.

c) Les sujets des deux sexes, de la classe H₅, sont au nombre de 27. Ils pèsent entre 60 et 175 g, leur volume céphalique ne dépasse pas (ou de très peu) 3 cm³. L'ensemble de ces rats témoigne d'une hydrocéphalie relativement plus discrète que celle des cas précédents ; la plupart ont été sacrifiés afin de posséder un groupe de transition avec les catégories suivantes.

d) Deux classes, enfin, ont été constituées à partir de rats pesant au minimum 175 g : les H₆ mâles au nombre de 36 et les H₆ femelles au nombre de 32. Elles regroupent les seuls sujets devenus adultes et ont l'avantage de permettre l'analyse des différences sexuelles qui ne pouvaient être caractérisées avant ce stade. Seuls quelques sujets ont péri en cours d'expérimentation, la grande majorité ayant été sacrifiée à tous âges, et pour certains, à plus de 21 mois.

2. Regroupement des Témoins.

Pour faciliter l'interprétation statistique ultérieure, il est possible, à chacune des classes d'hydrocéphales, de faire correspondre un nombre identique de témoins présentant les mêmes caractéristiques de développement somatique. C'est pourquoi des sujets normaux, de différentes portées, ont été regroupés en s'efforçant de tenir compte au mieux de la répartition correspondante des hydrocéphales, tant pour le poids que pour la longueur du tibia et, accessoirement, l'âge. Chaque classe est désignée par la lettre T suivie d'un indice correspondant à celui des hydrocéphales. Pour établir ces tranches, quelques sujets T₁ ont été repris chez les T₂ et quelques sujets T₃ et T₄ chez les T₅. Ceci tient à ce que chez les hydrocéphales, deux sujets appartenant à une même tranche de poids et de longueur de tibia peuvent présenter un volume céphalique très différent et donc appartenir à l'une ou l'autre de deux classes distinctes ne correspondant en fait qu'à un seul type de témoins (*figure 20*).

En vue de compléter les deux séries ontogéniques (H. et T.), une classe T₀ répondant à un stade néo-natal a été constituée. Il s'agit de 14 sujets nouveau-nés, des deux sexes, prélevés dans différentes portées quelques heures après la naissance. Ils peuvent servir de point de départ vers les différentes évolutions possibles.

Les tableaux 1 à 5 de l'annexe apportent les principaux renseignements sur les individus retenus : y sont inscrits, pour chaque sujet, le numéro d'ordre, le sexe, l'âge au moment de l'expérimentation, la durée de survie, le poids corporel maximal et la longueur du tibia gauche.

Les poids moyens par classe, ainsi que les résultats du test " t " de Student permettant leur comparaison entre sujets traités et sujets normaux, sont reportés dans le tableau VI. Seuls les H₃ présentent un poids significativement plus faible que celui des témoins. Il s'agit là d'un effet consécutif à la correction apportée au facteur poids par la prise en considération prédominante du tibia. Signalons aussi le moindre poids des femelles des deux catégories comparativement aux mâles correspondants.

3. Interprétation.

La répartition des hydrocéphales, d'après le volume d'un ellipsoïde neurocrânien mis en relation avec le poids maximal des sujets, a l'avantage de permettre la répartition de ceux-ci en groupes tout à fait distincts. D'autres enseignements peuvent être tirés de ce mode de présentation, à savoir les tendances ontogéniques propres à l'hydrocéphalie chez le rat ainsi qu'une relation entre celles-ci et la forme du crâne.

a) Tendances ontogéniques (figures 20 et 21).

Partant du groupe néo-natal T_0 , ensemble de départ commun à la fois aux témoins et aux hydrocéphales, la série H_1 représente un "démarrage" dans l'hydrocéphalie. C'est alors que les éléments peuvent évoluer de diverses façons. On trouvera tout d'abord les sujets regroupés en H_2 , H_3 et H_4 , leur processus pathologique est rapide et ne permet aucune tendance à la stabilisation ; la mort est précoce, les plus atteints sont en H_2 . En plus de chacune des trois classes, le groupe (2 + 3 + 4) a fait l'objet de recherches statistiques, qui évoquent les caractères généraux des hydrocéphales *rapides*.

Quelques individus peuvent avoir présenté une affection brutale au début mais qui s'est, par la suite, progressivement stabilisée ; ces sujets, sans doute peu nombreux, sont compris dans les nuages H_6 (mâles et femelles) à la partie haute de ceux-ci puisque nous avons démontré sur le vivant que la croissance de la tête, en valeur absolue, ne diminuait jamais. L'existence du groupuscule H'_4 est en faveur de ce raisonnement, il s'agit de sujets de volume encéphalique semblable à celui des classes H_2 , H_3 et H_4 mais dont le développement somatique est nettement plus marqué.

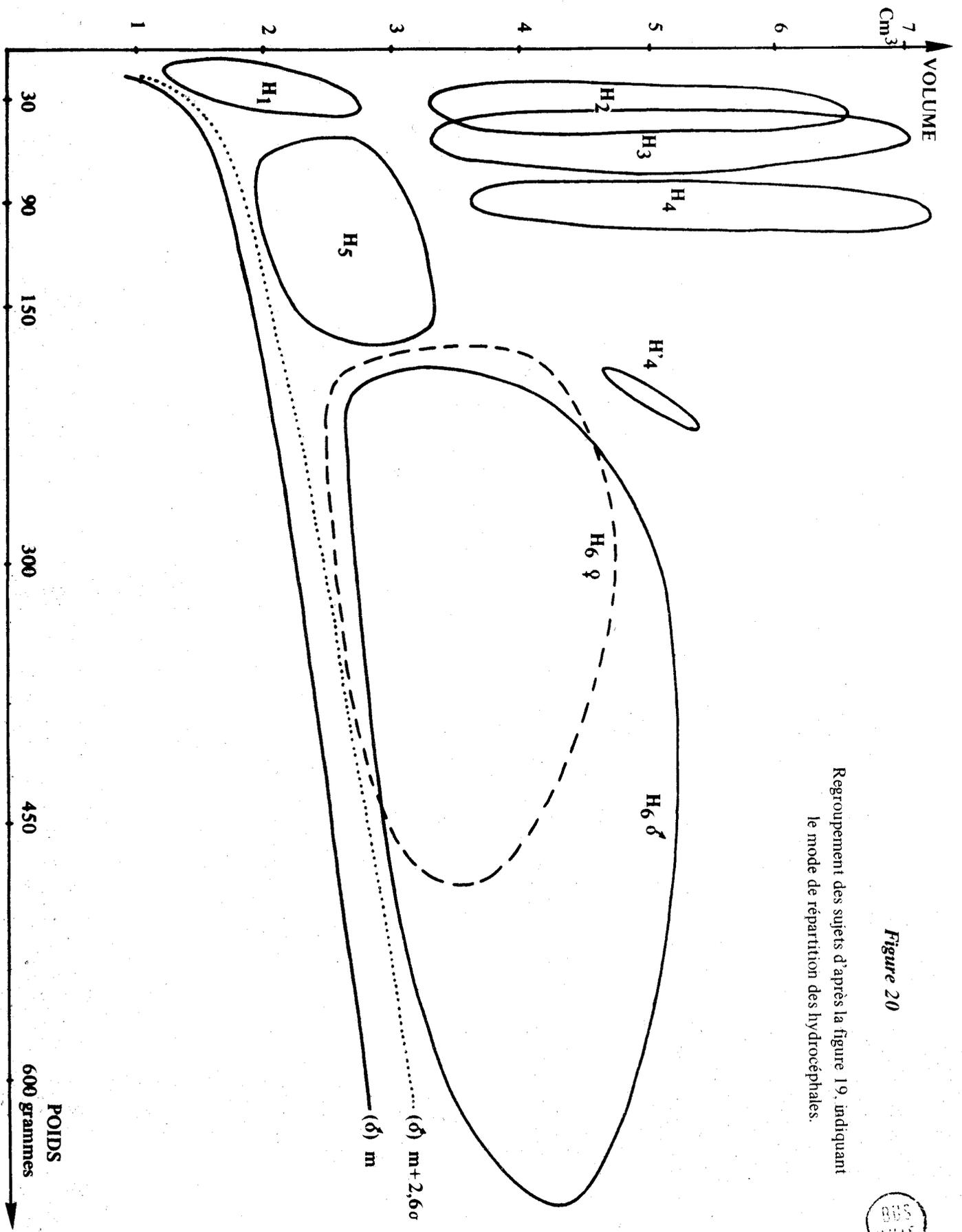
Enfin certains rats du groupe H_1 passent par le stade ontogénique H_5 , pour arriver dans les parties inférieures de l'ensemble H_6 , ils correspondent aux hydrocéphales de type *lent*. Le contour H_6 inclut donc à la fois les sujets ayant subi cette dernière tendance d'évolution ainsi que ceux ayant subi le processus *rapide stabilisé* ; les femelles, de poids moindre, constituent un nuage légèrement décalé vers la gauche par rapport à celui des mâles (figure 20) . Cette évolution générale des types d'hydrocéphalie a été schématisée sur la figure 21 où l'épaisseur des flèches est proportionnelle à la fréquence. On remarquera que chez le rat, l'hydrocéphalie provoquée a deux fois plus de chances environ d'évoluer lentement (ou après stabilisation) que de mener à un processus rapidement mortel, les types intermédiaires restant peu fréquents.

b) Forme du crâne.

Une relation existe entre le type d'évolution de l'affection tel que nous venons de la décrire et la forme générale du crâne, nous y reviendrons longuement pour l'analyse des deux types principaux, mais la loi semble aussi s'appliquer aux types intermédiaires. Sur la figure 21 nous avons ajouté aux principales tendances ontogéniques, le profil crânien correspondant, le plus couramment observé. De haut en bas et de gauche à droite on trouvera tout d'abord le crâne globuleux, type même de l'hydrocéphalie *rapide*, puis la sphéricité regressant il devient pyriforme à grosse extrémité postéro-supérieure. Il s'agit là d'un aspect représenté principalement par le groupe intermédiaire H'_4 . Chez les hydrocéphales adultes, l'évolution se poursuit dans le même sens à savoir que l'on retrouvera partout un compromis à divers degrés entre une voûte incurvée en S (*H. rapide stabilisée*) et une voussure régulière (*H. lente*).

Figure 20

Regroupement des sujets d'après la figure 19, indiquant le mode de répartition des hydrocéphales.



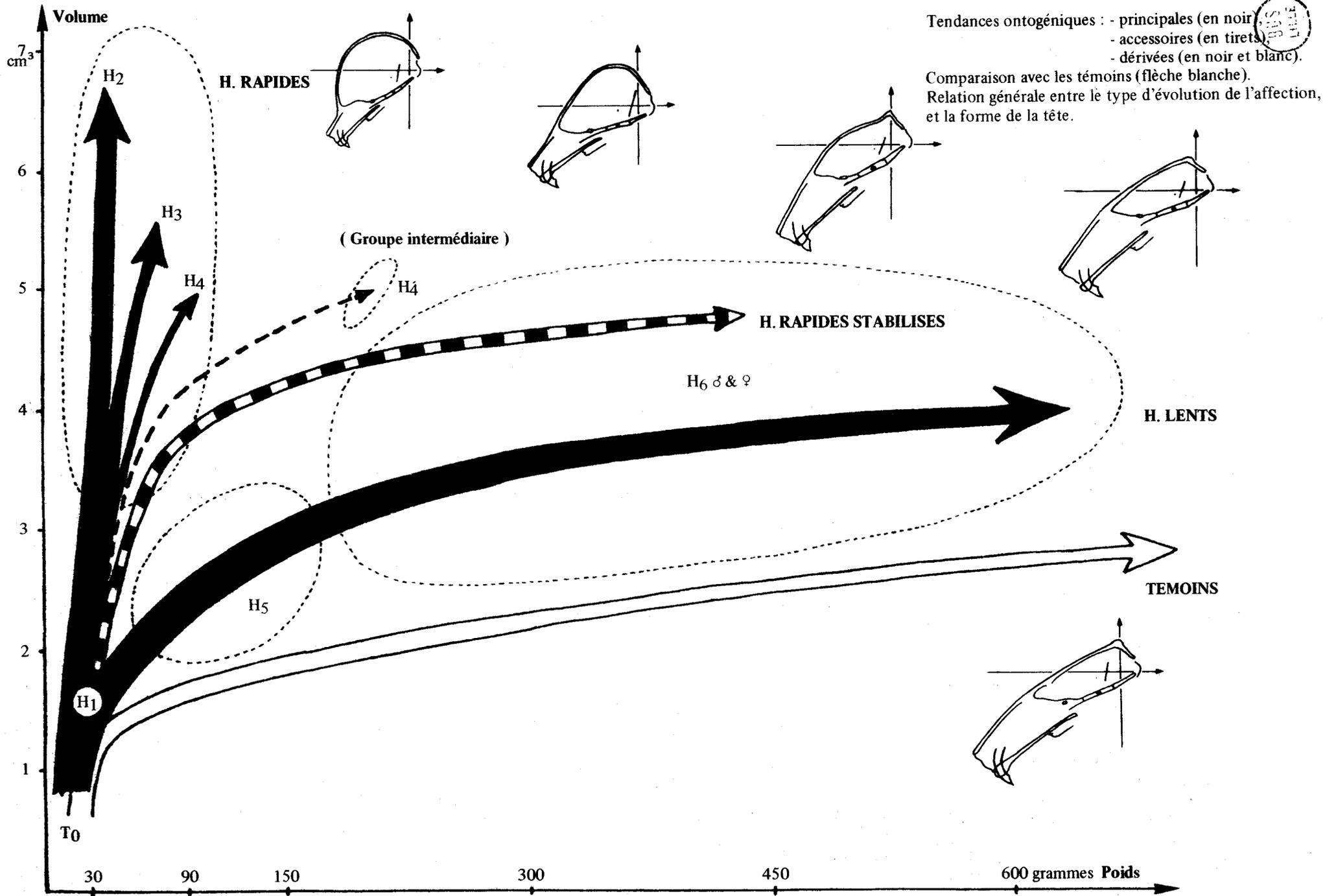
Témoins	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₂ +T ₃ +T ₄	T ₅	T ₆ [♂]	T ₆ [♀]
M	5,8	23,46	35,28	72,37	92,00	56,87	107,81	413,83	287,59
σ		5,58	3,91	7,26	5,61	22,02	36,56	117,42	41,33
n	14	13	18	16	4	38	27	36	32
Hydrocéphales		H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₂ +H ₃ +H ₄	H ₅	H ₆ [♂]	H ₆ [♀]
M		23,23	35,44	51,00	91,50	47,89	111,63	417,69	294,22
σ		8,82	6,57	8,87	5,41	18,28	29,19	130,68	65,06
n		13	18	16	4	38	27	36	32
t		0,08	0,09	**7,22	0,11	1,93	0,42	0,13	0,49
Valeurs limites de t									
95 %		2,06	2,03	2,04	2,45	1,99	2,01	1,99	2,00
99 %		2,80	2,73	2,75	3,71	2,64	2,67	2,65	2,66

Tableau VI

Poids par classe (en grammes)



Figure 21



CHAPITRE II

APPLICATION DE LA METHODE VESTIBULAIRE

Sans vouloir développer les caractéristiques fondamentales de la méthode vestibulaire d'orientation des crânes, quelques rappels concernant les techniques utilisées s'imposent pour bien comprendre la progression de ce travail. L'application de cette méthode à nos populations n'a d'ailleurs pas posé de problème majeur, seules quelques adaptations techniques secondaires ont été nécessaires, compte tenu de la petite taille des pièces.

A. — AXES ET COORDONNEES VESTIBULAIRES.

Le principe de l'orientation vestibulaire est simple ; il s'agit de situer le crâne dans un espace tri-dimensionnel, basé sur la notion d'horizontale physiologique que fournissent les canaux semi-circulaires externes. Chacun sait que les rochers sont creusés de canaux semi-circulaires rattachés à l'oreille interne. Deux de ces canaux, l'un antérieur, l'autre postérieur, sont verticaux et en position orthogonale. Le troisième, seul utilisé dans la méthode, est dénommé par l'un de ses qualificatifs : horizontal, latéral ou externe.

Les trois plans, indépendants des parois crâniennes, se définissent comme suit :

- le plan horizontal vestibulaire est déterminé à partir de la projection sagittale d'un seul canal semi-circulaire (le gauche par convention).
- le plan vertico-frontal vestibulaire passe par le centre de la boucle du canal semi-circulaire de référence, il est perpendiculaire aux plans horizontal et sagittal.
- le plan sagittal médian ou plan de symétrie est le troisième plan de référence ; il correspond "en pratique" à celui de la section de la tête en veillant à ce que le maximum de points impairs soient intéressés. Il faut préciser que lorsqu'on recherche une asymétrie éventuelle du crâne (ce qui n'est pas notre but ici), le seul plan médian à retenir est très exactement perpendiculaire au milieu de l'axe vestibien de Pérez, unissant le centre des canaux semi-circulaires horizontaux droit et gauche.

Trois paramètres suffisent pour définir avec précision tout point de la tête : l'abscisse, l'ordonnée,

ainsi que la demi-largeur séparant les points droit et gauche. En réalité, notre travail se ramène à une étude latérale de crânes projetés sagittalement puisque l'unique mesure transversale que nous ayons relevée (la largeur) est indépendante de toute orientation (cf. Glossaire). De ce fait, seule sera considérée, dans le plan sagittal, la projection des plans horizontal et vertico-frontal définissant deux axes orthogonaux orientés positivement vers le haut et vers l'arrière de la tête.

Le crâne étant regardé par son côté gauche, et les axes vestibulaires permettant la détermination de coordonnées rectangulaires, un point quelconque aura une ordonnée (O) positive lorsqu'il se situera au-dessus de la ligne horizontale, et une abscisse (A) de même signe s'il est trouvé à droite de l'axe vertical c'est à dire vers l'arrière du crâne.

Une étude comparative est rendue possible en disposant les diverses pièces proposées dans un même système orthogonal. On opérera de manière analogue pour une étude de croissance, en choisissant un grandissement commun à toutes les pièces.

Enfin, les axes vestibulaires délimitent quatre quadrants; chacun possède une portion plus ou moins importante du neurocrâne ; le splanchnocrâne se trouvant limité au seul quadrant inféro-antérieur.

Une remarque préliminaire doit encore être faite. quant à l'application de la méthode vestibulaire aux sujets hydrocéphales. Sur quelques pièces appartenant à d'autres espèces que le rat (Homme, veau...) et qui présentaient des signes d'hydrocéphalie "cataclysmiques", les rochers droit et gauche étaient écartés l'un de l'autre, mais surtout avaient subi une bascule latérale, entraînant le plan du canal semi-circulaire externe à regarder en haut et sur le côté. Dans ces conditions, l'orientation vestibulaire peut encore être menée, en choisissant le diamètre antéro-postérieur du canal semi-circulaire externe : la bascule latérale ne s'y fait pas sentir ! Mais, chez le rat, une telle difficulté ne se rencontre pas car, même dans les cas les plus sévères, le plan du canal semi-circulaire externe demeure perpendiculaire au plan sagittal.

B. — PROCÉDES EMPLOYÉS.

La réalisation pratique de l'orientation vestibulaire nécessite un ensemble de procédés répartis en deux temps : d'une part la mise en évidence du canal semi-circulaire externe et d'autre part l'orientation du crâne ainsi que celle du calque téléradiographique.

Deux techniques sont couramment utilisées pour mettre en évidence le canal semi-circulaire externe : la dissection et la radiographie. Toutes les pièces faisant l'objet de cet ouvrage ont subi les deux traitements.

1. Radiographie.

En général, sur les crânes relativement grands et épais d'espèces diverses, la mise en évidence du canal semi-circulaire externe ne peut se faire que par un procédé tomographique. Chez le rat, Mammifère au crâne mince, une téléradiographie à deux mètres de l'hémi-crâne gauche (avec sa mandibule) permet, à elle seule, de visualiser une projection de l'ensemble crânial sans déformation sensible et sur laquelle l'image du canal semi-circulaire externe apparaît souvent de façon suffisamment nette pour qu'un oeil exercé puisse établir directement

l'orientation. Les points craniométriques remarquables ont été préalablement marqués au minium.

2. Dissection.

La dissection est pratiquée par la voie exocrânienne, sous la loupe binoculaire, à l'aide d'une fraise électrique et du scalpel chez les sujets âgés, et du seul scalpel chez les plus jeunes. Pour les pièces trop fragiles, la cavité endocrânienne est préalablement emplie de cire liquide afin de permettre une meilleure dissection dans les courts délais imposés par leur dessèchement progressif.

Le détail du mode opératoire ayant été explicité dans de nombreuses publications du Laboratoire, nous retiendrons simplement que l'essentiel est, dans tous les cas, d'obtenir une vue latérale directe et totale de la boucle du canal semi-circulaire externe du labyrinthe gauche, depuis son ampoule jusqu'à l'endroit où ce canal se laisse enjamber par le canal semi-circulaire postérieur. Une fois le canal dégagé, il est alors ouvert sur toute son étendue ; une figuration en est faite dans la thèse de Doctorat ès Sciences de R. Fenart (B. 104).

3. Orientation.

Grandement facilitée par la section des crânes selon leur plan sagittal, l'orientation est fort simple et se trouve être déterminée par : le plan horizontal passant par les deux extrémités (ampullaire et non ampullaire) du canal externe, et le plan vertico-frontal. Ce dernier lui est perpendiculaire au point médian du segment de droite déterminé par les extrémités du canal.

Pour faciliter les manipulations, il s'est avéré indispensable d'effectuer l'orientation des hémicrânes en les collant, sous la visée, sur une lame de verre de faible épaisseur sur laquelle ont été tracés préalablement des axes orthogonaux. Quant aux téléradios leur orientation est faite directement sur le film.

4. Exécution des tracés.

Eu égard à la petite taille du crâne de rat, les faces endocrânienne et exocrânienne ainsi que les téléradios ont été dessinées après un agrandissement de 3,1 par procédé optique (5,8 pour les T_0). Ces trois dessins sont alors superposés pour en obtenir un quatrième : le profil "synthétique" sur lequel les mensurations sont faites.

L'interférence des deux procédés d'orientation, ainsi que la superposition des profils obtenus par des procédés divers, donnent une idée de l'erreur qui peut être commise, tant dans l'orientation que dans l'établissement du profil orienté final. Cette erreur est très faible et, de toute façon nettement inférieure à la variabilité qui sera calculée plus loin.

C. – PARAMETRES DE BASE.

1. Paramètres choisis.

Le choix des paramètres à prendre sur chaque crâne, a été fait en tenant compte des résultats obtenus jusqu'ici par la méthode vestibulaire, en vue d'analyser : les principales modifications survenues au niveau

du neurocrâne et du splanchnocrâne, leurs interactions, et leurs répercussions au niveau de la colonne cervicale.

Les éléments pris en considération comprennent à la fois des points craniométriques, des paramètres linéaires, des indices et des valeurs angulaires ; leur définition ainsi que la façon de les mesurer peuvent être trouvées dans le glossaire et sur les *figures A1 et A2* de l'annexe.

La longueur antéro-postérieure du crâne est concrétisée par la distance rhinion - opisthion (Rh. - Op.) ; elle est une expression du stade de développement somatique de la tête (cf. *figure 18*).

a) *Le neurocrâne.*

- Son *profil* est repéré à l'aide de quelques points classiques médians, ou latéraux projetés sagittalement ; ce sont :

- . *pour la voûte* : le nasion (Na.), le bregma (Br.), le lambda (L.), l'inion (I.) (seulement chez les adultes).
- . *pour le foramen magnum* : l'opisthion (Op.) et le basion (Ba.).
- . *pour la base* : le point occipito-sphénoïdal (O.S.), le point médian de la selle turcique, pris contre l'os (S.) et la projection sagittale du trou optique (Opt.).

- Son *degré d'expansion* est précisé par la mesure de distances et le calcul d'une capacité :

- . *distances antéro-postérieures* : longueur nasion-opisthion (Na. - Op.), longueur pré-vestibulaire (p.v.) et longueur rétro-vestibulaire (r.v.),
- . *hauteurs* : hauteur sus-vestibulaire (h.s.v.) et hauteur hypo-vestibulaire (h.h.v.), hauteur maximale endocrânienne au point S (h.) et flèche de courbure (f.).
- . *largeur* : largeur maximale exocrânienne (l.). (arcades zygomatiques non comprises).
- . *capacité* : ce terme un peu impropre, recouvre en fait le calcul du volume de l'ellipsoïde céphalique théorique établi d'après la formule déjà utilisée *figures 19, 20 et 21* :

$$\frac{\pi}{6} h l \text{ (Na. Op.)}$$

- Sa *forme* est une conséquence de son expansion, elle est visualisée par le profil ; cependant, des informations chiffrées complémentaires sont apportées par le calcul de quelques indices et la mesure d'angles remarquables :

. *des indices* comparant :

— la portion rétro-vestibulaire à la portion pré-vestibulaire (100 r.v./p.v.),

- la hauteur hypo-vestibulaire à la hauteur sus-vestibulaire (100 h.h.v./h.s.v.),
- la flèche de courbure à la longueur rhinion-opisthion (100 f./Rh. - Op.),
- la hauteur maximale au point S, à la longueur nasion-opisthion (100 h./Na. - Op.).

. des angles fournissant :

- la direction du trou occipital : angle foraminien,
- l'inclinaison de la tente du cervelet : angle tentorial,
- les répercussions du processus pathologique au niveau de la base, dans sa portion antérieure : angle externe de la base, et dans sa portion cérébelleuse : angle occipito-sphénoïdal.

b) *Le splanchnocrâne.*

- Le *profil* du massif facial est précisé par la prise en considération du prosthion (Pr.) et du rhinion (Rh.), tandis que celui de la mandibule fait appel aux points suivants : symphysaire inférieur (S.i.), alvéolaire inférieur (A.i.), condylien (Cond.), gonion (Go.) ainsi que le point molaire (M.) qui est, en projection sagittale, le point situé au bord antérieur de la première molaire sur le plan triturant.

- La *direction masticatrice*, caractérisée par celle du plan palatin, est chiffrée par la mesure de l'angle que ce plan forme avec l'horizontale.

Enfin, l'*angle alvéolaire inférieur - condylien - gonion* explicite les modifications de forme survenues au niveau de la mandibule.

2. Présentation des données.

Le détail de toutes les mesures effectuées chez les témoins et les hydrocéphales en vue d'une comparaison statistique, est exposé dans l'annexe de la thèse. Les coordonnées vestibulaires des points craniométriques peuvent être consultées dans les tableaux 6 à 21 bis tandis que les longueurs, indices, angles et capacités sont retranscrits dans les tableaux 22 à 29 bis. Les individus y sont regroupés par classes, telles qu'elles ont été définies précédemment.

Un préambule succinct précède cette série de données chiffrées afin de préciser les méthodes employées et de notifier les conventions adoptées.

Ayant détaillé l'ensemble des mesures individuelles, nous avons reculé devant la représentation graphique des points craniométriques sous forme de "nuages", ce qui, malgré l'intérêt documentaire qu'ils pouvaient présenter, aurait alourdi sensiblement ce travail ; mais la publication des ellipses équiprobables remplace avantageusement celle des nuages de points (*figures D1 à D8*).

Les histogrammes correspondant au détail des longueurs, indices, angles et capacités ont été figurés, classe par classe, sur les *planches F1 à F21*, accompagnés des valeurs moyennes et des sigmas respectifs. Afin de mieux faire ressortir les différences dans la dispersion des valeurs, les histogrammes des hydrocéphales

ont été, chaque fois, adossés à ceux des témoins correspondants.

D. – TECHNIQUE STATISTIQUE ET RESULTATS.

C'est à partir des données de base dont nous venons de parler qu'ont été effectuées les multiples interventions mathématiques constituant le support de l'analyse que nous nous proposons de faire. Ces calculs ont été rendus possibles par l'usage d'un ordinateur (Monroe 1665 - W_1) programmé par cartes perforées. La plupart des résultats pour chacune des séries sont proposés dans l'annexe de la thèse, après une brève présentation. Toutefois, dans le développement des prochains chapitres, d'autres tableaux sont insérés ; ils correspondent à des calculs particuliers. Les conventions adoptées demeurent identiques à celles utilisées dans l'annexe.

Les calculs statistiques effectués peuvent se répartir en trois séries :

- recherche des caractéristiques des populations, en analysant classe par classe, les hydrocéphales puis les témoins.
- comparaison de populations homologues : hydrocéphales et témoins. A titre complémentaire nous y avons joint quelques études comparatives entre classes et individus de même type (témoin ou hydrocéphale) mais de sexe différent.
- étude de la croissance.

1. Caractéristiques d'une population.

Les résultats présentant les caractéristiques de chaque classe sont disposés :

- . pour les coordonnées vestibulaires, dans les tableaux 30 A à 38 E.
- . pour les longueurs, indices, angles et capacités, dans les tableaux 39 à 47 B.

Pour chacun des 36 paramètres retenus, une première série de données a été établie :

- . la *moyenne* (M) donnant la "tendance centrale" de la classe dont l'effectif est n .
- . l'*écart-type* (σ) exprimant la notion de "dispersion",
- . l'*étendue maximale* théorique de chaque distribution ($M \pm 2,6 \sigma$) de chaque côté de la moyenne.
- . les effectifs de certaines classes étant relativement faibles, l'*intervalle de confiance* ($M \pm T_{SM}$) a été recherché systématiquement, avec 99 % de sécurité. Cette notion présente un intérêt particulier pour le tracé des trajets ontogéniques des points dans le système d'axes vestibulaires ainsi que dans l'interprétation de l'évolution de tout autre paramètre.

Une autre série de calculs propres aux seuls points craniométriques a ensuite été envisagée pour étudier le nuage de points obtenu en plaçant un élément donné de tous les crânes de la classe, dans un même système d'axes.

. le *coefficient de corrélation* (r) entre les abscisses et les ordonnées indique :

- par son *signe*, si la répartition s'étale vers le haut et l'arrière : signe +, ou vers le bas et l'arrière : signe -.
- par sa *valeur*, une idée "approchée" de la forme : le nuage est arrondi si la valeur tend vers 0, au contraire il est allongé si elle tend vers + 1 ou - 1 (voir plus loin).

. les *deux droites de régression* (de X en Y et de Y en X) indiquent également le sens dans lequel s'étire le nuage. Exprimées ici par leur pente, leur signe est le même que celui de r . Ces droites passent par le point moyen, centre du nuage.

. les *ellipses équiprobables* correspondent au tracé, autour du nuage, d'une ellipse épousant sa forme générale, et calculée de sorte que 99 % des points y soient inclus.

Les coordonnées du centre de l'ellipse sont celles du point moyen du nuage.

Sa construction à l'aide de l'ellipsographe de Riefler est possible connaissant les coordonnées vestibulaires des extrémités (e , e' , E , E') de ses deux axes. Les tangentes à l'ellipse ($M \pm \lambda \sigma$) confirment l'exactitude du résultat.

La pente du grand axe de l'ellipse par rapport à l'horizontale (pente de même signe que r) indique la direction dominante de la variabilité de l'ensemble des points du nuage, par rapport aux axes vestibulaires.

Le calcul de la surface S apprécie l'étendue du nuage (en dépit de l'inégale répartition des points !).

La notion de forme enfin, peut être dégagée à la fois du rapport : grand axe (A) sur petit axe (a) et de la valeur du coefficient de corrélation " r ". Ce sont là deux méthodes imparfaites que vient compléter le calcul du *coefficient d'allongement elliptique* " r' " de Fenart. Sa valeur, quelle que soit la direction du grand axe de l'ellipse relativement aux axes de référence, indique, en se reportant à la table des r , si celle-ci est significativement différente d'un cercle (cas d'une répartition au hasard) et, dans cette éventualité, le degré d'allongement de l'ellipse (B. 313).

2. Comparaisons de populations.

Les résultats statistiques correspondant à ce paragraphe sont publiés pour une partie (calculs classiques) dans l'annexe (tableaux 48 à 54), et pour le reste dans la thèse proprement dite, avec leur interprétation.

a) Différences expérimentales.

Un des buts de ce travail étant de comparer les hydrocéphales d'une classe aux témoins de la classe correspondante, nous avons été amené tout d'abord à pratiquer pour *chaque paramètre* des calculs permettant de savoir s'il existait des différences significatives entre les moyennes et entre les variances respectives, pour des sécurités de 95 et 99 % (* et **). De même, une comparaison entre les coefficients de corrélation a été réalisée, avec les mêmes degrés de sécurité (pour les *points craniométriques* seuls).

- La comparaison des moyennes a été calculée à l'aide du test " t " de Student, les valeurs limites étant lues dans une table pour les faibles effectifs.

- Le test " F " permet de comparer les variances : les valeurs frontières sont relevées dans les tables de Snédécour.

Il faut noter que pour les points craniométriques, les tests " t " et " F " ont été recherchés systématiquement à la fois pour les abscisses (A) et les ordonnées (O).

- Les coefficients de corrélation des nuages sont comparés à l'aide du test " Z ", tenant compte des effectifs.

L'application des deux premières techniques, aux points du crâne, a l'inconvénient d'effectuer les comparaisons sur des coordonnées séparées ; pour pallier cette difficulté il est encore possible de rechercher à l'aide du test λ^2 , le "taux d'éloignement" du point moyen hydrocéphale à l'ensemble des sujets du groupe témoin correspondant. Toutefois, cette méthode ne tenant pas compte de la variabilité des hydrocéphales, nous avons en outre, utilisé une autre technique : le calcul et la construction des "droites frontières", basées sur la notion de fonction discriminante. Le pourcentage de sujets "mal classés" c'est à dire chevauchant d'une population sur l'autre, peut ainsi être obtenu.

Si les premiers calculs ont été réalisés pour toutes les catégories de sujets, notre attention s'est ensuite portée essentiellement sur les classes de rats du type *rapide* et du type *lent*, pour les considérations reposant sur la fonction discriminante.

b) *Différences sexuelles.*

Au cours de toutes les manipulations statistiques, à plusieurs reprises des résultats sensiblement différents étant apparus entre les mâles et les femelles, tant chez les hydrocéphales que chez les témoins adultes, nous avons été amené à poursuivre certaines comparaisons relatives au sexe pour l'une et l'autre catégories de sujets. Les tests de comparaison portent essentiellement sur les moyennes, les variances et les coefficients de corrélation ; leurs résultats sont publiés en complément de ceux correspondant aux différences expérimentales.

3. Tests de croissance.

Lorsqu'on envisage le déplacement ontogénique d'un point craniométrique dans le système d'axes de référence, le dessin tient compte, aux différents stades, à la fois des points moyens et de la variabilité autour de ces points. Celle-ci s'objective par l'intervalle de confiance pour les X et les Y, aboutissant à de petits quadrilatères centrés sur le point moyen. Ceux-ci permettent de "lisser", avec une certaine approximation, la ligne brisée normalement obtenue par raccordement des points moyens.

Deux précisions complémentaires sont fournies par les statistiques :

- Le test " F " de croissance qui, par l'analyse de la variance de chaque coordonnée, recherche une éventuelle homogénéité des résultats, ce qui se traduirait par un trajet ontogénique parallèle à l'un des deux

axes de référence. Dans le cas contraire, il s'agit d'une courbe possédant une certaine "pente" par rapport à ces axes.

- Le test de linéarité qui indique si le trajet ontogénique peut être assimilé ou non à une droite.

On remarquera que l'analyse de la variance peut s'appliquer non seulement aux deux coordonnées des points craniométriques, mais aussi à tout autre paramètre.

4. Iconographie.

La plupart des résultats statistiques peuvent être rendus plus parlants par une iconographie adéquate qui en rend l'interprétation plus aisée.

a) *Types moyens.*

A partir des tableaux de chiffres on peut établir, pour chaque série ontogénique, un "type moyen" basé sur la connaissance de la situation vestibulaire de tous les points qui ont fait l'objet de recherches statistiques.

Les points étant mis en place, dans un système d'axes orthogonaux, il faut bâtir sur ce canevas un crâne moyen avec ses principales caractéristiques (contours, sutures etc...) (*figures C1 à C8*). Pour ce faire, par tâtonnement, on recherche dans la série, le crâne qui ressemble le plus à celui que l'on veut construire. Pour donner cette forme générale, plusieurs profils sont parfois utiles, l'un pouvant être plus ressemblant pour le neurocrâne et tel autre pour la face. Puis le résultat obtenu est corrigé tenant compte des critères linéaires et angulaires moyens délivrés par les calculs.

Il est évident que la validité d'un profil moyen est liée à l'effectif et à l'homogénéité qui existe dans la classe considérée ; le profil d'une classe aux sujets nombreux a toute chance d'être plus fidèle que celui d'une classe restreinte.

En possession de ce document, plusieurs applications sont dès lors possibles :

- Le profil moyen rend apparent l'ensemble des résultats statistiques d'une classe donnée et facilite leur interprétation.
- Ce profil peut être superposé, dans un même système d'axes, à celui d'une autre classe et par là il complète les données chiffrées des comparaisons (entre témoins et hydrocéphales, ou entre mâles et femelles).
- Enfin, la superposition de l'ensemble des profils d'une même série ontogénique, fait apparaître l'évolution de chaque paramètre ainsi que celle de tout ou partie du crâne.

b) *Variation.*

Dans une classe donnée, le degré de variation de tout paramètre est un critère important de fiabilité de la valeur moyenne retenue.

Les intervalles de confiance précisent cette notion et facilitent la construction du tracé ontogénique de chaque paramètre. Leur représentation graphique est publiée dans les *figures E1 à E3*, pour les points craniométriques, et dans les *figures 47 à 51* pour les autres paramètres (où 2 petites flèches les limitent).

La représentation des ellipses équiprobables (*figures D1 à D8*) concernant les points du crâne visualise les notions d'étendue, en précisant les limites ainsi que la direction principale de la variation.

D'autres schémas dérivés des résultats statistiques seront proposés au fil du texte ; ils reprennent tout ou partie de ceux que nous venons de citer et précisent par leur présentation originale l'un ou l'autre élément, par trop réduit, du schéma de base.

CHAPITRE III

TYPES MOYENS

L'étude de la moyenne, pour chaque paramètre pris en considération, chez les témoins et chez les hydrocéphales, et le résultat du test " t " de Student nous fournissent les principaux éléments statistiques permettant les comparaisons entre les types moyens. Nous sommes aidé en cela par la superposition, dans le même système d'axes, des profils moyens hydrocéphales et témoins qui explicitent les résultats.

Pour chaque région principale du crâne, nous retiendrons les notions de *position* et de *forme* tout d'abord chez les *rapides* (classes 2, 3 et 4), puis chez les *lents* (classes 6) et enfin dans les divers stades transitoires (classes 0, 1, 5) en faisant référence, à chaque fois, aux témoins correspondants.

A. – GROUPES RAPIDES.

Ils sont représentés dans les *figures 22B, 23 et 24A*, et leurs caractéristiques sont définies dans les tableaux 32A à 35E.

Ce sont les classes 2, 3 et 4 qui démontrent le mieux les modifications morphologiques propres à ce type d'évolution. En considérant le regroupement : 2 + 3 + 4, les caractéristiques générales des hydrocéphales *rapides* sont particulièrement démonstratives ; ces notions globales seront ensuite complétées par l'étude séparée de ces trois classes.

1. Comparaison entre : $H_2 + H_3 + H_4$ et $T_2 + T_3 + T_4$ (*figures C5 et 24 A*).

a) *Le neurocrâne.*

- La capacité absolue du neurocrâne, mesurée par l'ovoïde céphalique, est près de trois fois supérieure à celle des témoins ; tous les points ont subi un déplacement centrifuge différentiel par rapport au centre des axes.

- Les points de la voûte ont migré, par rapport à ceux des témoins, par un mouvement comprenant des composantes horizontale et verticale. Le nasion, le pré-vestibion et le bregma avancent très nettement, de même que le lambda, mais à un moindre degré, tandis que l'opisthion et même le rétro-vestibion reculent. Dans le même temps, le bregma et le lambda s'élèvent fortement tandis que le nasion et l'opisthion s'abaissent.

- La "sphérisation" est encore soulignée par le fait que la zone iniaque de l'hydrocéphale ne se distingue absolument pas des régions voisines, et par l'observation de chiffres élevés pour des paramètres tels que: hauteur, flèche de courbure, hauteur sus-vestibulaire et largeur maximale exocrânienne ; ces valeurs sont au moins une fois et demi plus grandes que celles des témoins. La seule longueur neurocrânienne retenue (distance Na-Op.), est accrue tandis que la longueur totale du crâne (distance Rh. - Op.) demeure identique.

- L'ensemble de ces considérations et particulièrement la position des points moyens dans les axes démontrent, pour le neurocrâne, une expansion rayonnante de la voûte avec son maximum dans la région pariétale.

- La base du crâne est comprimée (son épaisseur est moindre), et un abaissement différentiel, selon les points, est observé. La région ethmo-sphénoïdale s'abaisse presque parallèlement à elle-même. Le recul du point optique et celui du point S témoignent de l'amplification de la région de l'ethmoïde qui, en s'abaissant, s'est allongée et incurvée. De même, la zone basi-occipitale s'abaisse, mais en tournant, le point O.S. ayant évolué plus vite que le basion qui subit un léger mouvement vers le bas et l'arrière ; de ce fait l'angle occipito-sphénoïdal s'est refermé. L'angle externe de la base s'accroît.

Les mouvements relatifs du basion et de l'opisthion impriment au plan foraminien un mouvement de bascule vers l'arrière, de 7 degrés et demi. Le bord tentorial se redresse (d'environ 5 degrés et demi), sans doute par pression accrue sur son extrémité basse ?

- Les valeurs présentées par les différents indices corroborent les précédentes observations.

. L'indice antéro-postérieur indique une nette avancée du frontal contre un faible recul de l'occipital.

. L'indice entre les hauteurs hypo-vestibulaire et sus-vestibulaire est plus faible chez les témoins ; ceci démontre que si l'augmentation de la cavité endocrânienne se fait à la fois vers le haut et vers le bas, c'est la première tendance qui l'emporte, car elle n'est pas gênée par la face.

. L'indice comparant la hauteur globale à la longueur du neurocrâne est très nettement supérieur chez l'hydrocéphale, ce qui prouve que l'augmentation des diamètres porte surtout sur la hauteur, et à un moindre degré sur la longueur du neurocrâne.

b) *Le splanchnocrâne.*

Sous l'effet des poussées exercées par le contenu endocrânien et par rapport aux témoins, le splanchnocrâne de l'hydrocéphale s'abaisse et subit une rotation différentielle vers le bas et l'arrière (sens anti-horaire).

Au niveau du massif facial, le prosthion et le rhinion glissent vers le bas et l'arrière, tandis que l'angle palatin s'ouvre de 5,6 degrés. Parallèlement au changement de position de toute cette région, interviennent des

modifications de forme et de volume. A peu de distance du nasion et sous lui, apparaît une brisure, en véritable "coup de hache", entre le neuro et le splanchnocrâne ; d'autre part, les limites supérieure et inférieure de la face (Rh. - Na. et plan palatin) peu convergentes en avant, chez le témoin, le sont nettement chez l'hydrocéphale. L'augmentation volumétrique du neurocrâne se fait donc au détriment de la face qui modifie : sa position dans les axes, sa forme et aussi son volume.

La mandibule subit le mouvement imprimé par les structures auxquelles elle se rattache ; tous les points mandibulaires marquent un recul sensible, ainsi qu'un abaissement (non significatif cependant, pour le point symphysaire et le gonion). La projection du point condylien dans le plan sagittal marque un glissement de ce point vers le bas et l'arrière, entraîné qu'il est par l'évolution neurocrânienne. On notera cependant que l'angle : alvéolaire inférieur - condylien - gonion ne varie pas en dépit du recul de ses deux extrémités et de l'abaissement du condyle, mais ses deux branches apparaissent plus courtes chez les hydrocéphales.

Pour conclure, il semble donc que dans les cas d'hydrocéphalie *rapide*, l'expansion rayonnante de la cavité endocrânienne s'exprime avant tout dans la région de la voûte pré-vestibulaire qui se dilate librement, tandis que la base s'abaisse tout en se modifiant ; en contre partie, le splanchnocrâne devient plus pointu, diminue de volume en subissant une rotation vers le bas et vers l'arrière.

Ces différentes observations sont valables pour l'ensemble des trois classes regroupées ; l'analyse séparée de chacune d'elles permet la mise en évidence de certaines tendances qui leur sont propres.

2. Evolution des classes 2, 3 et 4.

Morts très jeunes pour avoir subi un processus hydrocéphalique exagéré, les rats de la classe H₂ présentent les signes typiques du développement *rapide* (*figure 22 B*). Ces caractères sont presque toujours retrouvés chez les H₃ (*figure 23 A*), sujets dont la croissance somatique s'est poursuivie conjointement aux poussées endocrâniennes, jusqu'à une phase de déséquilibre incompatible avec la survie. Les quelques sujets H₄ (*figure 23 B*) démontrent que la stabilisation et la survie sont possibles. La comparaison de ces trois séries de pièces permet d'apprécier une certaine évolution, de la classe H₂ à la classe H₄ (*figures C2 à C4*).

a) Le neurocrâne.

Bien que le nombre restreint des sujets qui constituent le groupe H₄ nous oblige à une certaine circonspection, il apparaît que le profil neurocrânien des H₄ est moins globuleux que celui des H₂ et des H₃ ; son aspect pyriforme à gros bout postérieur est typique de ce stade. La capacité moyenne de l'ovoïde céphalique H₄, bien que supérieure en valeur absolue à celle des H₃, apparaît plus faible lorsqu'on la rapporte aux témoins : deux fois et demi celle des témoins au lieu de trois fois pour les H₂ et H₃.

Par rapport aux H₂, l'expansion morphologique de la voûte du neurocrâne se transforme légèrement chez les H₃ et plus nettement chez les H₄ ; elle devient presque exclusivement pariétale dans la classe 4 impliquant alors au lambda, un mouvement d'ascension verticale, alors que dans les classes 2 et 3 il y avait aussi une participation occipitale et surtout frontale.

Le comportement de l'arrière-crâne est aussi fort instructif :

- l'opisthion recule mais son abaissement n'est significatif dans aucune classe prise séparément.
- le test " t " indique un recul du basion chez les H₂ et son abaissement chez les H₃.
- considérant l'angle foraminien, la différence des valeurs entre témoins et hydrocéphales augmente de la série 2 (5° 7) à la série 4 (environ 10°) accentuant ainsi la rotation positive. Pendant le même temps l'écart enregistré au niveau de l'angle tentorial diminue (6° pour H₂ et 4° pour H₄).

Chez les H₂ et les H₃, les points S. et O.S. s'abaissent tout en reculant ; le point optique des H₃ suit ce même mouvement tandis que celui des H₂ s'abaisse mais ne recule pas.

L'ouverture de l'angle externe de la base est significative chez les H₂ et les H₃ tandis que l'angle occipito-phénoïdal de chacune des classes marque seulement une tendance à la fermeture.

Comparativement aux témoins, le profil ethmoïdal endocrânien est plus abaissé chez les H₂ que dans les deux autres classes ; il témoigne des forces exercées sur cette région.

Les indices explicitent quelques-unes des précédentes observations, à savoir :

- une expansion maximale de la région frontale chez les plus jeunes sujets ,
- une voûte moins incurvée, un affaissement de la base moins intense et une portion rétro-vestibulaire plus reculée, dans l'ordre de la numérotation (2, 3, 4).

b) *Le splanchnocrâne.*

Parmi ces trois classes, c'est chez les H₂ que le profil du massif facial est le plus effilé et le plus réduit dans son volume ; de plus la direction très plongeante qui caractérise la face de ce groupe remonte quelque peu dans les groupes suivants. Considérant le bord supérieur du profil H₄, ce dernier diffère sensiblement de celui des sujets plus atteints ; bien que décalé vers le bas, il se situe très exactement dans le prolongement de la voûte antérieure du neurocrâne, la brisure sous le nasion n'existant plus.

On notera aussi l'évolution de la direction du plan palatin, limite inférieure de la face. Elle diffère de son homologue, chez les témoins, par un supplément d'ouverture de 7° 2 chez les H₂ et de 4 à 5° chez les H₃ et H₄.

Nous savons que la mandibule n'est pas atteinte dans sa forme, l'angle alvéolaire inférieur - condylien - gonion étant toujours très peu différent de celui des témoins ; toutefois le mouvement du massif facial, à la fois vers le bas et l'arrière, se répercute chez les H₂. Seul le mouvement horizontal persiste chez les H₃, tandis que chez les H₄ les points les plus antérieurs de la mandibule présentent un mouvement vertical.

Ainsi, l'évolution rencontrée entre ces trois séries de sujets, au niveau du neurocrâne, est vivement ressentie par le splanchnocrâne tant au niveau du massif facial qui change de forme et de position qu'à celui de la mandibule qui se déplace différemment suivant la classe considérée.

B. — GROUPES LENTS.

L'interprétation des tableaux (37 A à 38 E et 46 A à 47 B) ainsi que l'examen des figures (25 A et B) où sont superposés, dans les axes vestibulaires, les profils moyens des hydrocéphales et ceux des témoins correspondants, permettent de faire quelques remarques très suggestives sur le retentissement du processus hydrocéphalique *lent* sur le neurocrâne et le splanchnocrâne. Les sexes ont été pris, cette fois, en considération.

1. Hydrocéphalie lente chez les mâles (figures C7 et 25 A).

La capacité crânienne est nettement plus grande que celle des témoins (environ une fois et demi). Cet accroissement dépend de la destinée propre à chacun des éléments anatomiques du neurocrâne.

La position des points moyens du neurocrâne montre que tous ceux-ci sont plus écartés du centre des axes, chez les hydrocéphales, que chez les témoins. Partant du nasion demeuré pratiquement inchangé, la voûte du crâne est légèrement incurvée dans la région fronto-pariétale, et même jusqu'à l'inion. Cette transformation a pour conséquences l'avancée du pré-vestibion et, à un moindre degré, celle du bregma. Par contre, le lambda et l'inion reculent. Pendant ce temps, ces trois derniers points se sont écartés de l'axe horizontal. Le degré de voussure est souligné par les valeurs que présentent les paramètres linéaires autres que les longueurs antéro-postérieures (qui demeurent constantes), ainsi que par les indices qui en découlent. C'est le cas, en particulier, de l'indice comparant la hauteur hypo-vestibulaire à la hauteur sus-vestibulaire ; il démontre que le mouvement se fait à la fois vers le haut et vers le bas (bien qu'à un moindre degré) mais de manière assez équilibrée. L'indice rapportant le crâne postérieur au crâne antérieur prouve l'avancée du pré-vestibion contrastant avec une immobilité du rétro-vestibion.

L'opisthion et le basion accusent tous deux un mouvement de recul, à la différence de la région moyenne de la base qui effectue ce même mouvement tout en s'abaissant. Le point optique présente lui aussi cette tendance qui n'est cependant pas significative. Les profils superposés démontrent enfin l'avancée et l'abaissement de la région ethmoïdale chez les hydrocéphales.

L'angle foraminien est peu différent de celui des témoins (environ 1°) ; par contre l'angle occipito-sphénoïdal ainsi que l'angle externe de la base se referment. Cette évolution s'explique par le mouvement vertical de la base, très important pour le point O.S., un peu moins pour la selle turcique (S.) et par le recul du basion parallèlement à l'axe horizontal.

L'angle tentorial plus faible laisse supposer que les pressions endocrâniennes s'exercent surtout sur la partie supérieure du bord du rocher.

La position du splanchnocrâne montre un abaissement faible et l'amorce d'une très légère rotation vers l'arrière, comme l'indique la position des points : prosthion, rhinion, alvéolaire inférieur et symphysaire inférieur. Ce mouvement se répercute sur les autres points mandibulaires où il est cependant moins ressenti.

L'angle palatin, à peine plus fort que celui des témoins, modifie légèrement sa direction tandis que l'angle alvéolaire inférieur - condylien - gonion demeure identique.

Au niveau du nasion, on ne retrouve pas trace de la brisure très marquée, observée chez les hydrocéphales *rapides*. Simplement décalé par rapport à celui des témoins, le massif facial maintient une forme et un volume assez comparables à ceux des témoins.

2. Hydrocéphalie lente chez les femelles (figures C8 et 25 B).

La plupart des paramètres étudiés évoluent, comparativement aux témoins, dans le même sens que ce qui vient d'être décrit pour les mâles. On notera simplement, au niveau de la base, que le mouvement de recul ne s'observe plus pour aucun point, seul est maintenu le mouvement d'abaissement, y compris au niveau du basion. D'autre part, l'angle foraminien présente une inclinaison plus forte de 4° . Quant au splanchnocrâne, il est pratiquement superposé à celui du témoin dans la région du massif facial. On notera toutefois quelques modifications secondaires au niveau de la mandibule : recul accompagné d'ascension du point condylien et réduction de trois degrés de l'angle alvéolaire inférieur - condylien - gonion.

3. Différences sexuelles (figure 26).

a) Chez les témoins (figure 26 B).

Il apparaît que le profil moyen mâle déborde partout le profil moyen femelle. Les paramètres linéaires, généralement plus faibles chez la femelle, retentissent au niveau du neurocrâne sur la valeur moyenne de la capacité crânienne, laquelle est inférieure, de 250 mm^3 environ, à celle du mâle.

La voûte du neurocrâne femelle est moins avancée dans sa région antérieure et moins haute dans sa région iniaque que celle des mâles. De même le sexe mâle montre une plus grande extension antéro-postérieure de la base de chaque côté du point O.S.

Les indices, peu différents, démontrent que les disparités de taille n'ont guère eu de répercussions sur les proportions. Seul le rapport comparant la hauteur à la longueur Na-Op diffère sensiblement ; en effet, le neurocrâne du mâle est relativement plus long que celui de la femelle, cette différence étant moins marquée pour la hauteur.

Les angles montrent, dans leur ensemble, peu de différences entre les sexes ; toutefois, comme cela se remarque dans toute la série mammalienne à l'exclusion de l'espèce humaine (la seule présentant une rotation ontogénique "positive"), l'angle foraminien est plus faible chez les femelles (ici de 2° environ).

Au niveau du splanchnocrâne, du fait que les mâles ont poursuivi plus longtemps que les femelles leur croissance somatique, on observe que le profil moyen de ces dernières est contenu dans le profil mâle, tant pour le massif facial que pour la mandibule, bien que les formes et les principales directions soient respectées.

b) Chez les hydrocéphales (figure 26 A).

Le processus pathologique accroît la différence de capacité (400 mm^3). Soumises à des poussées de même intensité probable, les régions moyennes de la voûte et de la base évoluent de façon presque identique

dans les deux sexes.

Chez les mâles, l'opisthion et le point optique sont plus éloignés de l'axe horizontal. La position de ce dernier point témoigne d'une expansion plus grande de l'endocrâne dans la région ethmoïdale, allant de pair avec le plus grand développement du massif facial.

Tous les paramètres linéaires qui caractérisent le neurocrâne (hormis la largeur) ainsi que les indices qui en découlent, subissent une évolution, par rapport aux témoins, identique dans les deux sexes. Il en est de même pour les valeurs angulaires, excepté l'angle foraminien qui se maintient plus refermé de 6° environ chez les femelles. Au niveau du splanchnocrâne, les massifs faciaux des deux sexes se superposent à la manière de ce qui a été décrit chez les témoins, tandis que les mandibules accentuent leur écartement réciproque dans le sens vertical.

4. Conclusion.

L'étude de l'extrémité céphalique d'hydrocéphales adultes, des deux sexes, comparée à celle des témoins, démontre que malgré une augmentation sensible de la capacité endocrânienne, un certain nombre de paramètres demeurent constants tandis que d'autres sont modifiés.

- Chez les mâles, l'angle foraminien *conserve une valeur tout à fait comparable à celle des témoins*. Quant aux femelles, il semblerait (comme on le confirmera plus loin), que la faible différence observée pourrait être due à une fixation d'un stade ontogénique plus infantile, liée à une puberté plus précoce.

- L'angle occipito-sphénoïdal se ferme.

- Le splanchnocrâne ne subit pas de modification notable quant à la forme du massif facial ; de même la direction masticatrice maintient son angulation par rapport aux axes de référence.

C. — STADES TRANSITOIRES.

1. Classe T₀ (figure C1).

L'intérêt que présente la connaissance du type moyen d'une classe constituée uniquement de nouveau-nés, réside dans le fait que ce groupe de départ est une référence pour l'analyse de toute évolution, normale ou pathologique.

La position des points ne mérite pas de longs commentaires. Rappelons cependant que le crâne du nouveau-né se caractérise par des proportions relatives et une morphologie de certains éléments anatomiques qui diffèrent sensiblement de ceux des autres groupes.

Comparée aux stades témoins plus âgés (comme le démontrent à la fois le profil moyen et la valeur des indices), la voûte du neurocrâne est très nettement incurvée ; de même, on observe que la portion rétro-vestibulaire par rapport à la portion pré-vestibulaire est relativement importante. La hauteur est plus proche de son maximum que ne l'est la largeur et, à fortiori, la longueur.

Par contre, les valeurs angulaires enregistrées au niveau de la base indiquent que celle-ci présente une surface plus plane et plus horizontale qu'elle ne le sera par la suite.

Au niveau de l'arrière-crâne, le bord tentorial de l'os pétreux est très redressé, tandis que la valeur de l'angle foraminien se situe entre celle des classes $T_2 + T_3 + T_4$ et celle des T_5 , après avoir régressé chez les T_1 (cf. figure 50).

Le volume du massif facial est réduit par rapport à celui du neurocrâne ; il présente une direction palatine plus horizontalisée que dans les stades suivants, tandis que l'angle alvéolaire inférieur-condylien-gonion est plus ouvert.

2. Classes $H_1 - T_1$ (figures C1 et 22 A).

L'étude de ces deux classes présente un double intérêt : d'une part en permettant chez les témoins la considération de stades relativement jeunes, au cours desquels la croissance est très rapide et, d'autre part, en montrant chez les hydrocéphales le départ commun vers les deux types possibles d'hydrocéphalie.

Dès ce stade, et comparativement aux témoins, tous les points du neurocrâne hydrocéphale sont plus écartés du centre des axes. Ceci est confirmé par la valeur de la capacité moyenne qui représente environ une fois et demi celle des témoins, et par la position vestibulaire des points. Le bregma et le lambda décrivent un mouvement d'ascension tandis que l'inion ne se discerne plus des régions voisines.

Les nasions sont ici confondus, et le "décrochage" du profil est décelable au niveau du pré-vestibion. Les paramètres évaluant l'intensité de courbure de la voûte sont significatifs. La mesure de la largeur indique que cette expansion se fait aussi transversalement.

L'avancée du pré-vestibion s'accompagne d'un faible recul du rétro-vestibion, ce qui se traduit par un indice antéro-postérieur assez comparable à celui des témoins.

Comme dans le type *rapide*, la base du crâne s'abaisse et tourne vers l'arrière ; le point occipito-sphénoïdal évolue plus rapidement vers le bas que le basion qui ne présente qu'un mouvement de recul. De même, l'angle occipito-sphénoïdal se ferme (de près de 4°), tandis que l'angle externe de la base s'ouvre légèrement.

La région anté-hypophysaire, avec le point optique, s'abaisse tout en demeurant parallèle au profil qu'elle dessine chez les témoins. Ce mouvement amorce la progression de la portion ethmo-sphénoïdale aux dépens du splanchnocrâne.

Les modifications de la voûte et celles de la base du neurocrâne sont confirmées par les indices comparant la portion hypo-vestibulaire à la portion sus-vestibulaire. On notera simplement que, compte tenu du synchronisme entre les changements de la voûte et ceux de la base, la valeur de l'indice demeure comparable à celle des témoins.

L'angle tentorial, à peine plus fort que celui des témoins, laisse prévoir dès ce stade que le bord de

l'os pétreux sera fort sensible aux poussées exercées par les hémisphères cérébraux sur sa partie inférieure. Le plan foraminien ne fait que reculer, sans que l'angle foraminien change significativement de valeur.

Le massif facial ressent peu les répercussions consécutives à l'expansion endocrânienne. Les profils légèrement décalés laissent présager seulement une tendance à la rotation vers le bas et vers l'arrière, mais sans déformation particulière ni réduction sensible de volume.

C'est au niveau de la mandibule que le mouvement amorcé par le massif facial se répercute le plus. Les points symphysaire inférieur, molaire et gonion reculent tandis que le mouvement vertical n'est pas significatif. Le point condylien, au contraire, se caractérise par un mouvement à composantes bidirectionnelles, lié sans aucun doute à l'évolution neurocrânienne. La valeur de l'angle ayant ce point pour centre demeure cependant constante, ce qui prouve que la mandibule change de position mais non de forme.

Pour conclure, on peut dire que cette confrontation $H_1 - T_1$ démontre que l'hydrocéphalie provoquée est déjà *tout à fait typique dès ce stade*, tout en étant assez modérée relativement aux groupes suivants.

Les longueurs Rh. - Op. et Na. - Op. sont peu influencées par le processus pathologique. L'expansion endocrânienne se réalise de façon harmonieuse vers le haut, vers le bas, vers l'avant et, à un moindre degré, vers l'arrière. La direction du plan foraminien est encore peu modifiée, de même que celle du massif facial.

Ce stade laisse prévoir des transformations plus ou moins accusées, de part et d'autre du nasion, et il semble bien que cette région joue un rôle de pivot autour duquel évoluent le neurocrâne et le splanchnocrâne.

3. Classes $H_5 - T_5$ (figures C6 et 24 B).

Avec l'étude statistique d'un groupe de sujets sacrifiés en pleine croissance et présentant un degré modéré d'hydrocéphalie, les principaux critères de l'hydrocéphalie *lente* apparaissent clairement.

Le volume crânien représentant environ une fois et demi celui des témoins, on s'aperçoit que cet accroissement n'est pas dû à des différences dans la longueur antéro-postérieure du crâne, mais plutôt à l'accroissement des mesures verticales et transversales du neurocrâne, comme cela se passe ailleurs. La voûte est nettement incurvée, surtout à partir du nasion, ce qui fait avancer le pré-vestibion. De plus, l'arrière-crâne et la portion occipito-sphénoïdale de la base reculent sans s'abaisser. Ceci explique que les comparaisons faisant intervenir l'indice rapportant la portion rétro-vestibulaire à la portion pré-vestibulaire ne soient pas significatives.

Le profil ethmoïdal endocrânien est légèrement décalé vers le bas et l'avant, chez l'hydrocéphale.

Les paramètres angulaires ne sont pas significativement différents, tout au moins pour les angles : foraminien, tentorial et externe de la base ; seul l'angle occipito-sphénoïdal se referme, vers le haut, de 2° environ.

L'expansion du neurocrâne vers l'avant étant minime, elle provoque chez l'hydrocéphale un simple glissement du massif facial vers le bas et l'arrière. On remarquera la continuité régulière de son profil avec celui du

neurocrâne : aspect typique des sujets normaux et des adultes hydrocéphales *lents*. La direction masticatrice n'a pas varié. La mandibule présente, dans sa portion haute, un décalage comparable à celui noté dans la région postéro-inférieure du neurocrâne, tandis que l'angle alvéolaire inférieur - condylien - gonion subit une ouverture de 4 degrés.



SUPERPOSITIONS DES PROFILS MOYENS ORIENTES.

Figures 22 à 25 : Différences expérimentales.

Figure 26 : Différences sexuelles.



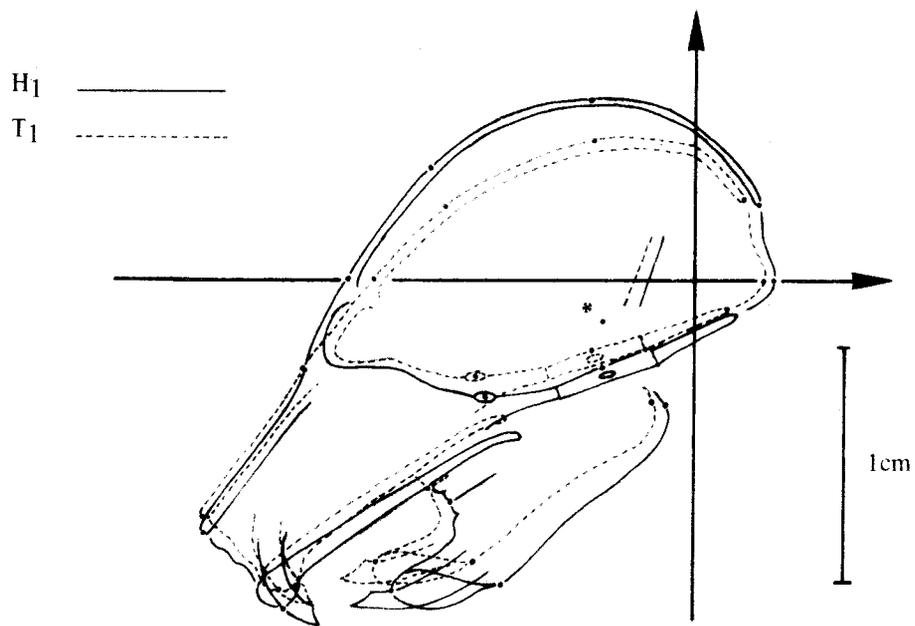


Figure 22A

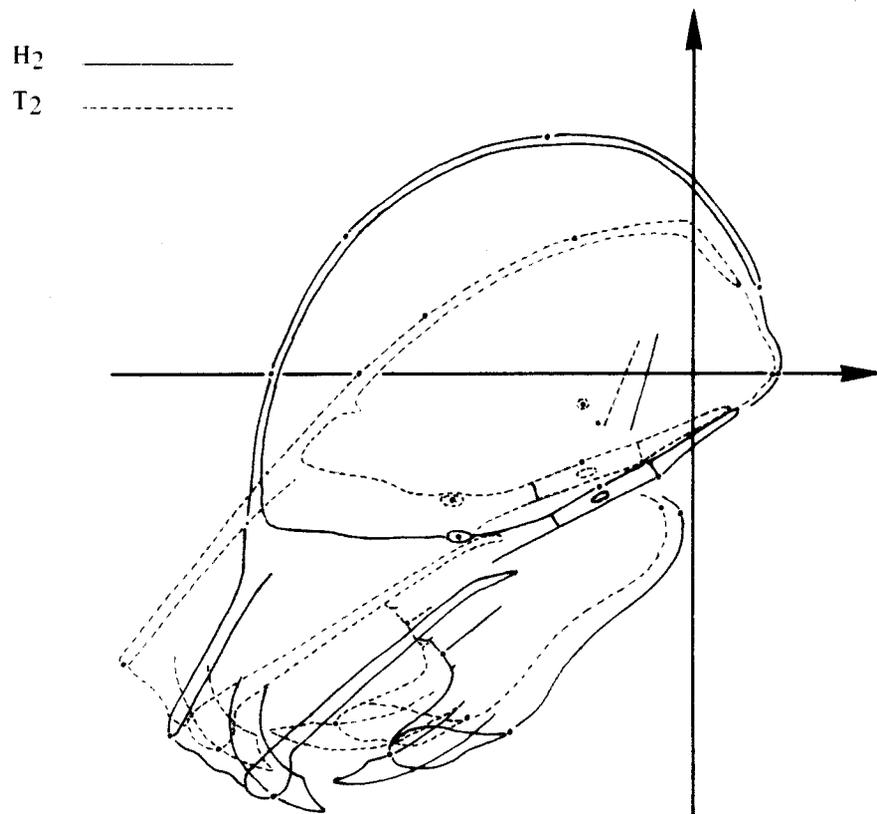


Figure 22B



H₃ ———
T₃ - - - -

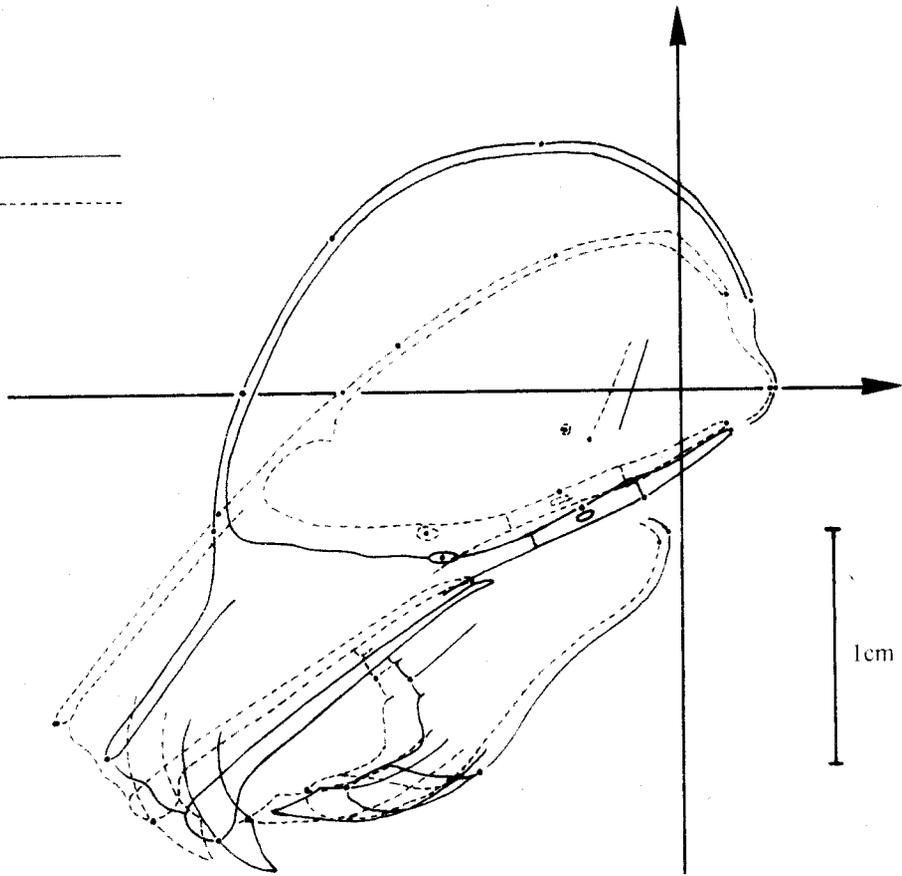


Figure 23A

H₄ ———
T₄ - - - -

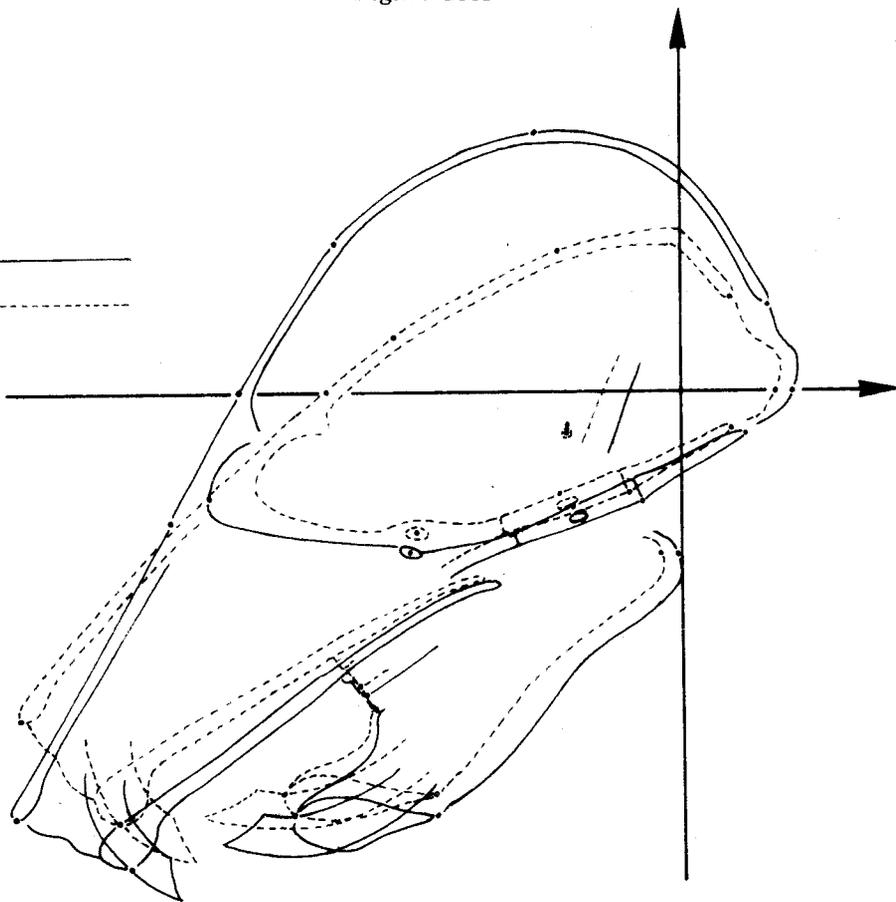


Figure 23B



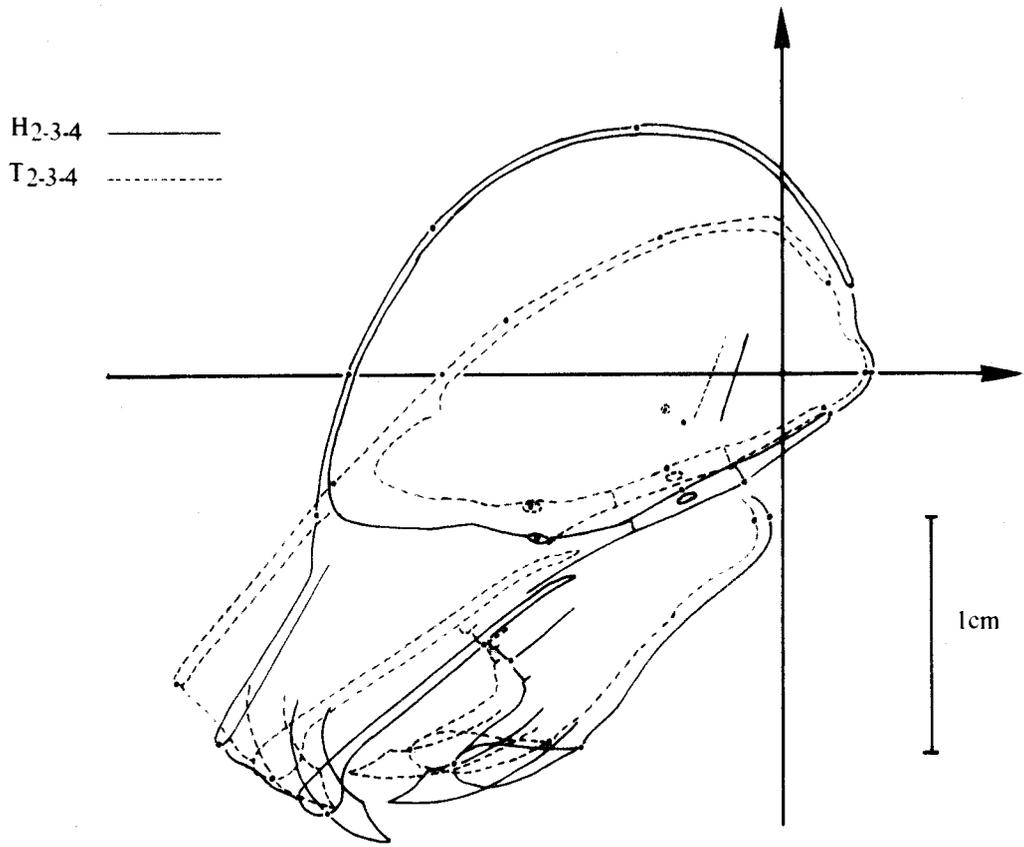


Figure 24A

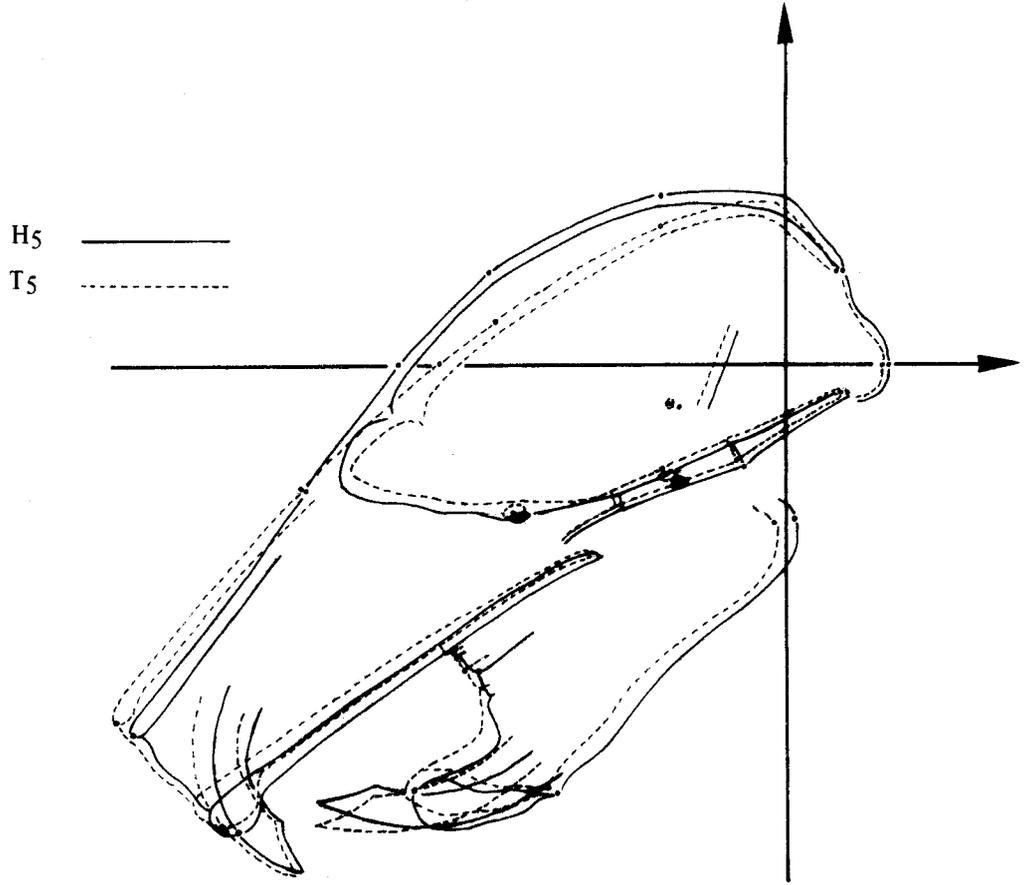


Figure 24B



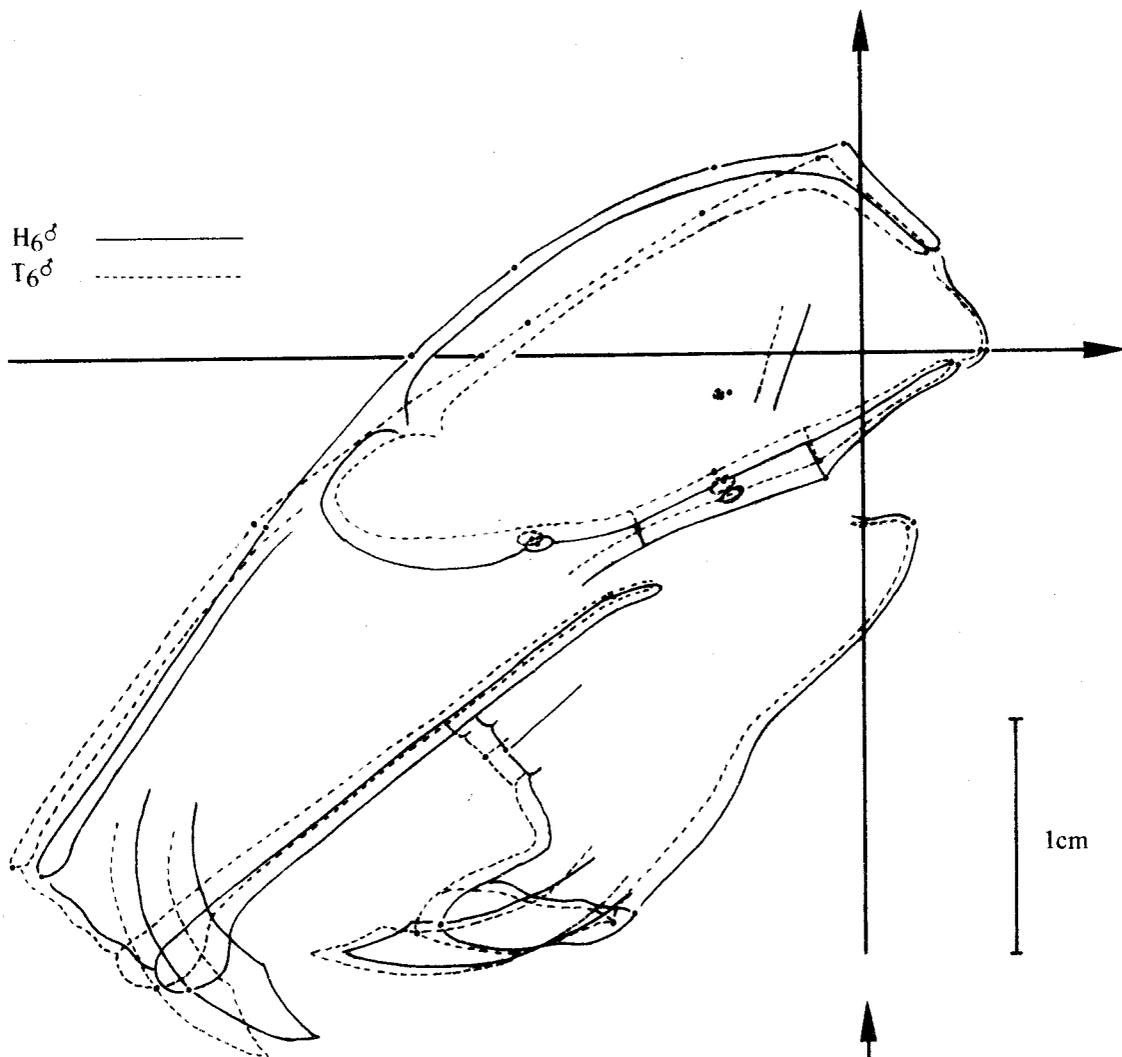


Figure 25A

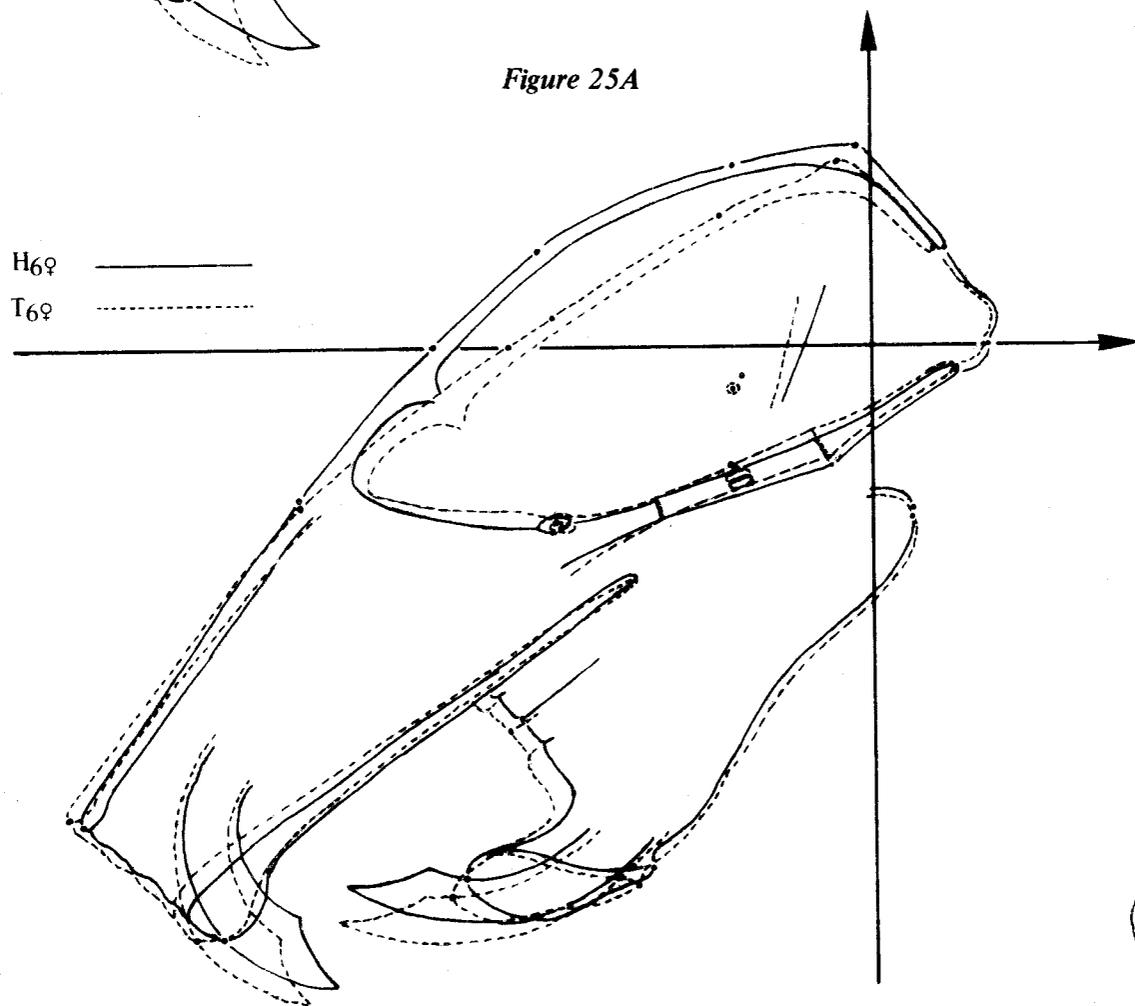


Figure 25B



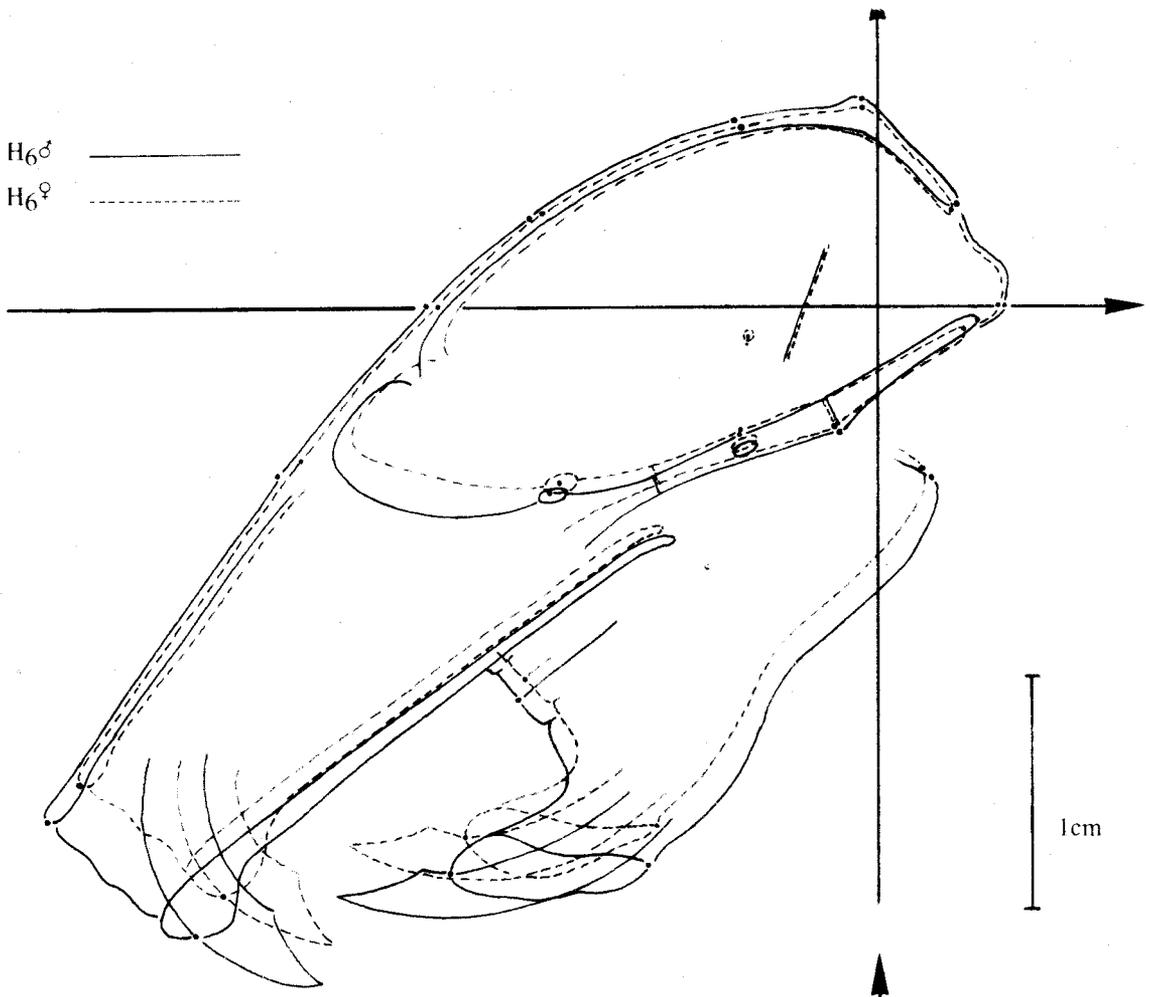


Figure 26A

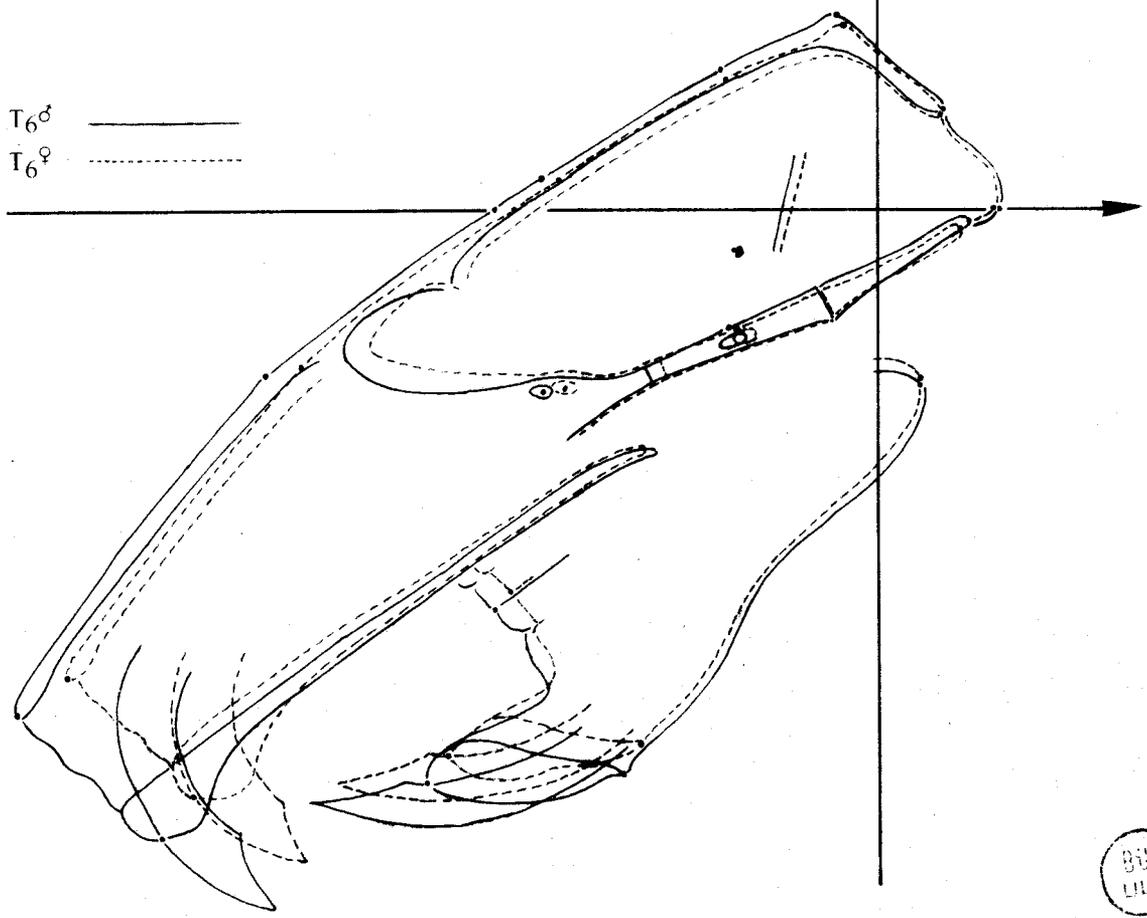


Figure 26B



CHAPITRE IV

LA VARIATION

Dans un calcul statistique, la notion de variation ou encore de dispersion est classiquement interprétée à partir de la valeur de l'écart-type (σ). Les différentes valeurs obtenues pour chaque classe, tant pour l'abscisse et l'ordonnée de chaque point, que pour tous les autres paramètres mesurés ou calculés, peuvent être lues dans les tableaux de résultats statistiques publiés dans l'annexe de la thèse; elles sont groupées dans la colonne jouxtant celle des moyennes.

L'intérêt d'une telle notion (déjà utilisée lors de la comparaison des moyennes) est capital pour la progression de notre étude comparative, cependant elle est délicate à mener pour différentes raisons. En effet, la valeur de l'écart-type tient compte :

- de la distance du point ou du lieu considéré, par rapport au centre des axes; c'est la conséquence inévitable du choix d'un système de référence.
- de l'effectif de la classe étudiée : une classe restreinte a toute chance d'avoir un sigma plus grand qu'une classe plus étoffée.
- du mode de découpage de la population en classes: des regroupements trop "serrés" permettent d'obtenir des sigmas réduits, mais l'effectif est généralement faible. Inversement des classes trop "étalées" font intervenir des sujets à des stades variables de la croissance, d'autant que celle-ci est différentielle suivant les régions du crâne.
- des erreurs de technique, imputables ou non à l'application de la méthode vestibulaire : erreur d'orientation, imprécision relativement plus grande pour les paramètres mandibulaires...
- de l'expérimentation elle-même, des conditions dans lesquelles elle a été réalisée : âge du sujet à l'injection, perturbation apportée ou non à la croissance somatique...
- enfin de la variabilité propre à chaque individu de l'espèce considérée...

En dépit de ces nombreuses difficultés, il est cependant possible d'apprécier la variation au sein

de chacune de nos séries ontogéniques telles qu'elles ont été établies, en recherchant dans chacune d'elles des "gradients" de variation, c'est-à-dire des tendances à une augmentation ou à une diminution progressive de l'écart-type, d'un endroit à un autre, pour un stade donné, ou pour un même point dans plusieurs stades successifs.

Considérant les témoins et les hydrocéphales, notre attention sera retenue, à la fois par les deux coordonnées des points craniométriques, ainsi que par tout autre paramètre mesuré ou calculé.

A. — INTERPRETATION DES ECARTS-TYPES DES COORDONNEES DES POINTS CRANIOMETRIQUES.

En parcourant, le profil exocrânien par le bord dorsal et par le bord ventral, de l'extrémité rostrale de la face en direction de l'arrière-crâne, on s'aperçoit que tous les facteurs de variation précédemment cités concourent pour réaliser une diminution progressive d'ensemble, des valeurs de l'écart-type. En dépit de quelques exceptions, ceci est vérifié à la fois chez les hydrocéphales et chez les témoins de toutes les classes, et pour chacune des deux coordonnées.

Il n'en demeure pas moins que, de façon constante, les valeurs homologues sont toujours plus grandes chez les hydrocéphales que chez les témoins, tant au niveau du neurocrâne que du splanchnocrâne.

La variabilité est donc plus grande chez les hydrocéphales que chez les témoins et elle est plus grande à l'avant qu'à l'arrière de la tête.

De plus, l'étude du type *rapide* étant ici considérée, pour les témoins et les hydrocéphales, dans le regroupement des classes 2, 3 et 4, la variation de l'ensemble obtenu est, dans le cas de l'hydrocéphalie, toujours supérieure à celles des classes prises une à une, sauf au niveau de la voûte.

1. La voûte du neurocrâne (du nasion au lambda).

a) *Chez les témoins*, la variation de cette région anatomique laisse percevoir que les T_0 présentent des valeurs de σ "relativement" plus fortes que dans les groupes ontogéniques suivants, mais comparables en valeur absolue. Pratiquement du même ordre de grandeur pour l'abscisse et l'ordonnée dans cette classe de départ, on s'aperçoit que chez les T_1 la variation des abscisses domine nettement celle des ordonnées. Ceci se retrouve chez les adultes mâles alors que chez les $T_2 + T_3 + T_4$ et les T_5 les écarts-types redeviennent comparables entre abscisses et ordonnées.

b) *Chez les hydrocéphales.*

Ce sont les H_1 qui présentent généralement les plus fortes variations (comme d'ailleurs dans les autres régions; cela tient à la faiblesse de l'effectif du groupe 1).

Le sigma est du même ordre de grandeur pour les deux coordonnées vers la fin de chaque série (type *rapide* ou type *lent*).

En H_1 , ce sont les abscisses qui varient le plus pour le nasion et le bregma, alors que ce sont les ordonnées qui varient le plus pour le lambda.

Parmi les classes hydrocéphales 2, 3 et 4 prises séparément, on remarque, chez les H_2 , que la variation de l'ordonnée domine celle de l'abscisse pour les bregma et lambda, tandis que chez les H_3 et H_4 le sigma de l'abscisse du bregma domine celui de son ordonnée et vice-versa pour le lambda.

2. La base du neurocrâne (Opt., S., O.S.).

De façon constante (témoins et hydrocéphales), la variation de la région antérieure de la base est, pour les deux coordonnées, toujours plus forte que celle de la portion occipito-sphénoïdale.

Chez les témoins, la variation de l'abscisse est supérieure à celle de l'ordonnée pour toute la base chez les T_0 et T_5 ; c'est l'inverse chez les T_1 , tandis que chez les $T_2 + T_3 + T_4$ et les T_6 mâles, la variation de l'abscisse est supérieure à celle de l'ordonnée dans la région antérieure et plus faible dans la région postérieure.

Chez les hydrocéphales, quel que soit le type d'hydrocéphalie, l'écart-type de l'abscisse est toujours plus grand que celui de l'ordonnée.

3. Le trou occipital (Ba. et Op.).

C'est au niveau de l'arrière-crâne que les variations les plus faibles sont observées.

Chez les témoins, il ne semble pas qu'il y ait de règle générale quant à l'intensité de la variation de l'opisthion par rapport à celle du basion. Pour l'opisthion, il apparaît que la variation de l'abscisse est plus réduite que celle de l'ordonnée jusqu'au stade 2 + 3 + 4, puis s'équilibre, tandis que pour le basion, la variation de l'abscisse est partout supérieure à celle de l'ordonnée.

On retrouve un phénomène analogue chez tous les hydrocéphales pour le basion, tandis que seul l'opisthion des H_1 présente une variation de l'abscisse inférieure à celle de l'ordonnée.

4. Le massif facial (Rh., Pr.).

C'est dans la région rostrale que la variation est toujours la plus importante, et H_1 est le stade le plus variable.

Chez les témoins, on observe, de manière assez constante (bien que les différences soient faibles), que la variation de l'abscisse du rhinion est supérieure à celle du prosthion correspondant, et que celle de l'ordonnée du prosthion domine celle du rhinion.

Chez les hydrocéphales, la variation des abscisses de ces deux points est du même ordre, dans les deux types d'hydrocéphalie. Cette variation des abscisses est constamment supérieure à celle des ordonnées, sauf

chez les adultes.

5. La mandibule (A. i., S. i., Go., Cond., M.).

La variation de ses points est généralement moindre que celle du massif facial, pour les deux coordonnées, et s'accroît toujours du condylien vers la périphérie de l'os, le bord antérieur variant plus que le bord postérieur.

Chez les témoins, mis à part les T_0 , la variation de l'ordonnée est le plus souvent supérieure à celle de l'abscisse pour les points : alvéolaire inférieur, symphysaire inférieur et molaire; l'inverse s'observe pour le point condylien et le gonion.

Il en est de même chez les hydrocéphales adultes. Par contre, chez les autres hydrocéphales, le sigma des abscisses domine généralement celui des ordonnées et il apparaît que les T_0 présentent des résultats du même ordre.

6. Test " F ".

Dans le tableau 50 sont reportées les valeurs calculées en vue de comparer statistiquement les écarts-types des hydrocéphales à ceux des témoins correspondants, pour chaque coordonnée des divers points craniométriques.

Le test " F " permet de savoir si les différences de variation observées pour deux éléments comparables, sont significatives ou non et, par là, de déduire les zones à plus ou moins grande variation, pour telle classe de comparaison.

Considérant pour le moment les seuls effets du processus expérimental, on remarque que, par rapport aux témoins, les sujets H_1 présentent une variation supérieure pour les ordonnées du bregma et du lambda et pour l'abscisse des points : optique, molaire et gonion.

Chez les $H_2 + H_3 + H_4$, les variations tant des abscisses que des ordonnées, sont significativement différentes pour le neurocrâne, surtout la voûte, moins pour la base; il en est de même pour l'abscisse des points du splanchnocrâne.

Dans l'hydrocéphalie lente, on remarque à la fois chez les H_5 et H_6 mâles que peu d'écarts-types sont significativement différents pour la face; par contre ils sont plus nombreux pour le neurocrâne à la fois au niveau de la voûte et de la base (ordonnée pour la voûte et abscisse pour la base et pour le trou occipital), tandis que la mandibule montre des différences de variation essentiellement pour les abscisses.

B. INTERPRETATION DES ECARTS-TYPES DES AUTRES PARAMETRES.

En considérant maintenant les paramètres linéaires, on s'aperçoit que la variation de chacun d'eux

évolue en fonction de celle des points à partir desquels les mesures ont été prises. De même, la variation des indices et des capacités tient compte de celle des paramètres qui en permettent le calcul.

Quant aux angles, leur variation se comporte de façon analogue tenant compte de la région osseuse concernée.

Le test " F " (tableau 51) indique, pour toutes les classes, une différence significative des variations pour les paramètres suivants : hauteur sus-vestibulaire, largeur, hauteur, flèche de courbure, indice 100 h/Na.-Op. et capacité. Beaucoup d'autres paramètres présentent un " F " significatif, notamment dans le regroupement 2 + 3 + 4, particulièrement la classe 2.

On peut conclure en disant que la variation de ces paramètres est toujours importante pour ceux liés à la voûte du crâne.

C. ECARTS-TYPES DES FEMELLES ET DIFFERENCES SEXUELLES.

1. Points craniométriques (tableaux 37 A-C et 38 A-C).

L'analyse de la variation chez les femelles fait apparaître une certaine analogie des résultats avec ceux déjà rapportés chez les mâles, pour le groupe correspondant. C'est ainsi que l'on peut observer le même gradient décroissant dans le sens antéro-postérieur, pour les deux coordonnées des points, à la fois chez les témoins et les hydrocéphales.

Signalant ici les seules différences observées par rapport à ce qui précède, on notera que, chez les témoins femelles, de façon régulière, l'importance de la variabilité est toujours en deçà de celle des mâles (ce qui peut s'expliquer par des moyennes plus faibles, chez les femelles). Il n'en est pas toujours ainsi chez les hydrocéphales où l'on s'aperçoit que le processus pathologique apporte quelques perturbations à la règle précédente : au niveau de la voûte, les écarts-types des abscisses et ceux des ordonnées des femelles sont supérieurs à ceux des mâles ; par contre, c'est l'inverse qui est observé pour les points de la base, tandis que le basion et l'opisthion présentent des valeurs du même ordre.

Au niveau de la face, chez les hydrocéphales, la variation des abscisses (mais non celle des ordonnées) est plus faible chez les femelles, toutefois les points antérieurs mandibulaires de celles-ci présentent une variation, pour leur abscisse, plus grande que celle des mâles.

Les résultats obtenus par le test " F " corrigent ce que les précédentes interprétations peuvent avoir de trop subjectif; on remarquera essentiellement, sur le tableau 52, que les coordonnées ont une variabilité significativement différente surtout chez les témoins. Cela peut s'expliquer par le fait que, l'amplitude de la variation étant nettement plus grande chez les hydrocéphales (des deux sexes), la différence de variabilité apparaît surtout chez les témoins des deux sexes (car leur variabilité est plus faible).

2. Autres paramètres (tableaux 46 A-B et 47 A-B).

Chez les sujets normaux, la variation est, là aussi, plus grande chez les mâles que chez les femelles, sauf pour la hauteur sus-vestibulaire, l'angle palatin ainsi que l'angle externe de la base; par contre, chez les sujets traités, seuls demeurent prédominants dans le sexe mâle, les sigmas correspondant aux paramètres suivants : r.v., h.h.v., Rh.-Op., Na.-Op., 100 r.v./p.v., 100 h.h.v./h.s.v. et l'angle alvéolaire inférieur-condylien-gonion.

Le test " F " (tableau 53) nous indique que les différences de variation sont particulièrement nettes, dans cette comparaison, entre les mâles et les femelles, à la fois chez les sujets traités et témoins, pour les longueurs Rh.-Op. et Na.-Op., et chez les seuls sujets normaux pour la flèche (f), les angles : foraminien, tentorial, occipito-sphénoïdal, alvéolaire inférieur-condylien-gonion et la capacité.

En somme, il ressort que la variabilité est plus forte chez les mâles que chez les femelles, surtout chez les témoins, qu'elle porte essentiellement sur les paramètres de longueur, et à un degré moindre sur les mesures angulaires.

D. COMPARAISON DES GROUPES SUCCESSIFS.

Elle sera envisagée plus loin, à propos de la croissance et sera effectuée par l'analyse de la variance afin de tester l'éventuelle homogénéité des résultats.

E. LES INTERVALLES DE CONFIANCE.

1. Points craniométriques (figures E1 à E3).

En reportant pour chaque point, de part et d'autre de la moyenne, la valeur de T_{SM} pour l'abscisse et pour l'ordonnée, on obtient un petit rectangle à l'intérieur duquel devrait se situer, avec une sécurité de 99 %, le point moyen si la population avait été très grande. Les figures E1, E2 et E3 représentent les intervalles de confiance des points, pour les stades qui serviront ultérieurement à établir les trajets ontogéniques. La forme et la surface d'un quadrilatère renseignent sur la variabilité d'un point, à un stade considéré.

Une forme carrée signifie qu'il y a égalité entre les variabilités horizontale et verticale, tandis qu'une forme rectangulaire souligne une variabilité plus forte pour l'une des deux coordonnées, celle qui correspond à la longueur du rectangle. Ajoutons que la surface du quadrilatère de confiance est fonction de l'importance de la variabilité du point.

L'intervalle de confiance de la moyenne dépend de l'effectif et de l'écart-type. Il importe donc de n'effectuer des comparaisons (entre quadrilatères) que pour des points où les effectifs sont égaux, ce qui a été réalisé en choisissant chaque fois, pour les témoins, un même nombre d'individus que pour les hydrocéphales à étudier.

Dans les séries ontogéniques (figures E1 à E3), il y a dissemblance des effectifs d'un stade au sui-

vant, mais des comparaisons peuvent être faites entre points d'un même stade.

Nos commentaires sur les intervalles de confiance seront succincts car l'essentiel a déjà été exposé précédemment, à propos du sigma.

a) *Aire.*

On remarquera tout d'abord que dans chacune des classes considérées, les plus grandes surfaces de quadrilatères sont toujours trouvées au niveau des points antérieurs de la face (Pr., Rh.) et de la mandibule (S.i., A.i.) c'est-à-dire au niveau des points les plus éloignés du centre des axes vestibulaires.

D'autre part, de deux quadrilatères situés à égale distance du centre des axes et appartenant à des classes d'âge différentes, le plus étendu se rapporte (à effectif égal) au stade où la croissance somatique est la plus forte. Cela dépend donc à la fois du mode de découpage (tranche plus ou moins large) et de l'intensité de la croissance durant cet intervalle de temps. Par exemple, entre la classe T_0 (14 sujets) et la classe T_1 (13 sujets) la surface est toujours plus grande chez les T_1 car les T_0 ne comprennent strictement que des nouveau-nés. De même, on remarquera que la variation des témoins femelles est plus réduite que celle des témoins mâles. L'explication d'une telle observation tient à ce que, tous les facteurs de variations sont identiques dans l'un et l'autre sexe, excepté la croissance qui a persisté plus longtemps chez les mâles que chez les femelles où elle s'est trouvée bloquée à la puberté (plus précoce que chez les mâles).

Chez les hydrocéphales, le processus pathologique infligé aux sujets doit en outre être pris en considération; on remarquera en effet que leurs intervalles de confiance sont presque toujours plus grands que ceux des témoins. Aux hydrocéphales du type *rapide* correspondent des quadrilatères de surface double de celle des témoins, tandis que chez les hydrocéphales adultes (*lents*), l'aire, bien qu'un peu augmentée, demeure assez comparable à celle du groupe de référence. On conçoit aisément que la forte intensité du processus pathologique a freiné (très variablement d'ailleurs) la croissance du sujet et rompu l'harmonie des différentes régions du crâne en évolution. En effet, pour une tranche d'âge donnée, la variabilité du neurocrâne est notablement augmentée par rapport à celle du splanchnocrâne.

Nous sommes en présence d'une véritable interférence de facteurs concomitants... L'analyse de la forme des quadrilatères permet d'apprécier la prédominance de l'un ou l'autre facteur suivant les cas.

b) *Forme.*

- *Chez les témoins.*

Considérés au cours de l'ontogénèse, les quadrilatères de points splanchnocrâniens tels que le rhinion, le prosthion, l'alvéolaire inférieur, le symphysaire inférieur et le molaire, présentent chez les T_0 un léger allongement horizontal qui très tôt (classe T_1) se transforme en allongement vertical. Les figures géométriques propres au gonion sont surtout horizontales. Pour tous les points de la voûte du crâne, la tendance horizontale se dessine dès les premiers stades et se perpétue jusqu'à l'état adulte. Sur la base du neurocrâne dans les stades

jeunes post-nataux, la forme horizontale prédomine pour l'optique et la forme verticale pour les points S. et O.S. pour devenir partout carrée chez les adultes.

Dans la région du *foramen magnum*, les stades ultimes sont représentés par des carrés. Toutefois, avant d'atteindre cette forme, la variation du basion a provoqué un allongement horizontal des quadrilatères tandis que celle de l'opisthion a favorisé leur étalement dans le sens vertical.

En somme, il existe une certaine ressemblance entre les quadrants antéro-supérieur et postéro-inférieur, leur aspect s'opposant à ce que l'on observe dans les quadrants inféro-antérieur et postéro-supérieur. Pour expliquer ces différences (tenant à la fois à la croissance à l'intérieur d'une tranche, et à la variabilité biologique proprement dite) on peut considérer que le sens de l'allongement du quadrilatère de confiance doit être étudié à partir de la connaissance des trajets ontogéniques des points dont on a une première approximation en joignant entre eux les points moyens successifs. Si l'influence de la croissance domine la variation, l'allongement se fera dans un sens qui rappellera le tracé du déplacement du point durant l'ontogénèse. La connaissance des "courbes lissées" et l'analyse des ellipses équiprobables nous permettront, en revenant plus loin sur ce problème, d'en mieux comprendre le mécanisme.

- Chez les hydrocéphales.

Au stade H_1 , les quadrilatères de confiance suggèrent que la variabilité de chaque point dépend, pour une large part, de la croissance centrifuge de chaque élément anatomique, par rapport au centre des axes.

- Le splanchnocrâne présente des quadrilatères allongés horizontalement pour les points Rh., Pr., A.i., M., Cond. et verticalement pour les points S.i. et Go.

- De même, au niveau du neurocrâne, les quadrilatères sont allongés horizontalement pour les points Na. et Br. et verticalement pour les points L. et Op. Parcourant la base du crâne, depuis le basion jusqu'au point optique, on s'aperçoit que la variation est figurée au départ par un carré puis progressivement par des rectangles allongés horizontalement.

Au stade $H_2 + H_3 + H_4$: la tendance est, pour tous les points, à la forme carrée, comme si brutalement la variation expérimentale et la variation individuelle prenaient le pas sur la croissance.

Dans les cas d'hydrocéphalie lente (stades H_5 et H_6), la variation totale (c'est à dire : croissance + variabilité indépendante de la croissance) est d'emblée plus forte que celle des témoins ; mais, en certains points, la forme des quadrilatères rappelle celle de ces derniers. L'hydrocéphalie en effet apporte, dans les deux sexes, son supplément de variabilité qui intervient, selon les points, soit dans le sens vertical soit dans le sens horizontal. La variation est plutôt verticale pour la voûte du neurocrâne et à tendance horizontale pour : la base du neurocrâne, les bords du *foramen magnum* et tout le splanchnocrâne (surtout chez les femelles).

2. Autres paramètres (figures 47 à 51).

Les intervalles de confiance calculés sur les paramètres linéaires, angulaires, indices et capacités sont aussi fort intéressants par les chiffres qu'ils fournissent puisqu'ils permettent de mieux connaître, dans une

série ontogénique donnée, les phénomènes de croissance (ainsi qu'on le montrera plus loin).

On notera les points suivants :

- Les intervalles de confiance sont toujours plus grands chez les hydrocéphales que chez les témoins, surtout chez les *rapides*.

- Analysés chez les hydrocéphales, relativement aux témoins, ils sont moins importants pour les hauteurs sus-vestibulaires et les longueurs pré-vestibulaires que pour des paramètres tels que : largeur, hauteur, et flèche de courbure.

- En ce qui concerne les angles, les limites de confiance sont généralement plus écartées chez les hydrocéphales que chez les témoins correspondants, surtout dans les stades jeunes.

- La variation des indices et celle des capacités évoluent en fonction des paramètres qui permettent de les établir.

CHAPITRE V

CORRELATIONS ET REGRESSIONS

Délaissant provisoirement les paramètres linéaires, angulaires, les indices et les capacités, d'autres recherches ont été faites sur les points craniométriques, en plaçant un élément donné de toutes les pièces de la population dans un même système d'axes. Ce regroupement en "nuage de points" peut être analysé en recherchant tout d'abord le coefficient de corrélation (r) entre les abscisses et les ordonnées. Cette valeur permet une première appréciation du mode de répartition des points et le sens dans lequel se fait la variation.

Le coefficient " r " a été calculé pour tous les points craniométriques des différentes classes faisant l'objet de l'étude ; il peut être consulté dans les tableaux (30 A à 38 E de l'annexe) réservés aux résultats statistiques des coordonnées vestibulaires, dans la colonne voisine de celle des intervalles de confiance. Les limites de signification sont notées, pour chaque classe, en fonction de l'effectif (un ou deux astérisques, respectivement pour 95 ou 99 % de sécurité).

Puis nous avons recherché les deux droites de régression du nuage (de x en y et de y en x) qui précisent, elles aussi, le sens dans lequel s'allonge le nuage. Ces droites sont exprimées dans les mêmes tableaux par leur pente en degrés (α° et β°) dont le signe est le même que celui de r . (cf. conventions : *figure B1*). Leur tracé est bien déterminé puisqu'elles passent par le point moyen, centre du nuage.

A. INTERPRETATION DES RESULTATS.

1. Chez les témoins.

La considération du signe de " r " dans la série des sujets témoins laisse apparaître :

- au niveau de la voûte du neurocrâne, un signe toujours positif pour le nasion, excepté dans les classes 2, 3 et 4 considérées isolément; des signes généralement négatifs pour le bregma et le lambda, dans les stades jeunes, jusqu'aux T_2 (le lambda seulement chez les T_1) devenant par la suite positifs (sauf le lambda des

T₆ mâles).

- au niveau de l'arrière-crâne, un signe toujours négatif pour l'opisthion (sauf chez les T₄); l'inion, quand il est pris en considération, est de même signe que l'opisthion, et il en est de même pour le point occipito-sphénoïdal, hormis les sujets T₀ et T₁. Pour le basion, le signe est positif chez les jeunes puis négatif chez les T₂ + T₃ + T₄ (les T₂ particulièrement) pour être positif par la suite.

- Quant à la base antérieure du crâne, une analogie certaine est notée avec le splanchnocrâne, le point S présentant toutefois quelques indéterminations.

- Pour tous les points du massif facial et de la mandibule, les valeurs de "r" sont généralement positives chez les T₀, T₁, T₂ + T₃ + T₄, T₅ et T₆ mâles et négatives par contre dans les classes T₂, T₃, T₄ considérées séparément, ainsi que chez les femelles. Quelques exceptions à la précédente observation persistent cependant : le point S.i. a un "r" négatif chez les T₆ mâles et positif chez les T₂ et T₃, le "r" du point condylien est négatif chez les T₆ mâles et les T₂, et il en est de même pour le gonion des T₃, T₂ + T₃ + T₄ et T₅.

L'ensemble de ces observations montre bien que la "variation totale" tient compte à la fois de la croissance et de la variation biologique individuelle. Les changements de signe au niveau du massif facial par exemple, au moment où la croissance cesse pratiquement d'intervenir, corroborent cette affirmation. De plus, les signes sont différents dans les classes de regroupement : T₂ + T₃ + T₄ et dans chacun de ses constituants; ils sont également inversés entre la classe T₆ mâles et la classe T₆ femelles etc... Dans les cas où nous considérons des tranches d'âge assez serrées ou constituées de sujets ayant terminé leur croissance, il apparaît que la variation "individuelle" prend le pas sur la variation de "croissance", ce qui explique le changement de direction du nuage.

Une remarque identique peut être faite en ce qui concerne le degré de signification de "r" : les classes les plus pauvres en valeurs significatives sont les T₂, T₃, T₄ (prises séparément) et les T₆ femelles. Dans les autres classes, les valeurs significatives se trouvent limitées, en majeure partie, au neurocrâne antérieur (Na. et Br.) et au splanchnocrâne (Pr., Rh., A.i., M.). Chez les T₆ mâles on trouve en outre la région de l'arrière-crâne et celle de la base, tandis que chez T₂ + T₃ + T₄, seule la base a des coefficients significatifs.

2. Chez les hydrocéphales.

Comparativement aux témoins correspondants, au niveau de la voûte neurocrânienne, on remarque que le signe du coefficient de corrélation est inversé : de façon constante pour le bregma et à quelques exceptions près pour le nasion et le lambda (Na. : H₁, H₂, H₄ et H₆ mâles - et L. : H₁, H₂, H₆ mâles). Au niveau de l'arrière-crâne, le signe reste identique à celui des témoins ; il est négatif pour l'inion, l'opisthion (excepté les H₄) ainsi que pour le point occipito-sphénoïdal (H₁ et H₄ mis à part). Les inversions sont plus fréquentes pour le basion où "r" est négatif dans toutes les classes sauf les H₃ et les H₆ femelles. A la différence des témoins, les points de la base ont un "r" négatif (le point S. des H₃ mis à part).

Les coefficients de corrélation des points splanchnocrâniens sont généralement de même signe que ceux des témoins, sauf pour la classe H₅ où les valeurs sont toutes négatives, à l'exception du rhinion.

De cette étude nous retiendrons que les hydrocéphales se caractérisent des témoins par une inversion du signe de "r" au niveau de la voûte antérieure et de la base du neurocrâne.

Pour des raisons qui seront exposées dans le chapitre suivant, d'autres coefficients de corrélations ont encore dû être calculés; il visent à une analyse plus exacte du groupe 6.

B. COMPARAISON DES COEFFICIENTS DE CORRELATION.

Dans la comparaison des coefficients de corrélation des deux types de sujets, on tient compte à la fois du signe et de la valeur du coefficient de corrélation, ainsi que de l'effectif. Est désignée comme significative toute valeur du test, supérieure à 2 ou 2,6 pour 95 % ou 99 % de sécurité.

A la lecture des résultats (tableau 54) on peut dire que, globalement, c'est la classe H₅ qui présente le plus de différences, puis le regroupement H₂ + H₃ + H₄ ainsi que les adultes mâles. Il est intéressant de noter par ailleurs que les adultes femelles et les classes 2 ne possèdent aucune valeur significative pour ce test de comparaison. Dans les classes 3 et 4, seuls le lambda dans les premières et le bregma dans les secondes ont un test significatif.

Le processus expérimental a modifié particulièrement la répartition des points pour les nuages se rapportant à des éléments appartenant essentiellement à la face et au frontal, et accessoirement à la base du crâne.

C. CORRELATIONS DE L'ARRIERE-CRANE ET DIFFERENCES SEXUELLES.

Indépendamment de l'établissement des corrélations entre les deux coordonnées de chaque point, il est encore possible de rechercher des corrélations éventuelles entre diverses mesures prises 2 à 2, par exemple entre l'abscisse ou l'ordonnée d'un point et tout autre paramètre.

C'est ainsi que, souhaitant préciser un peu mieux la région de l'arrière-crâne, nous avons recherché, chez les adultes, s'il existait une corrélation entre la valeur de l'angle foraminien d'une part et quatre autres paramètres d'autre part : l'angle occipito-sphénoïdal, l'abscisse du basion, de l'opisthion et de l'inion. Les résultats reportés dans le tableau VII suggèrent que, de façon constante, les valeurs significatives sont liées à la notion de sexe et non à l'expérimentation (cela peut se démontrer en comparant les coefficients de corrélation entre témoins et hydrocéphales correspondants d'un sexe donné).

Chez les mâles, il est assuré que la fermeture de l'angle occipito-sphénoïdal va de pair avec une augmentation de l'angle foraminien, ce qui n'est pas réalisé chez les femelles. Le clivus et le foramen ne sont donc solidaires que chez les mâles, au cours de leur variation. Chez les mâles, une bascule du trou occipital vers l'avant (ouverture de l'angle foraminien) s'accompagne d'un recul du basion, alors que l'opisthion ne varie pas. Chez les femelles au contraire, ce même mouvement du trou occipital agit essentiellement sur l'opisthion qui avance nettement (alors que le basion ne recule que fort peu). Enfin dans les deux sexes, l'augmentation de l'angle foraminien est accompagnée d'une avancée de l'inion.

Ces résultats éclairent ce qui a été dit au chapitre III de la seconde partie, à propos des différences observées dans les résultats de l'hydrocéphalie examinée chez les mâles ou chez les femelles. La poursuite de l'activité, chez le mâle, du cartilage occipito-sphénoïdal, plus longtemps que chez la femelle, explique ce phénomène.

	Mâles		Femelles	
	H ₆	T ₆	H ₆	T ₆
Angle Occipito-Sphénoïdal	-0,5038**	-0,5750**	-0,1127	-0,1500
Abscisse Basion	0,5035**	0,6532**	0,4397*	0,3818*
Abscisse Opisthion	-0,0833	-0,1908	-0,5231**	-0,5222**
Abscisse Inion	-0,3589*	-0,7579**	-0,6529**	-0,4424*
Valeurs limites				
95 % (*)	0,3291	0,3291	0,3494	0,3494
99 % (**)	0,4238	0,4238	0,4487	0,4487

Tableau VII
Corrélations s'établissant avec l'angle foraminien



CHAPITRE VI

LES ELLIPSES EQUIPROBABLES

A. — DONNEES STATISTIQUES.

Des précisions complémentaires sur les nuages de points peuvent être établies par le tracé d'ellipses équiprobables dont les caractéristiques ont été calculées conformément aux développements mathématiques expliqués dans les travaux de Defrise-Güssenhoven (B. 68).

Les paramètres indispensables pour notre étude ont été reportés, pour chaque groupe de sujets, dans l'annexe de la Thèse : Tableaux 30 A à 38 E. Nous les avons définis précédemment (Chap. II de la 2e partie) et les conventions adoptées peuvent être lues sur la *figure B2*.

Rappelons cependant que l'utilisation du coefficient « r '» permet de faire abstraction de la position du nuage pour envisager uniquement sa *forme*. Seules les ellipses présentant une valeur significative de r ' pourront être retenues pour analyser la direction du grand axe et donc la direction principale de la variabilité du point ; dans les autres cas, nous dirons que ce même axe présente seulement une "tendance" à une direction donnée. Nous savons par ailleurs que des lois précises (et non le seul hasard) régissent la direction de ces axes tant au cours de la croissance normale que de la croissance pathologique; c'est pourquoi il n'est pas possible d'éliminer totalement les données situées en deçà du seuil de signification car on peut supposer que dans des classes plus étoffées les tendances s'affirmeraient.

B. — INTERPRETATION DES RESULTATS.

L'examen des ellipses équiprobables laisse apparaître quatre séries de renseignements se rapportant aux nuages de points et concernant : la position dans les axes, l'étendue, la forme et enfin la direction des ellipses.

1. Position.

Nous avons déjà eu l'occasion de préciser que les centres des ellipses correspondaient très exactement aux points moyens des nuages; l'étude de ceux-ci ayant été envisagée, il n'y a donc pas lieu d'y revenir.

2. Etendue.

La surface d'une ellipse donne une idée générale du degré d'étalement du nuage de points. (En réalité les faits sont un peu plus complexes d'un point de vue mathématique pur puisque la distribution des points du nuage est plus serrée au centre qu'à la périphérie !).

a) Chez les témoins.

On remarquera tout d'abord que dans chaque classe, les plus grandes surfaces correspondent toujours aux points du splanchnocrâne et les plus petites à ceux du neurocrâne, le nasion et l'optique présentant des valeurs intermédiaires.

Plus précisément, en partant de l'opisthion et du basion qui ont chacun une valeur sensiblement équivalente, les ellipses des points de la voûte, ainsi que celles des points de la base augmentent progressivement de surface de l'arrière vers l'avant. De même, pour le splanchnocrâne, ce sont les ellipses du prosthion et du rhinion qui présentent les valeurs les plus fortes.

Considérant les différents stades dans l'ordre ontogénique on observe, pour chaque point, une augmentation progressive des surfaces avec l'âge. Cette assertion n'a qu'une valeur relative puisque les effectifs ne sont pas tous identiques. Elle répond cependant en partie à l'écartement progressif des points par rapport au centre des axes.

Si l'on compare maintenant les résultats du regroupement $T_2 + T_3 + T_4$ à ceux de chaque classe prise séparément, on remarque que, les surfaces sont plus homogènes pour un stade donné que pour l'ensemble des trois : la distinction entre neurocrâne et splanchnocrâne est moins marquée, cependant les gradients décrits précédemment sont respectés. Enfin les adultes femelles présentent des surfaces toujours inférieures (sauf pour le condylien) à celles des mâles correspondants.

De ces diverses observations, quelques considérations générales se dégagent :

- 1) Ce sont les points les plus éloignés du centre des axes qui subissent la plus grande variation, au sens le plus général du terme, d'où l'existence de gradients : pour un crâne donné, et dans une série ontogénique.
- 2) On retrouve les deux causes de variation signalées antérieurement, à savoir que dans chaque classe interfèrent une variation consécutive à la croissance et une variation biologique individuelle. Quant à la variation inhérente à la technique employée, toutes les pièces ayant été traitées de la même façon, il n'y a pas lieu de la tenir pour responsable des différences observées.

La comparaison des classes T_2 , T_3 , T_4 avec le regroupement $T_2 + T_3 + T_4$ démontre que, dans le premier cas, c'est la variation individuelle qui est surtout mise en évidence alors que dans le second cas, en plus de cette variation s'ajoute le phénomène de croissance. De même, chez les adultes femelles, les surfaces reflètent avant tout la variation individuelle tandis que chez les mâles la croissance plus durable provoque un étalement sensible des nuages.

b) *Chez les hydrocéphales.*

L'étendue des ellipses est toujours plus grande que chez les témoins correspondants (à quelques exceptions près : le condylien et le gonion des H_1 , ainsi que le prosthion et le gonion des H_5). La différence entre neurocrâne et splanchnocrâne, bien que moins marquée, s'inscrit dans le même sens que précédemment, cependant on observe que dans chaque classe, les gradients sont mieux respectés pour le splanchnocrâne que pour le neurocrâne.

Comparativement aux témoins correspondants, chez les hydrocéphales *rapides*, l'étendue des ellipses est, dans toutes les classes, de beaucoup plus importante pour les points de la voûte du crâne et, à un moindre degré, pour les points : basion et opisthion. Les valeurs présentées par les classes H_2 , H_3 et H_4 sont tout à fait remarquables : le bregma et le lambda sont les points possédant les plus grandes surfaces de variation dans les classes 2 et 3, le lambda, l'opisthion et le basion dans la classe 4.

A noter enfin chez les H_2 , la très grande variation du prosthion, du rhinion et du nasion par rapport à celle des témoins (4 à 5 fois et plus), ce qui ne se retrouve pas avec autant de netteté chez les H_3 .

Au cours de l'évolution selon le processus *lent* (H_5 et H_6), la différence avec les témoins est partout remarquable. Les femelles traitées présentent pour l'ensemble des points (excepté bregma et lambda) des étendues inférieures à celles de leurs homologues mâles, mais plus du double (pour presque tous les points) de celles des témoins femelles.

3. Forme.

Le degré d'allongement ou d'aplatissement d'un nuage de points est fourni à la fois par le coefficient r' et par le rapport (A/a) des axes de l'ellipse. Lorsque r' est proche de 1 (et que le rapport des axes s'éloigne de 1), la forme de l'ellipse est allongée; inversement, elle tend vers le cercle pour $r' = 0$ et $A/a = 1$. Les valeurs de r' sont lues dans les tableaux 30 A à 38 E de l'annexe; un ou deux astérisques marquent les valeurs significatives à plus de 95 ou 99 % de sécurité. La représentation graphique en est faite, aux divers stades ontogéniques, et pour chaque point retenu, sur les *figures 27 à 32* où seul le demi-grand-axe est représenté : en traits pleins si r' est significatif, et en tirets dans le cas contraire.

a) *Chez les témoins.*

Considérant l'ensemble des séries, on observera que certains points ont tendance plus que d'autres à être significatifs. Le nasion et le bregma le sont plus fréquemment que le lambda, tandis que les points de l'ar-

rière-crâne le sont surtout chez les adultes. Les valeurs r' des points de la base sont régulièrement significatives sauf chez les T_5 et les adultes femelles. Au niveau du splanchnocrâne, le condylien et le gonion sont les points les moins réguliers à présenter cette signification.

L'ensemble des résultats, observés classe par classe et regroupés par régions, nous montre (*figure 27*) que la plupart des ellipses peuvent être considérées comme significativement différentes d'une répartition au hasard, sauf chez les T_0 , au niveau de la voûte du neurocrâne et de l'arrière-crâne, ainsi que dans la portion antérieure de la mandibule. De la même façon les valeurs de r' sont moins régulièrement significatives dans la région postérieure du crâne chez les $T_2 + T_3 + T_4$ alors que chez les T_5 , cette remarque s'applique essentiellement à la base.

Enfin, chez les adultes mâles, seuls le lambda et le gonion ne sont pas significatifs, à l'inverse des femelles qui se caractérisent par une majorité de points dans ce cas (arrière-crâne exclus). Les classes T_2 , T_3 et T_4 considérées isolément, présentent une répartition très variable des valeurs significatives, montrant par là une fois de plus les effets du découpage initial.

b) Chez les hydrocéphales.

La situation est différente de celle des témoins : l'ellipse du bregma est moins régulièrement allongée de façon significative que ne le sont celles du lambda et du nasion. Peu de différences existent avec les témoins quand on observe les points de l'arrière-crâne des adultes; elles sont un peu plus nettes chez les jeunes.

Sur la base, seuls quelques points ont une ellipse significative dans les stades jeunes (jusqu'à H_4) contrairement à ce que l'on trouve chez les adultes. Chez ceux-ci, l'optique (de même le nasion) ne présente pas un r' significatif, à la différence du point occipito-sphénoïdal et du point S. On observe l'inverse dans l'hydrocéphalie *rapide*.

Quant au splanchnocrâne, on enregistre des valeurs de r' inférieures aux limites surtout au niveau de la mandibule, tandis qu'au niveau du massif facial toutes les classes, sauf les H_3 et les H_5 , rendent ces mêmes valeurs significatives.

4. Direction.

La direction de la composante principale de la variation, à l'intérieur de chaque nuage de points, peut être exprimée par celle du demi-grand axe de l'ellipse correspondante (quand r' est significatif !); elle permet d'observer des tendances qui viennent confirmer et préciser ce que nous avons déjà écrit à propos des intervalles de confiance à savoir l'évolution du sens de la variation dans une région donnée, entre témoins et hydrocéphales et entre plusieurs régions pour les divers stades ontogéniques étudiés.

La direction principale de la variation a été notée, pour chaque point de chaque stade ontogénique, dans les *figures 27 à 31* où est aussi porté le trajet ontogénique du point, dans les axes vestibulaires. L'intérêt de ce mode de représentation est de pouvoir comparer le grand axe de l'ellipse à la direction qu'aurait, à cet endroit,

la tangente à la courbe suivie par le point durant la croissance.

En plus du fait que certaines directions ne sont pas significatives (r' en dessous du seuil désiré), l'étude de notre échantillonnage assez réduit fait que l'on éprouve parfois quelques difficultés à juger de l'évolution rotatoire des demi-axes elliptiques. Nous avons convenu de choisir le demi-axe antérieur sauf dans le quadrant supéro-postérieur de l'espace (opisthion). Dans quelques cas, lorsque s'est produite une inversion brutale du sens de la variation, d'un stade au stade suivant, il a fallu interpréter pour choisir lequel des deux demi-axes choisir, en tenant compte du contexte général ! Ces raisons expliquent que l'on ne pourra, ci-après, proposer des chiffres très précis pour l'amplitude de la rotation des demi-axes, et qu'il faudra se contenter d'analyser des "tendances" générales.

Dans cette étude - assez difficile - des rapports entre croissance et variabilité, il est possible de tenter une simplification en éliminant la première de ces deux composantes, et en ne retenant que les changements de direction de la variabilité dominante. Il suffit pour cela (*figure 32*) de grouper toutes les situations ontogéniques successives moyennes occupées par un point en un seul, et de mener par celui-ci, des directions parallèles à celles occupées par les demi-grands-axes. Nous référant à la position initiale (T_0) nous pouvons apprécier d'une part chez les témoins, d'autre part chez les hydrocéphales (à la fois du type *rapide* et du type *lent*), le sens de la rotation étudiée, son amplitude ainsi que la vitesse propre à chacun de ces mouvements.

a) *Témoins.*

En les considérant de T_0 aux adultes mâles, on s'aperçoit que le sens de rotation général est anti-horaire (en vue latérale gauche). L'amplitude semble être d'environ 40 degrés pour l'avant-crâne, à peu près autant pour les points mandibulaires antérieurs, moindre (une vingtaine de degrés) pour les points de la face et de la base, et encore moins forte pour les éléments du postéro-crâne.

La *figure 27* montrerait ainsi, par ces faibles valeurs angulaires chez les mâles, l'absence d'inversion dans le sens de la variation principale, ce qui paraît surprenant lorsqu'on rapproche ces résultats de ceux, bien connus maintenant, obtenus pour d'autres espèces.

Pour tenter de résoudre ce nouveau problème, nous avons été amené à reconsidérer le mode de découpage de nos effectifs, en tranches ontogéniques, et à séparer, dans le groupe 6, les individus de moins d'un an de ceux ayant dépassé ce stade. Tous les calculs ont alors été refaits entièrement pour ces nouveaux groupes, et toutes les ellipses des T_6 mâles et T_6 femelles, remplacées, pour chacun des points craniométriques par deux nouvelles ellipses. Nous avons estimé inutile d'alourdir encore ce travail par la publication détaillée de ces nouveaux paramètres; mais la *figure 32 bis* est très explicite en ce qu'elle nous donne l'essentiel de ces résultats, pour trois points caractéristiques de la face (le nasion, le prosthion et le symphysaire inférieur). Le grand axe de l'ellipse y est tracé pour les deux sous-classes, et doit être comparé à celui de la classe 6 correspondante (*figure 27*).

Alors, chez les mâles, on retrouve l'"inversion" classique, le grand axe se rapportant aux sujets les plus âgés tend à devenir quasi-orthogonal à celui des rats de moins d'un an.

Chez les femelles, les deux nouveaux axes demeurent, au contraire, pratiquement parallèles à celui de l'ensemble du groupe des femelles adultes.

Ainsi, l'amplitude lue sur la *figure 32* est manifestement trop faible, et liée à un découpage inadéquat de la population pour ce genre d'étude ; elle atteint en fait, pour ces points faciaux, un chiffre proche de 120 degrés (les autres régions du crâne étant moins intéressées par ce nouveau découpage).

Après cette correction, la *figure 27* peut maintenant être interprétée avec plus de sécurité. On y voit que, pour la plupart des points, les directions des demi-axes d'ellipses, au cours de la croissance, sont d'abord proches de la tangente à la courbe ontogénique, au point considéré, puis elles s'en éloignent en devenant pratiquement perpendiculaires à celle-ci. Il faut interpréter cela en disant que, dans la variabilité globale, chez les témoins, c'est d'abord la composante liée à la croissance centrifuge qui est mise en évidence, mais lorsque la croissance se ralentit considérablement (au delà de un an), c'est la variation biologique qui se révèle selon un mode "circonférentiel".

Chez les femelles, la croissance s'arrêtant plus précocement, l'inversion s'est produite avant le stade 6, et c'est pourquoi les axes sont pratiquement parallèles sur la *figure 32 bis*.

Il est une autre preuve de l'influence du mode de découpage de l'effectif, sur la direction de la variabilité globale : les groupes 2, 3 et 4 pris isolément, ont une ellipse inversée par rapport à l'ensemble regroupé.

En somme, on retrouve chez le rat, les lois générales régissant les rapports entre croissance et variation :

- ressemblance entre la direction des grands axes des ellipses et la courbe ontogénique, durant la période de croissance.
- inversion de la direction du grand axe lorsque la croissance s'arrête,
- identité du sens de rotation entre les demi-grands axes des ellipses, et celui du déplacement ontogénique des points, dans l'espace orienté (comme on le verra plus loin).

b) Hydrocéphales de type lent. (figures 29 et 32 bis).

Le même découpage que chez les témoins a été effectué chez les adultes de ce groupe, et les H₆ (mâles et femelles) ont été scindés en deux sous-groupes selon qu'ils étaient âgés ou non de plus de un an. Il en ressort, à ce point de vue, les mêmes résultats que chez les T₆, à savoir inversion après un an chez les mâles et identité chez les femelles.

Les relations entre croissance et variation sont donc les mêmes que chez les témoins pour le splanchnocrâne. Par contre, les phénomènes se déroulant dans le neurocrâne antérieur ressemblent nettement à ce que nous allons décrire à propos des sujets du type *rapide*, à savoir une inversion du sens de la rotation des demi-axes, par rapport aux témoins.

c) *Hydrocéphales de type rapide.*

Chez eux, il ne se pose plus de problème de "découpage", car les tranches sont nettement plus "serrées". L'observation de la *figure 28* montre que, contrairement aux témoins, la direction des grands axes des ellipses, ne se rapproche pas des tangentes aux points considérés, sauf peut-être pour le bregma et le lambda.

De plus, la *figure 32* laisse apparaître une rotation de variation générale de même amplitude, mais de sens inverse à celle des témoins.

On interprétera cela en disant que :

- pour la voûte fronto-pariétale, la plus marquée par l'expansion volumétrique du cerveau, la croissance domine la variation, et les axes des ellipses ont une direction centrifuge (proche des courbes ontogéniques).

- pour les autres points, (dont les trajets ontogéniques sont différents de ceux des témoins, comme nous le dirons plus loin) le processus hydrocéphalique apporte une variabilité importante qui domine la croissance et se fait dans un sens pratiquement perpendiculaire à elle. Cela est encore plus net au niveau de la base que pour les points splanchnocrâniens.

Pour le basion et l'opisthion, et contrairement à ce qui se passe ailleurs, le sens de la rotation des demi-axes n'est pas inversé, chez les hydrocéphales (aussi bien *rapides* que *lents*) par rapport aux témoins, mais l'amplitude du mouvement y est exagérée. Cela veut dire que si, à la naissance, les directions des axes d'ellipse se rapportant au basion et à l'opisthion, sont pratiquement perpendiculaires, elles tendent à devenir plus parallèles par la suite, et d'autant plus que l'on passe du témoin à l'hydrocéphale *lent*, puis à l'hydrocéphale *rapide*. Le processus hydrocéphalique introduit donc, dans la variabilité globale des points extrêmes du foramen magnum, une composante centrifuge dont l'importance tient compte de la sévérité de l'affection.

d) *Valeur et signification de cette analyse.*

L'observation comparative des *figures D1 à D8* représentant l'ensemble des ellipses équiprobables pour tous les points d'un même stade nous engage naturellement à nous demander quelle est, dans la variabilité, la part des erreurs possibles lors de l'orientation des pièces. Cela ne peut d'ailleurs être déduit valablement que pour des tranches "serrées" où l'influence de la croissance est négligeable. Une erreur d'orientation, ou une rotation "globale" de toute la tête par rapport aux labyrinthes, se traduirait par des grands axes d'ellipses disposés perpendiculairement au rayon mené du centre des axes de référence au centre du nuage de points. Pour la face, et bien que l'on n'obtienne pas d'orthogonalité parfaite, certaines figures pourraient faire penser à un tel processus, mais qui n'est plus vérifié ailleurs.

Il apparaît donc que l'on retrouve pour le crâne du rat orienté dans les axes vestibulaires les mêmes lois de variabilité que celles déjà mises en évidence chez d'autres espèces (porc, chimpanzé et Homme), à savoir que si l'ensemble splanchnocrânien possède bien une variation du type essentiellement rotatoire, la variation du neurocrâne, et particulièrement celle du postéro-crâne, présentent en outre une composante dans le sens

d'un plus ou moins grand allongement antéro-postérieur. Dans le cas qui nous intéresse ici, cette loi s'applique aussi bien aux témoins qu'aux hydrocéphales, chez lesquels se surajoute une composante centrifuge pathologique pour le neurocrâne.

Ainsi, une étude serrée des ellipses de tolérance permet non seulement d'analyser la variabilité biologique des points (tant pour les phénomènes généraux que pour ceux liés à l'hydrocéphalie) mais encore, chose nouvelle, d'avoir déjà des renseignements sur la croissance : son intensité, son sens, et le moment où elle devient négligeable. C'est lorsqu'un point cesse de se déplacer, de façon centrifuge, sur sa courbe ontogénique qu'il donne le plus de prises à la variation proprement dite, et nous pouvons nous en apercevoir au seul examen des directions des grands axes des ellipses.



Direction du demi grand-axe de l'ellipse équiprobable
- dans les trois types de croissance : Figures 27, 28, 29
- dans les différences sexuelles : Figures 30 et 31
- représentation synthétique : Figure 32.



En traits pleins signification de $r' \geq 95\%$
En tirets = signification de $r' < 95\%$



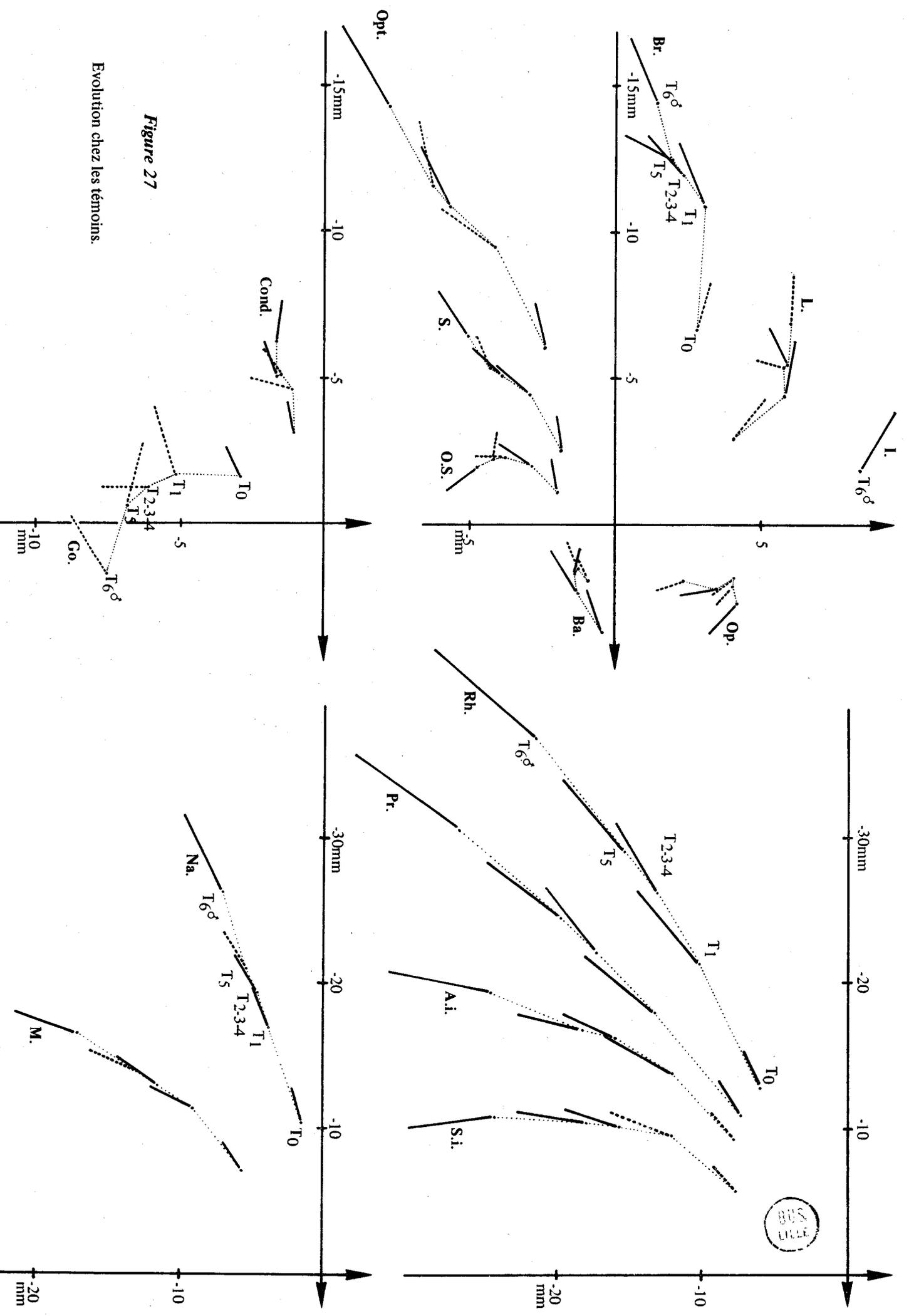


Figure 27

Evolution chez les témoins.

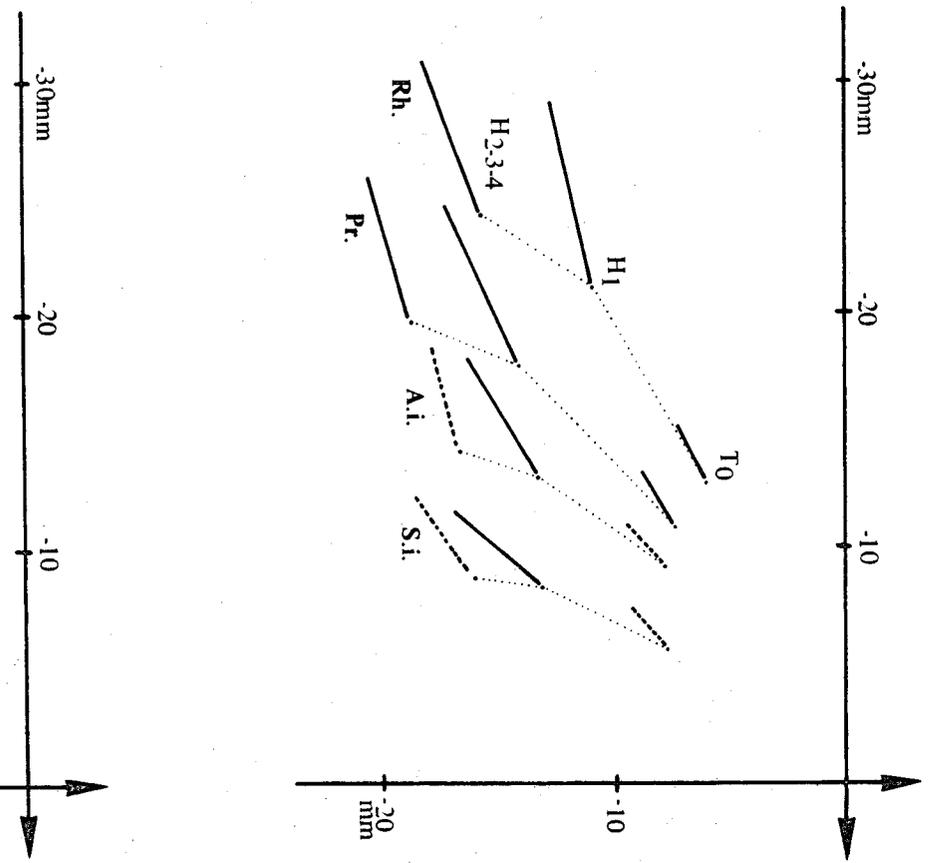
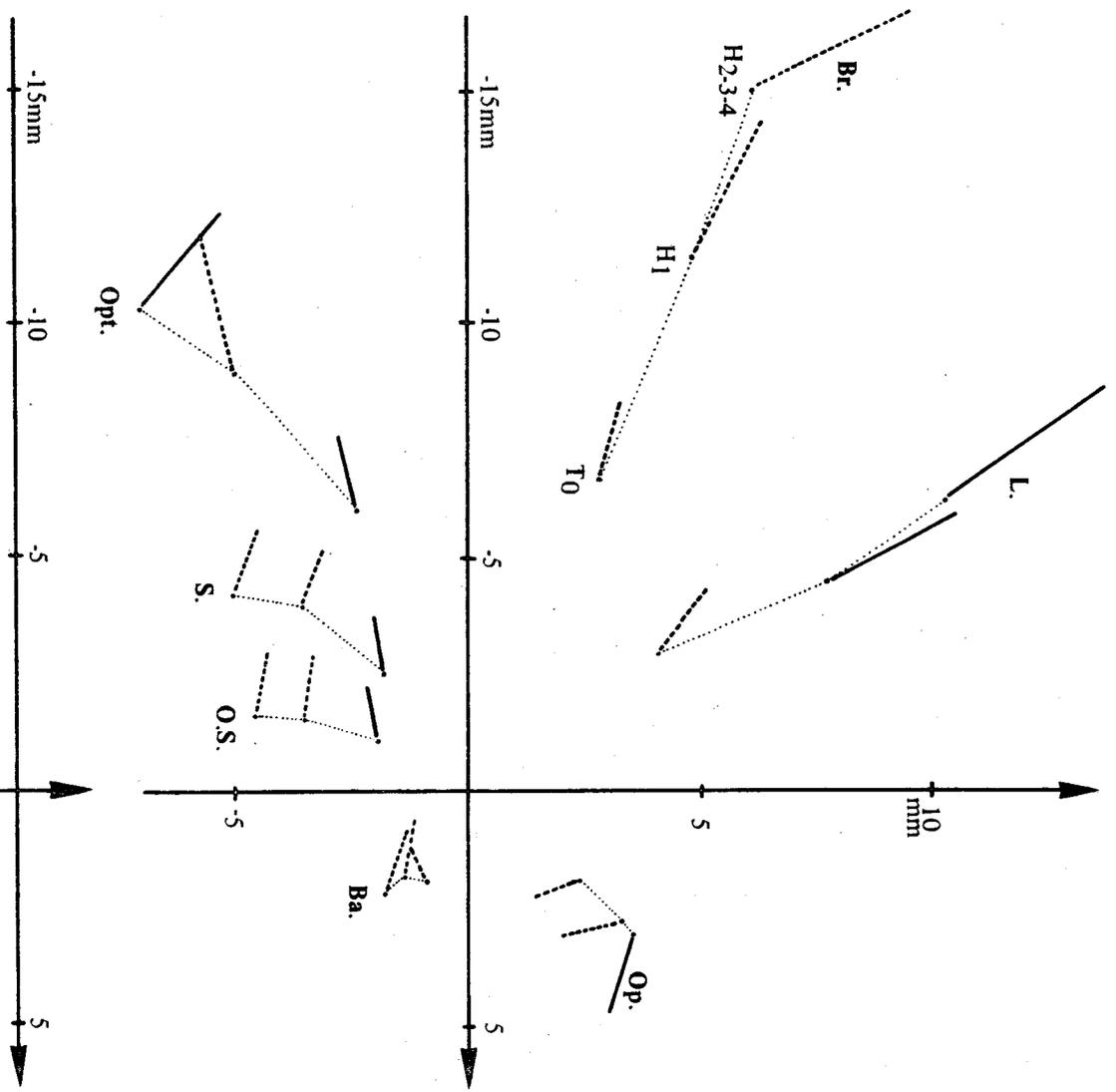
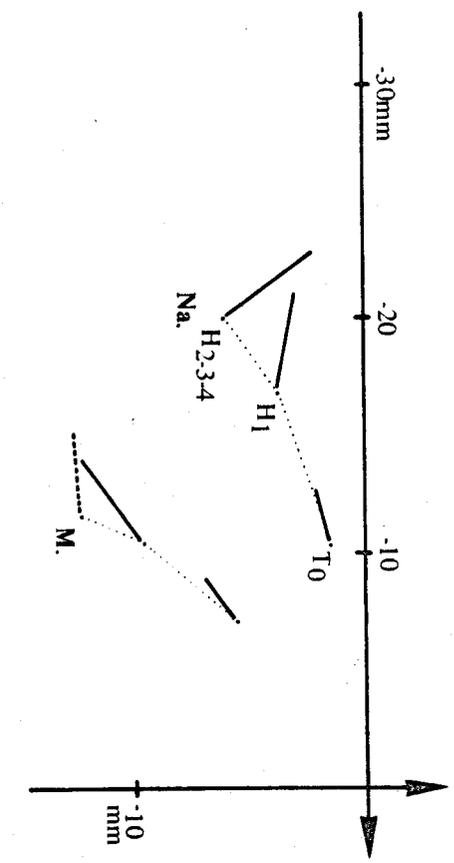
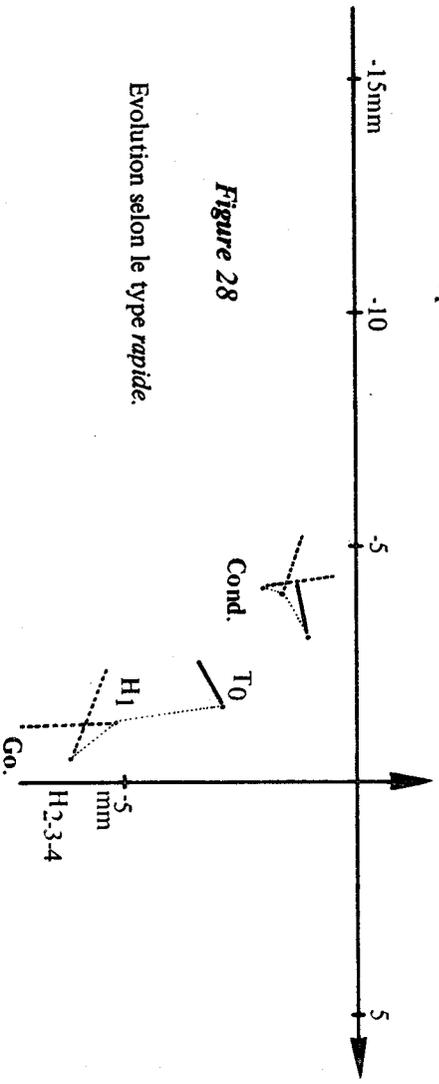


Figure 28

Evolution selon le type rapide.



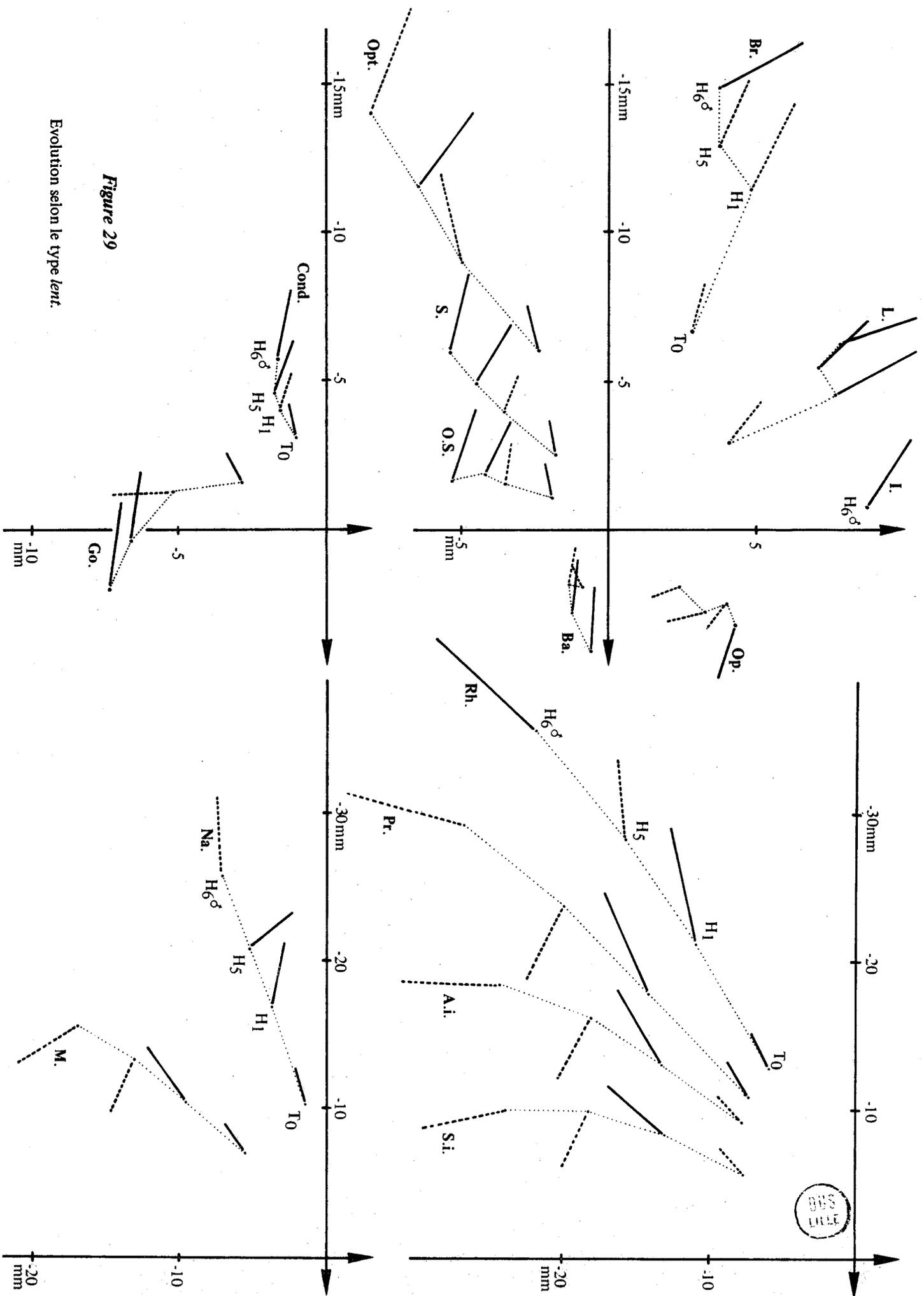
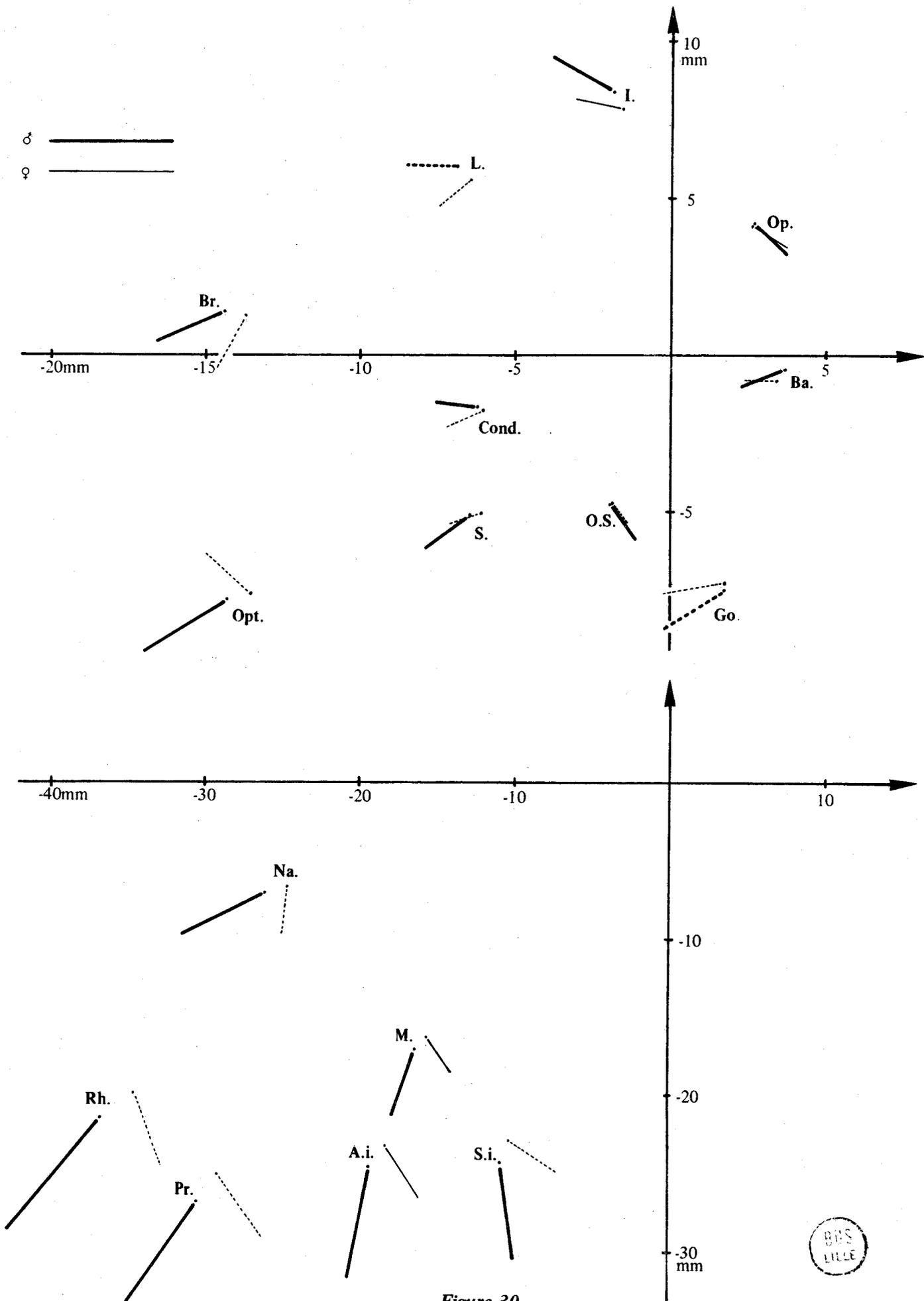


Figure 29

Evolution selon le type lent.



Différences sexuelles chez les témoins.

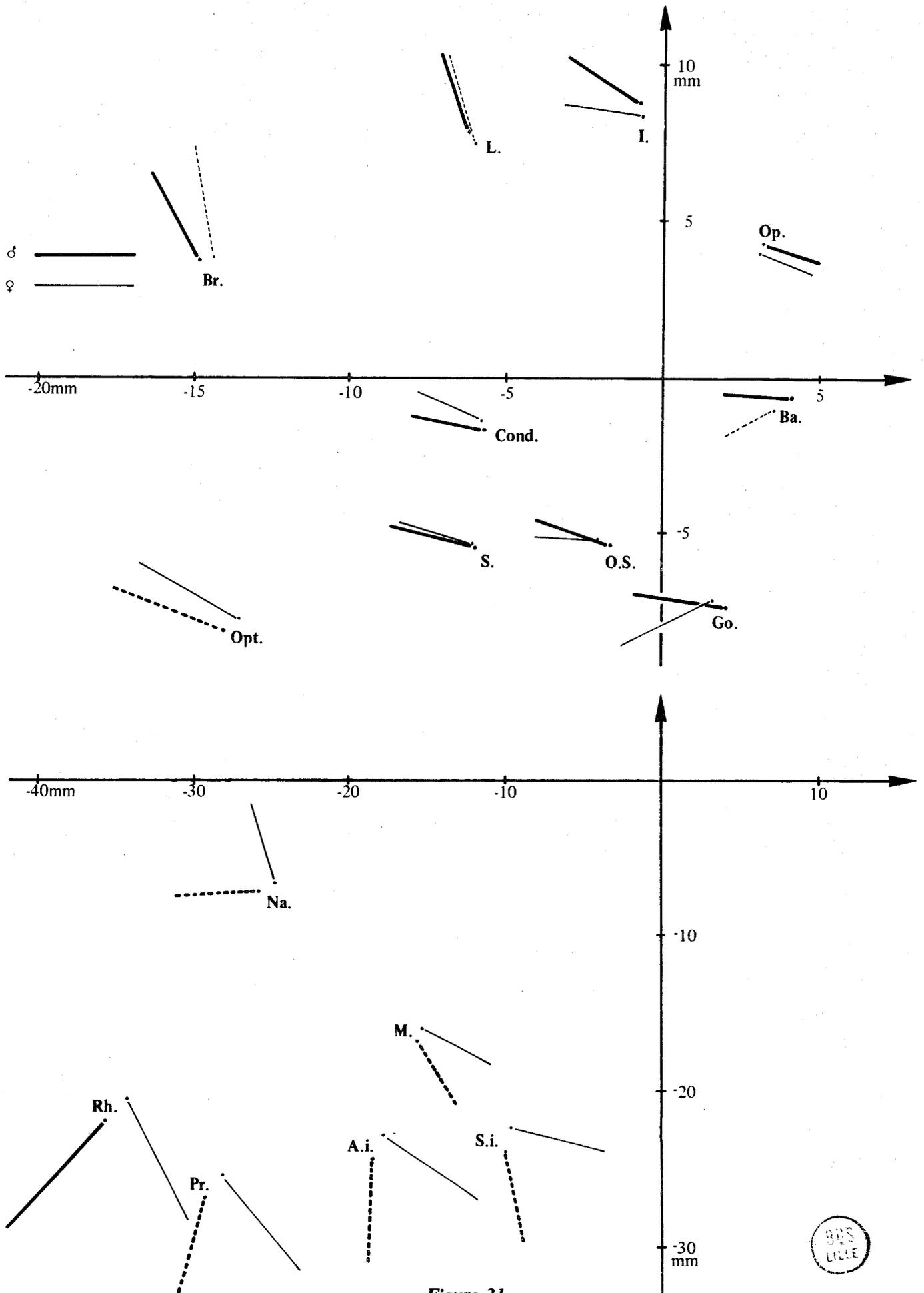


Figure 31

Différences sexuelles chez les hydrocéphales lents.

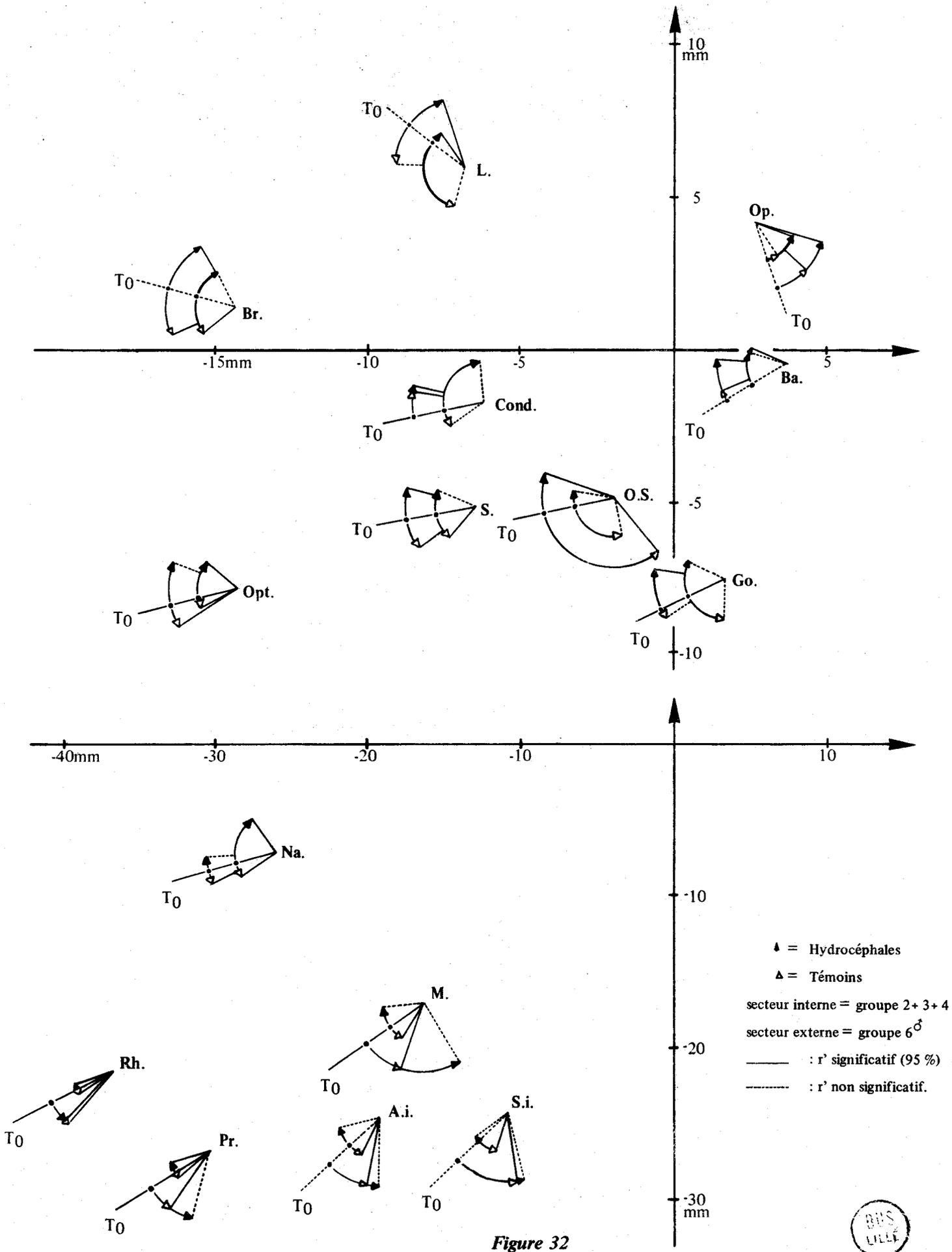


Figure 32

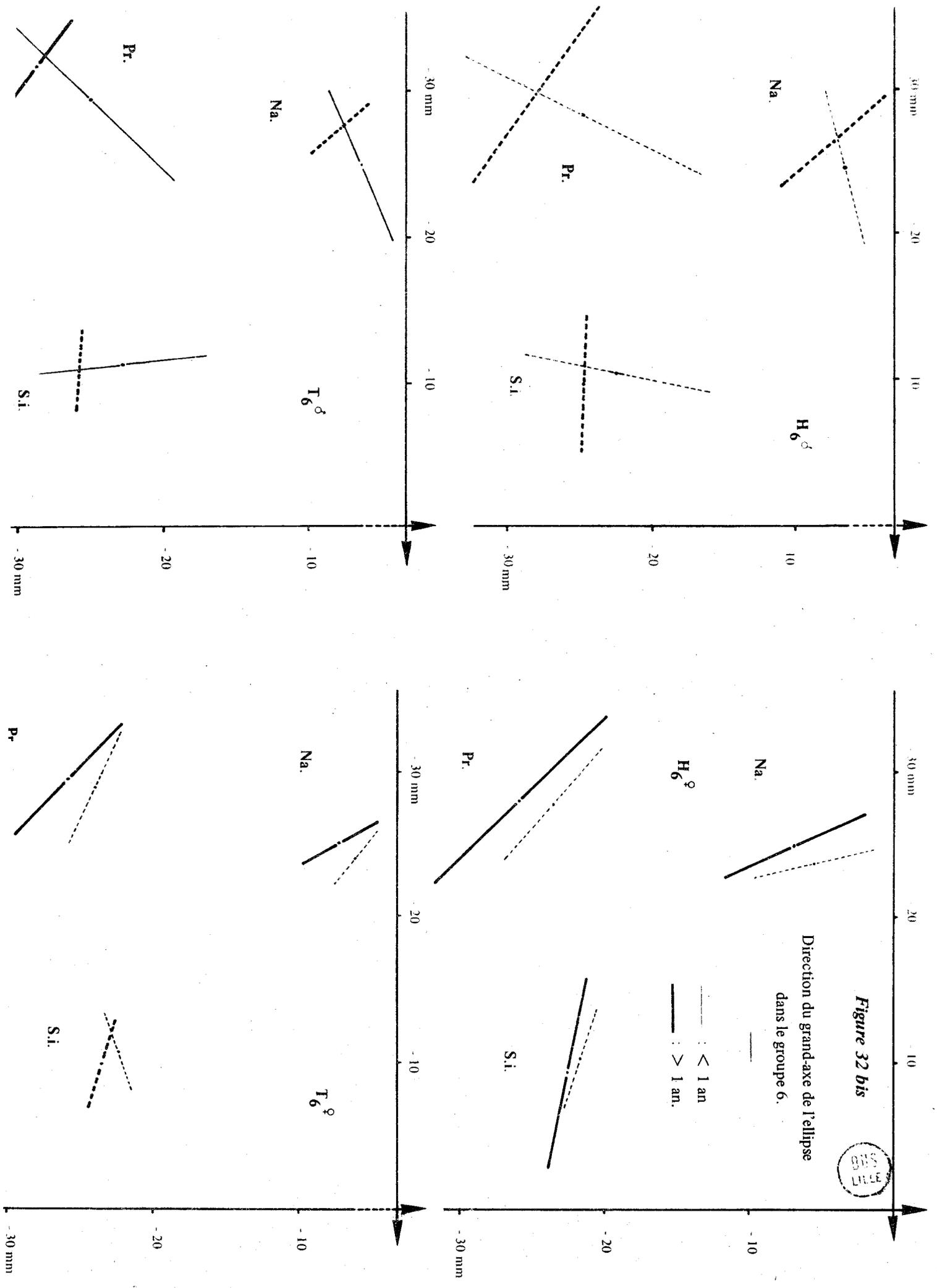
Résumé de l'évolution de la direction de la variation à partir du stade néo-natal (T_0), centrée sur le stade T_6^δ .



Figure 32 bis

Direction du grand-axe de l'ellipse
dans le groupe 6.

— : < 1 an
- - - : > 1 an.



CHAPITRE VII

COMPARAISON ENTRE TEMOINS ET HYDROCEPHALES

Par la superposition des types moyens, les figures 22 à 25 nous ont livré l'essentiel des différences créées par le processus hydrocéphalique, et le test " t " (tableaux 48 et 49) nous a permis une première approche statistique, en considérant séparément les paramètres, et notamment les abscisses et les ordonnées des points. Les ellipses équiprobables vont nous mener plus loin dans notre analyse, en tenant compte *à la fois* des abscisses et des ordonnées.

Deux techniques seront utilisées : celle du taux d'éloignement et celle des droites frontières.

A. – TAUX D'ELOIGNEMENT.

1. Données statistiques.

Cette notion est une application directe des ellipses équiprobables (B. 68) ; elle permet de situer un point donné par rapport à un nuage de points homologues, matérialisé par son ellipse.

Notre travail revient à situer le point moyen hydrocéphale dans l'ensemble du nuage témoin correspondant. Cette méthode a cependant l'inconvénient de ne pas tenir compte de la variabilité des hydrocéphales, mais les résultats nous éclaireront sur les zones où des différences expérimentales doivent être recherchées. Elle peut encore servir à tester un sujet présumé hydrocéphale, en comparant son "éloignement" par rapport à chacun des deux nuages : témoins et hydrocéphales typiques.

La technique consiste à calculer la valeur du λ^2 d'une ellipse concentrique à celle de référence (par exemple celle des témoins) et sur laquelle se place le point étudié (par exemple le point moyen hydrocéphale) excluant un certain pourcentage d'individus dont le chiffre peut être lu dans la table du λ^2 .

Le taux d'éloignement est le complément à 100, du précédent pourcentage; il fournit la propor-

tion des points témoins compris à l'intérieur de l'ellipse construite à l'aide du point moyen hydrocéphale. Ce taux exprime une notion d'éloignement statistique, d'autant plus marqué qu'il est proche de 100 %.

Par exemple, le tableau VIII où sont reportés les taux d'éloignement obtenus pour les sujets hydrocéphales des diverses classes indique une valeur de 40 % pour le prosthion des H_1 : cela signifie que 60 % des points du nuage des témoins peuvent encore se situer hors d'une ellipse équiprobable concentrique qui passerait par le prosthion H_1 .

2. Analyse des résultats.

Dans l'ensemble, les taux d'éloignement sont relativement élevés, donc en faveur d'une nette distinction entre les deux populations. Pour s'en convaincre, il suffit de repérer les valeurs obtenues au niveau de la voûte du neurocrâne (environ 100 %) dans chacune des classes. Cette région mise à part, on s'aperçoit que le plus grand nombre des valeurs élevées est rencontré dans l'hydrocéphalie *rapide*, puis chez les H_1 et enfin dans les classes constituant le processus *lent* (H_5 , H_6^{δ} et H_6^{φ}).

Chez les *rapides*, la plupart des taux avoisinent ou dépassent 90 %. Seuls le nasion, le basion et le gonion présentent des valeurs plus faibles. Chez les H_1 , partant du nasion à taux d'éloignement très faible (1,5%) les valeurs vont croissant vers l'extrémité du massif facial (40 %), puis la mandibule (70 % et plus) et vers le neurocrâne.

Notons encore que le chiffre de l'opisthion (100 %) est plus fort que celui du basion (55 %) chez les $H_2 + H_3 + H_4$.

Chez les *lents*, (stades 5 et 6) on remarquera d'une part que presque toutes les valeurs sont plus faibles que celles des *rapides* et des H_1 et d'autre part que les taux minima sont trouvés au niveau du nasion et du point optique. Les valeurs présentées par tous les points de la base sont, de beaucoup, plus faibles que celles de la voûte. Moins fortes encore sont celles des points du splanchnocrâne pour lequel les taux d'éloignement sont très généralement inférieurs à 50 %. En clair, cela veut dire qu'en présence d'un individu présumé hydrocéphale, les différences doivent d'abord être recherchées au niveau de la voûte neurocrânienne et qu'ensuite le type d'hydrocéphalie auquel il appartient peut être déterminé par analyse de la base du neurocrâne et par celle du splanchnocrâne.

Remarquons également que, en H_6 , les taux d'éloignement du basion et de l'opisthion sont plus proches l'un de l'autre, et tous deux plus faibles, que chez les *rapides*.

Cette méthode du taux d'éloignement est intéressante à cause de la rapidité de son exécution; mais, sachant par ailleurs que la variabilité chez les hydrocéphales est toujours supérieure et dirigée autrement que celle des témoins, nos recherches ont été poursuivies afin d'objectiver d'une manière plus exacte les différences expérimentales, par l'application de la méthode des fonctions discriminantes.



	H ₁		H ₂		H ₃		H ₄		H ₂ + H ₃ + H ₄		H ₅		H ₆ [♂]		H ₆ [♀]	
	λ ²	Tx El. %	λ ²	Tx El. %	λ ²	Tx El. %	λ ²	Tx El. %	λ ²	Tx El. %						
Pr.	1,07	40	19,60	~ 100	10,70	99	23,48	~ 100	8,99	98,5	0,40	18	0,81	35	0,71	30
Rh.	1,07	40	27,86	~ 100	12,35	99,5	85,01	~ 100	13,34	99,5	0,45	20	0,85	35	0,21	10
Na.	0,03	1,5	40,54	~ 100	1,93	60	49,39	~ 100	3,38	80	0,04	2	0,13	7	0,07	3
Br.	37,82	~ 100	97,32	~ 100	397,36	~ 100	260,10	~ 100	155,77	~ 100	18,99	~ 100	22,31	~ 100	28,02	~ 100
L.	53,62	~ 100	133,02	~ 100	410,61	~ 100	406,95	~ 100	187,36	~ 100	22,26	~ 100	20,88	~ 100	23,10	~ 100
I.													9,90	99	9,40	99
Op.	15,65	~ 100	15,75	~ 100	14,78	~ 100	650,78	~ 100	15,04	~ 100	2,10	65	2,49	70	2,60	70
Ba.	2,86	75	4,31	87	3,04	77	58,16	~ 100	1,63	55	1,03	40	1,10	40	1,17	43
O.S.	13,00	99,5	6,36	96	13,38	99,5	19,61	~ 100	7,08	97	1,86	60	1,82	60	2,47	70
S.	9,55	99	14,45	~ 100	20,87	~ 100	4,50	89	13,17	99,5	2,05	60	2,11	65	0,87	35
Opt.	4,73	90	14,99	~ 100	6,33	96	12,47	99,5	6,47	96	0,14	7	0,29	15	0,07	3
S.i.	2,65	70	6,55	96	4,55	89	3,90	85	4,35	88	0,46	20	1,42	50	1,03	40
A.i.	3,53	80	10,01	99	7,85	98	6,09	95	6,35	96	0,48	20	0,91	35	1,07	40
M.	5,17	90	15,55	~ 100	8,06	98	0,79	32	8,07	98	0,83	34	1,16	42	1,21	45
Cond.	3,17	75	7,61	97	37,78	~ 100	3,30	80	9,62	99	2,74	73	1,37	50	2,24	65
Go.	0,56	25	5,83	94	2,01	62	6,94	97	1,51	54	2,08	64	0,36	15	0,14	7

Tableau VIII

Taux d'éloignement des points moyens de l'hydrocéphale de la tranche considérée,
par rapport à l'ellipse équiprobable des témoins correspondants

B. – DIFFERENCES EXPERIMENTALES PAR LA METHODE D'ANALYSE DISCRIMINANTE.

1. Méthode, technique et résultats.

La méthode d'analyse discriminante appliquée à un espace à deux dimensions, revient à établir la "droite frontière" entre deux nuage de points.

Après avoir rendu égale, *par approximation*, la répartition chez les témoins et les hydrocéphales, cette droite est calculée à partir de la connaissance des moyennes, des écarts-types et des coefficients de corrélation pour les nuages pris deux à deux. Un nouveau coefficient de corrélation ("r généralisé") est défini ainsi qu'une "distance généralisée" (D^2). De celle-ci, on déduit $D/2$ qui, reporté dans une table, nous indique le pourcentage de sujets "mal classés".

Ces calculs dont les résultats peuvent être consultés dans les tableaux IX, X et XI ont été réalisés pour la classe 2 + 3 + 4, pour les adultes mâles et les adultes femelles.

A titre d'exemple, si l'on considère le résultat calculé pour le prosthion de la classe 2 + 3 + 4, à une valeur de D^2 égale à 4,0950 correspond un pourcentage de mal classés de 16 %; cela signifie que l'on peut retrouver 16 % des points hydrocéphales du côté "témoin" de la droite frontière et 16 % des points témoins, du côté "hydrocéphale".

La droite frontière, entre les deux populations, (*figure 33*) peut s'exprimer soit sous la forme $y = ax + b$, sachant que $a = -\frac{M}{N}$ et $b = \frac{Q}{N}$, (tableaux IX, X et XI), soit encore sous la forme : $Mx + Ny = Q$. Connaissant la pente en degrés et le milieu du segment unissant les deux points moyens, la représentation graphique devient alors chose aisée.

Chaque nuage de points peut ensuite être projeté sous forme d'histogramme sur une droite perpendiculaire à la droite frontière. On en apprécie le chevauchement réciproque, en tenant compte d'un sigma commun calculé à partir des deux populations.

Signalons encore que, pour chaque point, le programme de calcul prévoit entre autres résultats, les "coordonnées rectifiées" individuelles, soit *une seule valeur* au lieu de deux, l'abscisse et l'ordonnée primitives. A partir des coordonnées des points moyens des deux classes, des effectifs et du nouveau sigma, le test "t" de Student est alors calculé pour comparer les répartitions mises en histogrammes.

Conventionnellement, sur les *figures 34 à 36*, nous avons admis de ne pas représenter la droite frontière pour les points dont l'écartement montre un "t" inférieur à 95 % ; par contre nous avons donné à ce segment de droite une longueur de 1-2 ou 3 centimètres pour des degrés de sécurité minima de 95-99 et 99,9 %.

Les histogrammes ont été dessinés (*figures 37 à 43*) pour les seuls points présentant un "t" significatif à plus de 99,9 %. Sans doute aurait-il été plus démonstratif de replacer ces histogrammes dans le système d'axes, de chaque côté des points moyens. Pour éviter une surcharge, il s'est avéré judicieux de les regrouper séparément après leur avoir appliqué un même facteur de grandissement.

Position 2-3-4

$$Y = 0,8707 X + 0,1054$$
$$0,9820 X - 1,1279 Y = -0,1189$$
$$t = 8,82$$

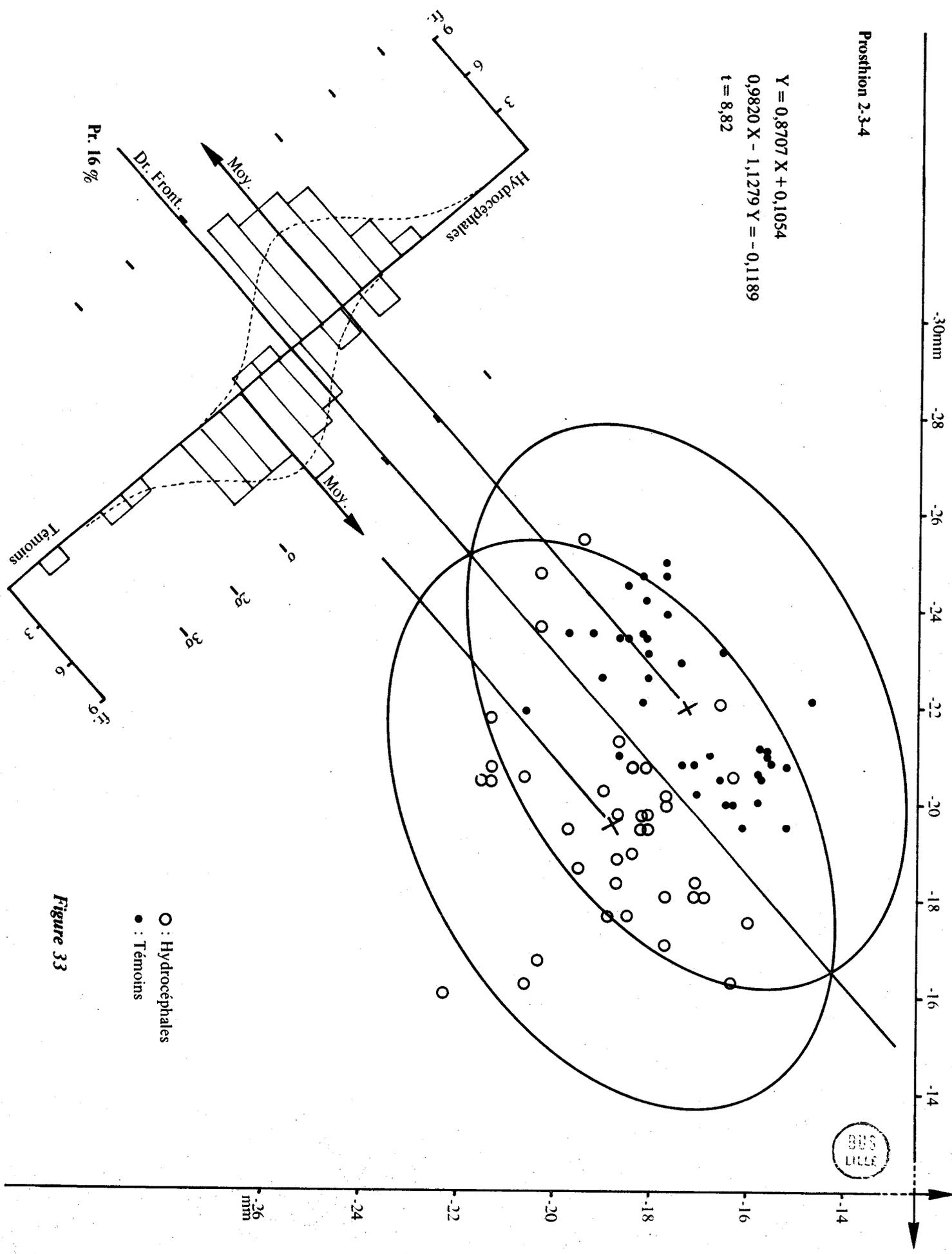


Figure 33

Signalons enfin que, (selon le principe évoqué plus haut d'une approximative égalité admise entre les répartitions) de nouvelles ellipses peuvent être calculées puis dessinées autour des points moyens. Ce sont deux ellipses de même dimension et de même direction dont les deux points d'intersection (quand ils existent) font partie de la droite frontière (*figure 33*). Ces résultats étant consignés dans les tableaux XII, XIII et XIV, nous avons estimé superflu d'en réaliser la figuration. Y sont aussi notés : les valeurs des axes de ces ellipses (A et a) ainsi que le rapport du plus grand sur le plus petit.

2. Interprétation des résultats.

a) Distance généralisée et pourcentage de mal classés.

Dans les résultats portant sur la distance généralisée (D^2), il apparaît que les chiffres sont toujours très supérieurs dans la comparaison faisant intervenir les $H_2 + H_3 + H_4$ et les témoins correspondants, à ceux où les adultes lents (mâles et femelles) sont comparés avec leurs homologues (mâles et femelles). L'évolution des écarts est cependant différentielle selon les régions concernées.

Chez les *rapides*, comme on pouvait s'y attendre, c'est au niveau du bregma et du lambda que les valeurs de D^2 les plus fortes (respectivement 28 et 25) sont trouvées. Pour les autres points, les valeurs sont inférieures à 10. De la voûte, les chiffres décroissent rapidement vers la base. Du point S (avec 8,5) et du rhinion (avec 5,5), les valeurs décroissent d'une part vers le nasion (2,2) et d'autre part vers le basion (1,0) et le bord inférieur de la mandibule (1,8). Ainsi, à partir de ces trois zones où l'écart est maximum, des gradients s'observent très nettement. Ils traduisent, dans une région donnée, l'intensité de l'impact du processus pathologique sur la position des éléments anatomiques, dans les axes vestibulaires.

Chez les *lents*, les valeurs présentées par ce même paramètre D^2 sont, chez les mâles, généralement supérieures à celles des femelles pour le neurocrâne, l'inverse étant observé pour le splanchnocrâne. Les distances généralisées sont nettement moins élevées que chez les hydrocéphales *rapides* (3 fois pour la voûte, 5 à 8 fois pour la base, et environ 10 fois pour la face). Sur les trois maxima précédents, deux seulement sont retrouvés : au niveau du pariétal (avec un chiffre d'environ 10) et vers le milieu de la base (0,8 pour S. et 1,3 pour O.S.). Par contre, toute la zone splanchnocrânienne possède des distances faibles et assez homogènes (environ 0,5). Il résulte de là une simplification des gradients décrits plus haut.

Ce mode de calcul, particulièrement instructif, démontre une fois de plus que l'influence de l'hydrocéphalie sur le splanchnocrâne des individus arrivés à l'état adulte, est faible. Cela appuie les constatations d'ordre général, faites sur d'autres espèces et particulièrement sur l'Homme, où il a pu être démontré grâce à l'orientation vestibulaire, que le splanchnocrâne suivait des lois morphogénétiques différentes de celles du neurocrâne.

Il est bien évident que les précédentes considérations nous dispensent d'avoir à revenir en détail sur l'exposé des valeurs des mal classés, car plus D^2 est *grand*, plus les groupes divergent et plus *faible* est le pourcentage de mal classés. C'est pourquoi, d'une façon très générale, les pourcentages sont toujours largement plus importants dans le processus *lent* que dans le processus *rapide*.

b) *Direction des droites frontières (figures 34 à 36).*

Cette méthode est intéressante car elle ajoute à la notion *quantitative*, fournie par le pourcentage de mal classés, une donnée *positionnelle* en mettant en place, dans l'espace vestibulaire d'orientation, une droite dont il est facile de se représenter la position "anatomique", et par rapport à laquelle on sait que se trouvent, en majorité, les témoins d'un côté et les hydrocéphales de l'autre.

La comparaison des droites construites pour les divers points céphaliques, nous donne tout de suite une idée de la direction (centrifuge, verticale, antéro-postérieure etc...) dominante du processus hydrocéphalique dans une région donnée de la tête (laquelle est perpendiculaire à celle de la droite frontière !).

L'examen du tracé des droites frontières dans les trois séries de sujets permet diverses constatations :

- Toute représentation de droite frontière au niveau du nasion et du point optique des groupes 6 mâles et 6 femelles est illusoire puisque les pourcentages de mal classés sont très élevés. Il en est de même du rhinion et du gonion chez les femelles.

- Pour le neurocrâne, lorsqu'on observe par le côté gauche la direction générale des droites frontières, tout se passe comme si, partant du basion - point pour lequel la pente dans les trois classes (*figures 34, 35 et 36*) est assez semblable - et parcourant la voûte d'arrière en avant, ces segments de droite subissaient une rotation dans le sens anti-horaire. Ce mouvement atteint 180° au bregma chez les *rapides*. Il s'y ajoute 75° au nasion et encore 45° au point optique; quant au point S, sa droite frontière est à nouveau parallèle à celle du basion.

Faisant abstraction du nasion et du point optique, cette même rotation n'atteint que 90° au bregma chez les *lents*, la direction relative à S faisant encore avec celle du basion un angle de 20° . On notera en outre la direction de la droite frontière de l'opisthion : perpendiculaire à l'horizontale chez les *rapides*, elle est dirigée vers le haut et l'avant chez les *lents*.

- Pour le splanchnocrâne, les droites frontières sont divergentes en éventail, dans tous les cas; mais pour un point donné, les directions sont plus verticales en 6 qu'en : 2 + 3 + 4. - En outre, le gonion qui a une droite frontière déjà oblique en bas et un peu en arrière chez les *rapides*, voit cette direction s'accuser chez les *lents*. Le décalage angulaire est d'environ 30 degrés entre les *rapides* et les *lents*, et les directions semblent converger, chez ces derniers, plus en avant que chez les premiers.

Les précédentes constatations illustrent bien le degré d'intensité du processus hydrocéphalique au niveau du neurocrâne, le refoulement concentrique de la voûte et de la base étant d'autant plus marqué que les droites frontières tendent à devenir perpendiculaires à la direction principale de la poussée cérébrale centrifuge. Quant au splanchnocrâne, la plus grande obliquité des droites frontières chez les hydrocéphales *rapides* est le signe d'une rotation de l'ensemble : "face + mandibule". Chez les hydrocéphales *lents*, la rotation, bien moins marquée, semble céder le pas à un mouvement de recul du splanchnocrâne dans les axes d'orientation. Ces résultats rappellent ceux obtenus par B. Terk, sur les mêmes populations, à propos de son étude sur la position des dents.

c) *La variation.*

Sur les mêmes dessins que précédemment (*figures 34 à 36*), à partir du point moyen hydrocéphale et du point moyen témoin, une perpendiculaire à la droite frontière (ou à ce qui devrait être sa direction) est tracée permettant d'y projeter, quand on en a la possibilité matérielle, chaque nuage de points. Le calcul du nouveau sigma qui en résulte donne des résultats dont l'interprétation est plus simple que lorsqu'on considère séparément la variation des abscisses et celle des ordonnées, et en complète les enseignements. Pour les points où une signification de 99,9 % est atteinte, les histogrammes (*figures 37 à 43*) représentés en dehors de toute orientation explicitent ces notions de dispersion.

De nouveau, on remarque dans chacun des trois groupes de comparaison que les plus grandes variations sont obtenues pour les points les plus éloignés du centre des axes de référence avec un maximum aux extrémités du massif facial et un minimum au niveau de l'arrière-crâne.

La variation pour le bregma, le lambda et l'opisthion est plus importante dans le groupe 2 + 3 + 4 que chez les adultes mâles, mais un peu plus réduite que celle-ci pour les autres points. Tenant compte de cette dernière notion ainsi que du plus grand éloignement du centre des axes pour les points craniométriques pris chez l'adulte, il est logique de déduire que la variation dans l'hydrocéphalie *rapide* est relativement plus forte que celle observée dans l'hydrocéphalie *lente*.

Comparant la variation des mâles à celle des femelles, on observe des valeurs très voisines ou légèrement plus fortes chez les femelles pour les points du massif facial et ceux de la voûte du neurocrâne, alors que cette variation se trouve être sensiblement plus faible au niveau de la base neurocrânienne et de la mandibule.

d) *Calcul de " t ".*

Entre les histogrammes homologues, tels qu'ils sont représentés sur les *figures 37 à 43*, la comparaison des moyennes peut être faite par un calcul de " t " (tableaux IX, X et XI). Ici encore, cette comparaison tient lieu des deux autres, déjà proposées antérieurement, et portant sur les deux coordonnées séparées.

On notera que chez les *rapides*, tous les points ont un " t " dont la signification dépasse 99,9 %; or, chez les *lents* (mâles et femelles) le " t " n'est pas significatif pour le nasion et le point optique. La région ethmoïdale est donc peu affectée chez eux. Le rhinion et le gonion des femelles est aussi, peu modifié. Pour tous les autres points des hydrocéphales *lents*, le degré de signification est moindre que chez les *rapides*, mais demeure cependant élevé pour la partie postérieure de la base et pour la voûte.

Différences expérimentales par méthode d'analyse discriminante

$H_2 + H_3 + H_4$ $T_2 + T_3 + T_4$	r	D ²	M	N	Q	a	pente ^(c)	b	D/2	%	σ	t
Pr	0,3684	4,0950	0,9820	-1,1279	-0,1189	0,8707	41,05	0,1054	1,0118	16,0	1,3532	***8,82
Rh	0,3258	5,5205	0,8555	-1,4752	-0,1094	0,5799	30,11	0,0742	1,1748	12,0	1,3778	***10,24
Na	-0,1633	2,2478	-0,7694	-1,1772	21,4814	-0,6536	-33,17	-18,2486	0,7496	23,0	1,0661	***6,54
Br	-0,0025	28,6063	-3,6982	4,3447	68,5184	0,8512	40,40	15,7704	2,6742	0,4	0,9374	***23,31
L.	-0,3145	25,2724	0,6148	5,5607	41,7095	-0,1106	-6,31	7,5008	2,5136	0,6	0,8986	***21,91
Op	-0,2816	5,3603	5,0909	0,0510	12,8494	-99,8028	-89,43	251,9023	1,1576	12,5	0,4548	***10,09
Ba	-0,1762	1,0528	1,9642	-1,9310	6,8867	1,0172	45,49	-3,5663	0,5130	31,0	0,3725	***4,47
O.S.	-0,0557	5,3296	3,7982	-4,6781	12,4417	0,8119	39,07	-2,6595	1,1543	12,5	0,3831	***10,06
S.	0,0855	8,5876	4,5301	-5,5978	4,2058	0,8093	38,98	-0,7513	1,4652	7,5	0,4070	***12,77
Opt.	-0,0539	3,6267	0,5563	-2,5816	10,6593	0,2155	12,16	-4,1290	0,9522	18,0	0,7211	***8,30
Si.	0,2742	1,8530	1,2623	-0,4781	-4,1991	2,6401	69,25	8,7827	0,6806	24,5	1,0085	***5,93
Ai.	0,1810	3,0805	1,3798	-0,6288	-10,6143	2,1943	65,50	16,8800	0,8776	19,5	1,1574	***7,65
M.	0,2335	2,7668	1,5378	-1,0934	-5,8683	1,4064	54,59	5,3668	0,8317	20,5	0,8815	***7,25
Cond.	0,0664	4,6353	3,9071	-2,7017	-12,9930	1,4462	55,34	4,8092	1,0765	14,0	0,4532	***9,39
Go.	-0,0668	1,1454	1,7726	0,2545	-3,2277	-6,2304	-80,88	-11,3447	0,5351	30,5	0,5961	***4,67

N.B. ; Valeurs limites de "t" || 1,99 pour 95 % (*)
 || 2,64 pour 99 % (**)
 || 3,43 pour 99,9 % (***)

Tableau IX



Différences expérimentales par méthode d'analyse discriminante

H ₆ ♂ T ₆ ♂	r	D ²	M	N	Q	a	pente ^(°)	b	D/2	%	σ	t
Pr	0,3219	0,4632	0,3278	-0,0986	-7,1188	3,3229	73,25	72,1646	0,3403	36,5	1,9883	**2,89
Rh	0,4717	0,5036	0,3158	-0,2051	-6,9216	1,5401	57,00	33,7530	0,3548	36,0	1,8846	**3,01
Na	0,3054	0,0727	0,1539	-0,1144	-3,1744	1,3451	53,37	27,7473	0,1348	44,5	1,4054	1,14
Br	-0,0807	9,3239	-0,5118	3,6166	16,7980	0,1415	8,06	4,6447	1,5267	6,5	0,8360	***12,95
L.	-0,1827	10,4913	2,5732	4,6775	15,7817	-0,5501	-28,82	3,3740	1,6195	5,5	0,6067	***13,74
I.	-0,4257	4,6525	2,8791	2,8202	20,7193	-1,0209	-45,59	7,3468	1,0785	13,5	0,5352	***9,15
Op	-0,3053	1,3941	2,3374	1,3943	12,8517	-1,6764	-59,18	9,2175	0,5904	27,5	0,4338	***5,01
Ba.	0,0850	0,5625	1,1265	-0,8766	4,9391	1,2851	52,11	-5,6345	0,3750	36,0	0,5255	**3,18
O.S.	-0,3272	1,2720	0,2517	-2,1436	10,4462	0,1174	6,70	-4,8731	0,5639	29,5	0,5225	***4,79
S.	-0,0517	0,8005	0,8129	-1,2225	1,4633	0,6650	33,62	-1,1969	0,4474	33,0	0,6094	***3,80
Opt	0,0511	0,1115	0,1914	-0,3143	-0,2045	0,6091	31,34	0,6506	0,1670	44,0	0,9076	1,42
S.i.	-0,1418	0,6303	0,5979	0,1442	-9,7093	-4,1472	-76,44	-67,3408	0,3970	34,5	1,2906	**3,37
A.i.	0,1398	0,4637	0,4651	0,0116	-9,0389	-40,0968	-88,57	-779,3188	0,3405	36,5	1,4636	**2,89
M.	0,0614	0,6107	0,6613	0,0776	-11,8614	-8,5220	-83,31	-152,8594	0,3907	35,0	1,1737	**3,32
Cond.	-0,2056	0,5795	1,1377	0,4095	-7,4110	-2,7779	-70,20	-18,0954	0,3806	35,5	0,6297	**3,23
Go.	0,0148	0,3250	0,4709	0,5730	-3,3982	-0,8218	-39,41	-5,9309	0,2850	38,5	0,7687	*2,42

N.B. : Valeurs limites de "t" | 1,99 pour 95 % (*)
 | 2,65 pour 99 % (**)
 | 3,44 pour 99,9 % (***)

Tableau X



Différences expérimentales par méthode d'analyse discriminante

H ₆ ♀ T ₆ ♀	r	D ²	M	N	Q	a	pen ^(o)	b	D/2	%	σ	t
Pr	-0,4304	0,4829	0,4387	0,1242	-15,6756	-3,5309	-74,19	-126,1677	0,3474	36,5	1,5242	**2,78
Rh	-0,3440	0,1060	0,1557	-0,0538	-4,2518	2,8942	70,94	79,0575	0,1628	44,0	1,9770	1,30
Na	-0,1483	0,0333	0,0033	0,1322	-0,9637	-0,0251	-1,43	-7,2873	0,0912	46,0	1,3782	0,73
Br	-0,0174	9,1819	-1,1741	3,0811	24,6778	0,3810	20,86	8,0094	1,5151	6,5	0,9190	***12,12
L.	-0,0834	8,3491	1,6820	3,7310	14,1122	-0,4508	-24,27	3,7824	1,4447	7,5	0,7060	***11,56
I.	-0,1148	3,7650	2,1263	2,9967	22,1666	-0,7095	-35,36	7,3969	0,9702	16,0	0,5281	***7,76
Op.	-0,3805	1,0769	2,2356	0,7668	9,5148	-2,9157	-71,07	12,4093	0,5189	30,5	0,4391	***4,15
Ba	0,1247	0,4926	0,9479	-1,5541	4,5723	0,6099	31,38	-2,9420	0,3509	36,5	0,3856	**2,81
O.S.	-0,0615	1,4085	0,2037	-3,4043	16,3955	0,0598	3,42	-4,8160	0,5934	27,5	0,3480	***4,75
S.	-0,3098	0,3469	0,2129	-1,4661	6,3750	0,1452	8,26	-4,3483	0,2945	38,0	0,3975	*2,36
Opt.	-0,3647	0,0316	-0,2082	-0,0258	3,0229	-8,0812	-82,95	-117,3287	0,0889	46,0	0,8480	0,71
Si.	-0,3000	0,6536	0,3667	0,6976	-19,4404	-0,5257	-27,73	-27,8684	0,4042	34,5	1,0259	**3,18
A.i.	-0,5253	0,6440	0,5188	0,5383	-21,7772	-0,9638	-43,94	-40,4588	0,4013	34,5	1,0734	**3,16
M.	-0,4886	0,7763	0,7374	0,9045	-26,0436	-0,8152	-39,19	-28,7918	0,4406	33,0	0,7549	***3,47
Cond.	-0,1485	1,7129	1,2885	2,5171	-11,3925	-0,5119	-27,11	-4,5260	0,6544	25,5	0,4628	***5,15
Go.	0,3145	0,1178	-0,0967	0,5378	-4,0242	0,1798	10,19	-7,4833	0,1716	43,0	0,6281	1,35

N.B. : Valeurs limites de "t" || 2,00 pour 95 % (*)
 || 2,66 pour 99 % (**)
 || 3,46 pour 99,9 % (***)

Tableau XI





Droites frontières et pourcentages de mal classés

- entre : – les hydrocéphales *rapides* : Figure 34
– les hydrocéphales *lents* ♂ : Figure 35
– les hydrocéphales *lents* ♀ : Figure 36
et les témoins correspondants.



- La longueur de la droite frontière est représentée en fonction de la signification de t :**
- 3 centimètres pour une sécurité $\geq 99,9\%$
 - 2 centimètres pour une sécurité de 99 à 99,9 %
 - 1 centimètre pour une sécurité de 95 à 99 %
 - pas de droite pour une sécurité $< 95\%$.



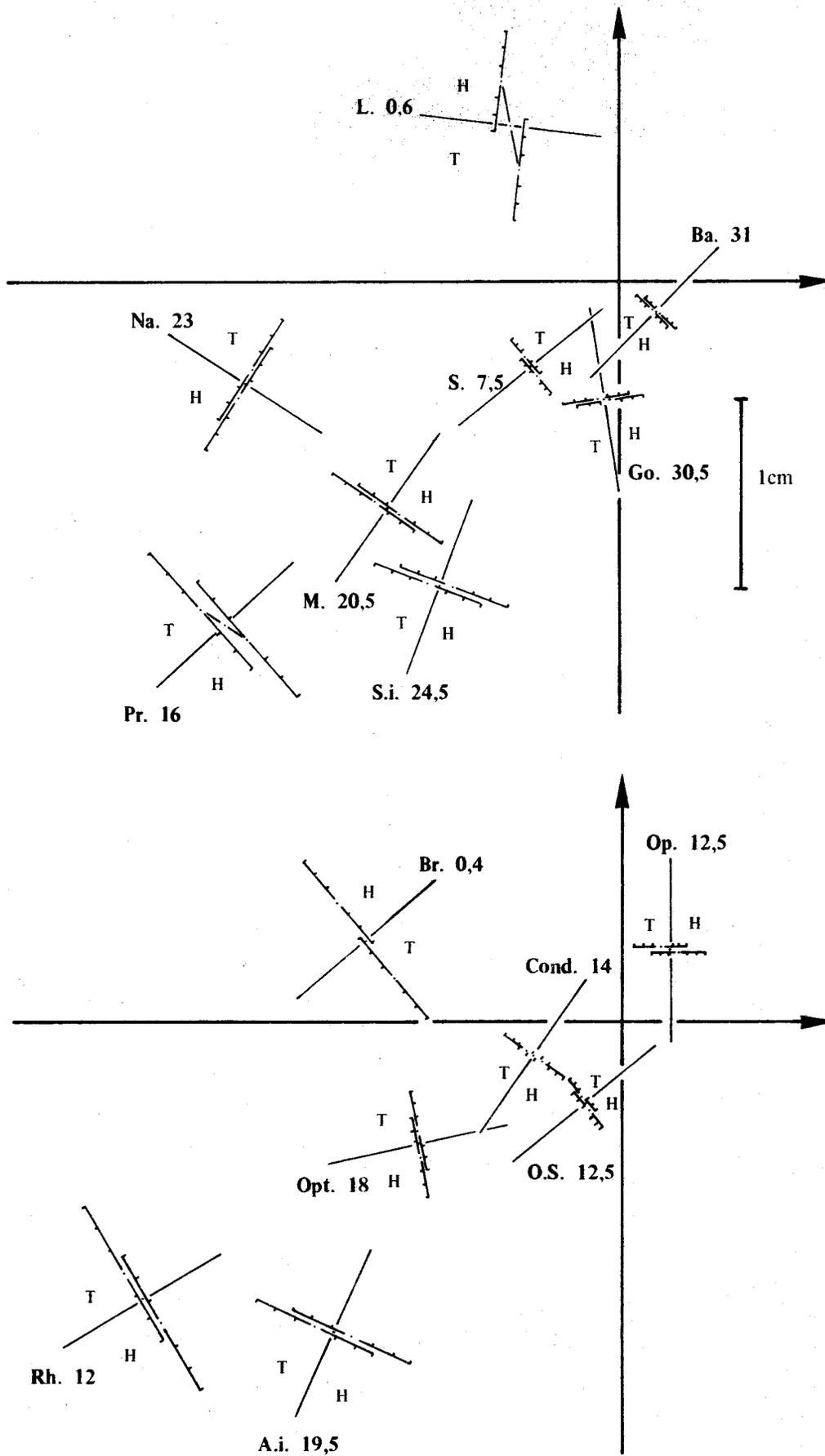


Figure 34

Comparaison entre témoins (2 + 3 + 4) et hydrocéphales *rapides* (2 + 3 + 4).



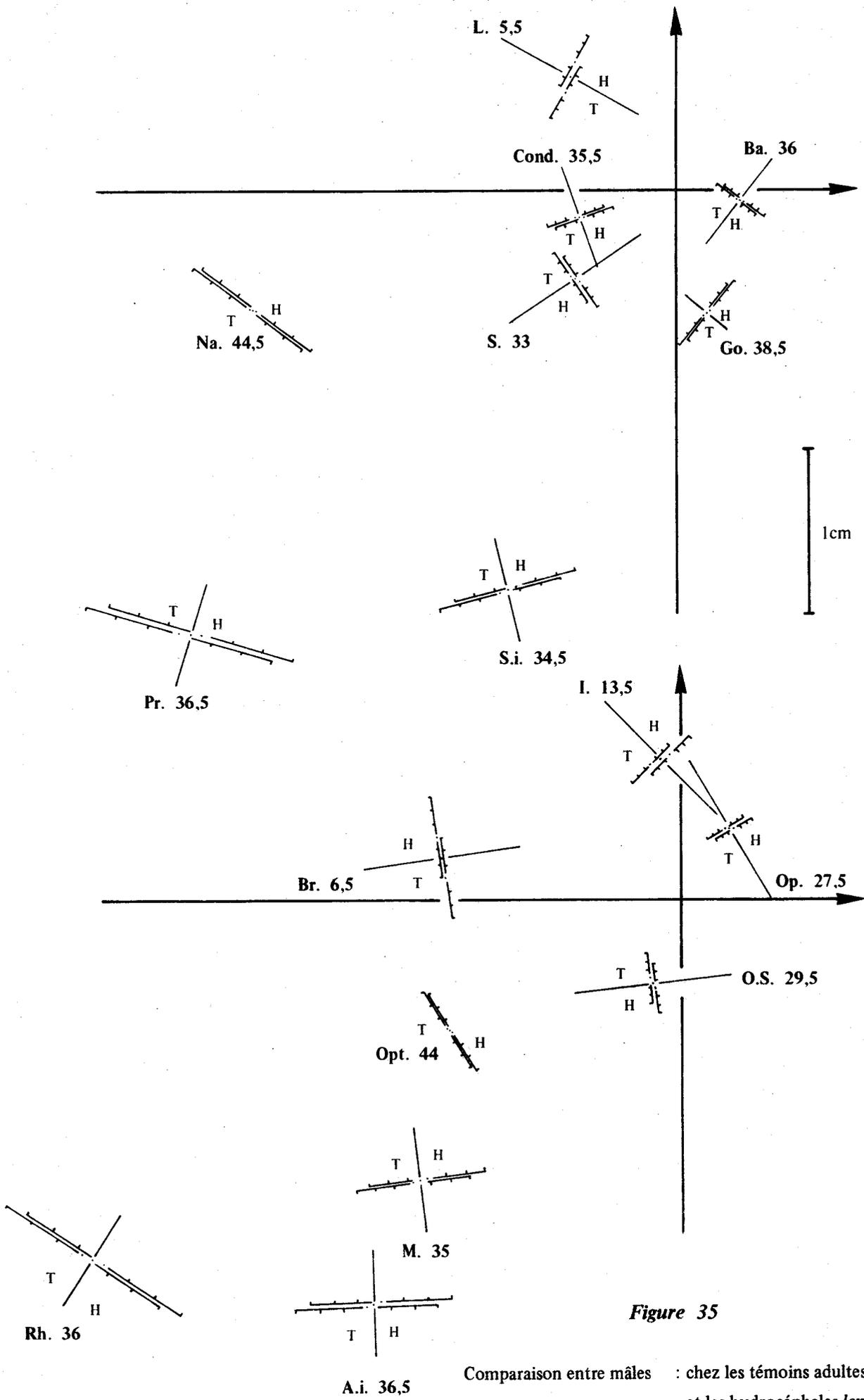


Figure 35

Comparaison entre mâles : chez les témoins adultes (T_6^δ) et les hydrocéphales lents (H_6^δ).

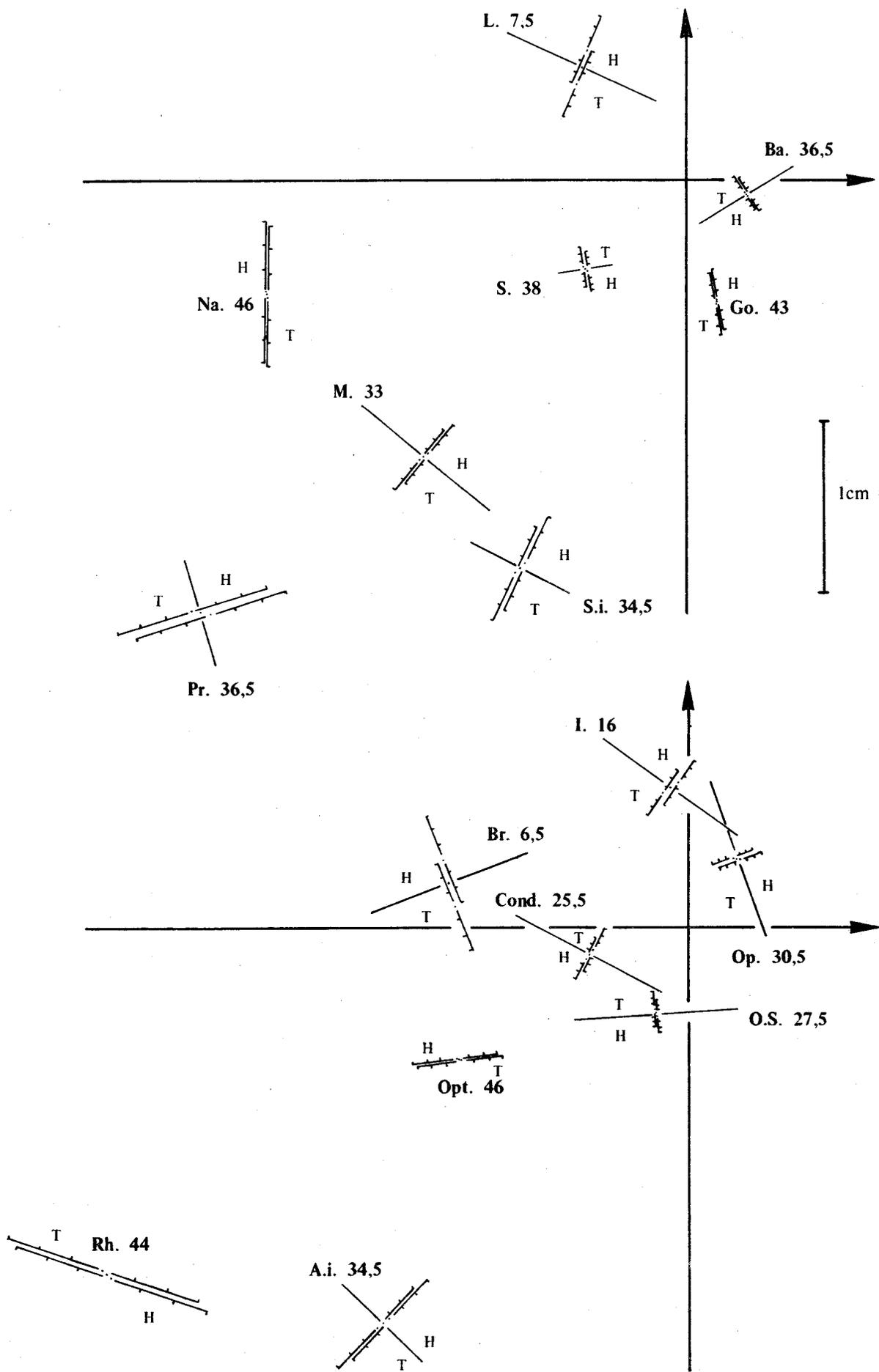


Figure 36

Comparaison entre femelles : chez les témoins adultes ($T_6^{\text{♀}}$)
 et les hydrocéphales *lents* ($H_6^{\text{♀}}$).



Histogrammes adossés (hydrocéphales/témoins) des nouvelles distributions de fréquence se rapportant aux nuages de points.

Chez les *rapides* : Figures 37 à 40

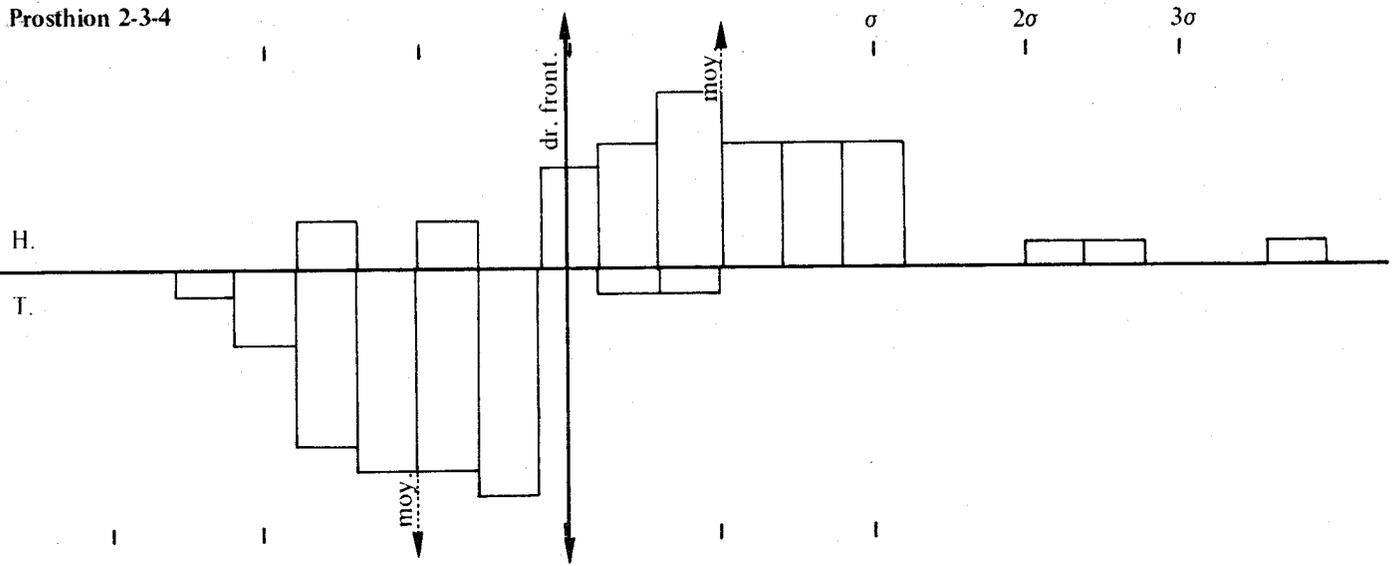
Chez les *lents* : Figures 41 à 43.



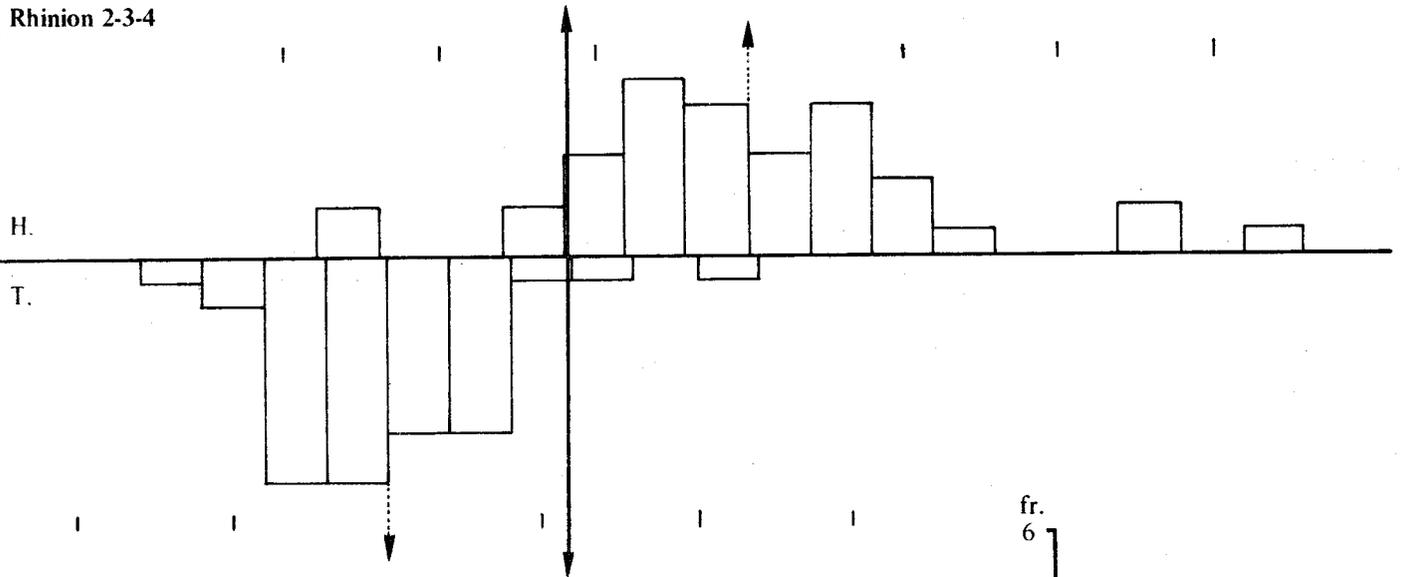
Les éléments présentant des différences significatives à 99,9 % ont seuls été retenus.



Prosthion 2-3-4



Rhinion 2-3-4



Nasion 2-3-4

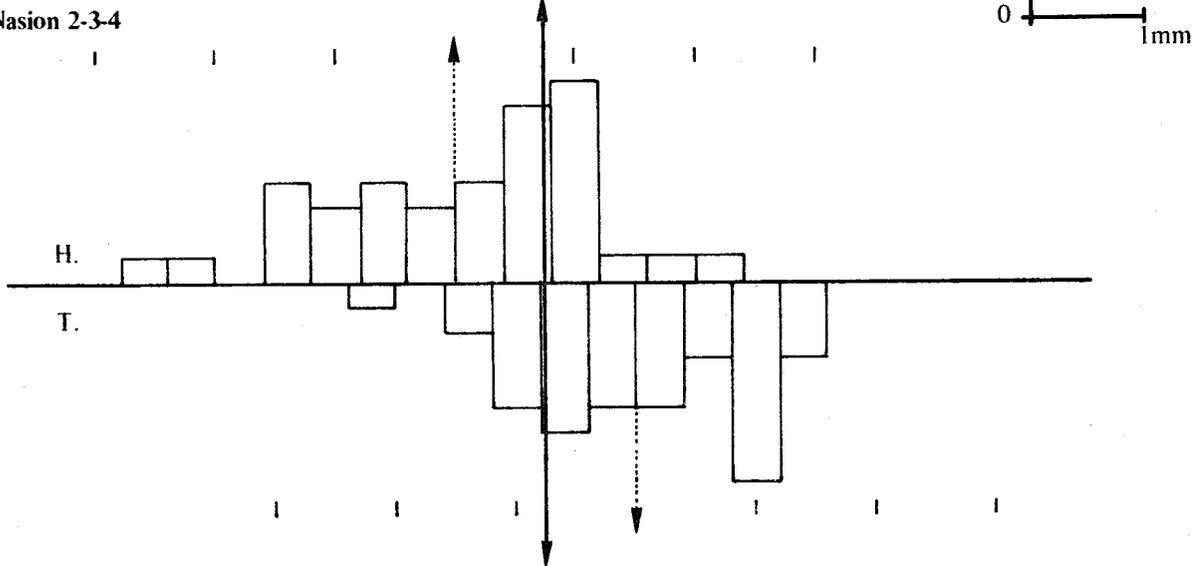


Figure 37

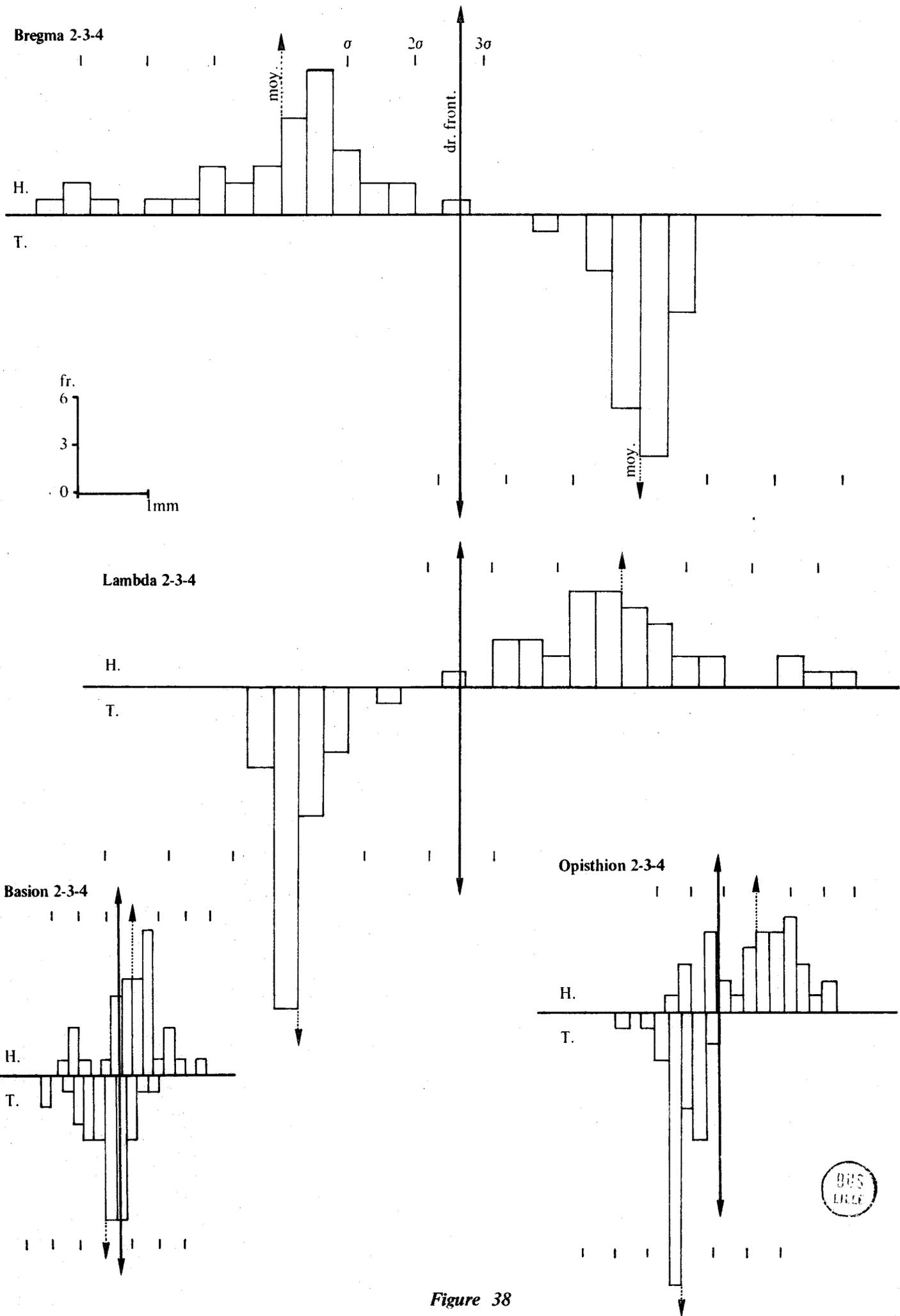
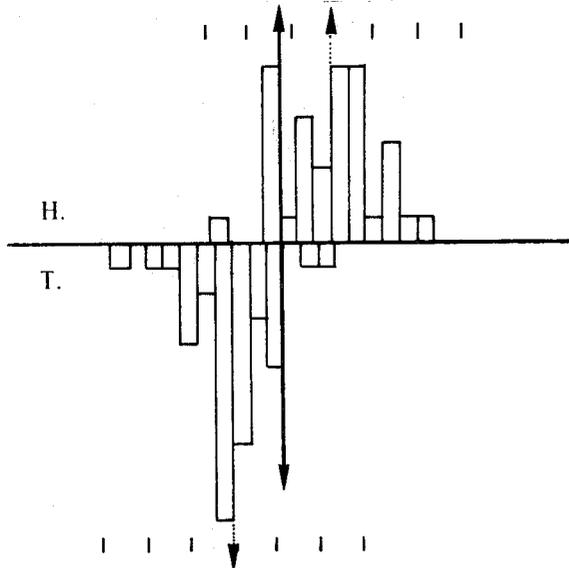
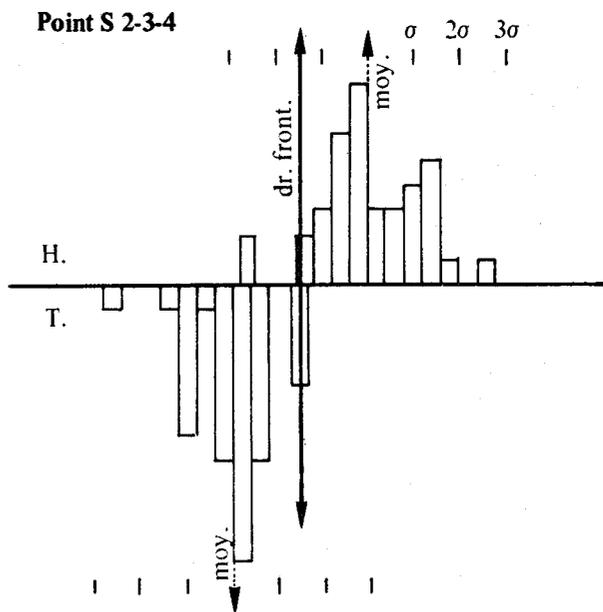


Figure 38

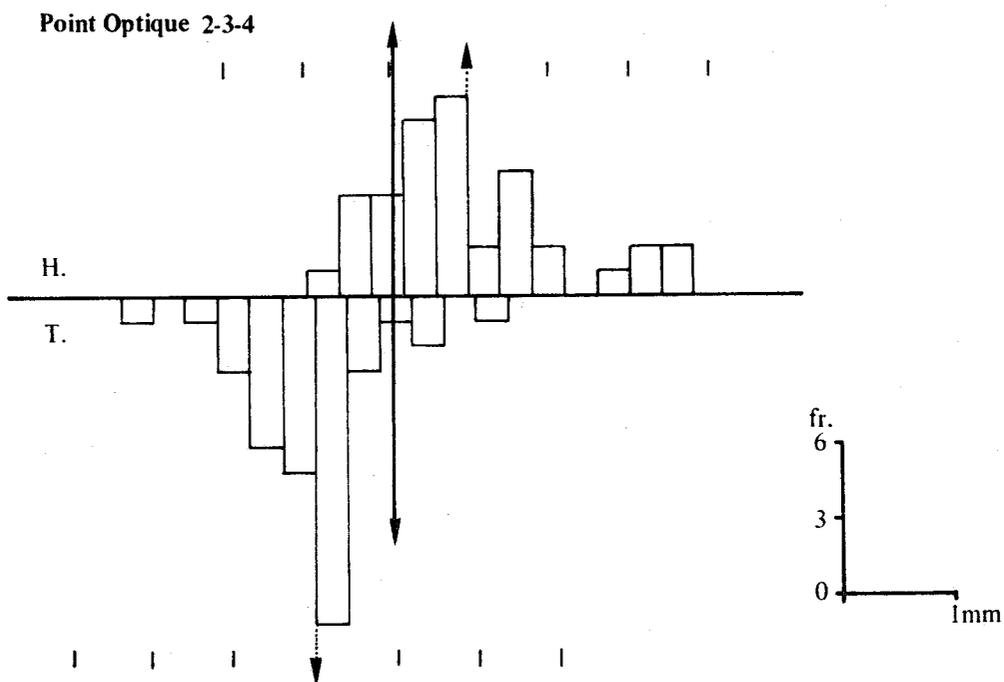
Point Occipito-Sphénoïdal 2-3-4



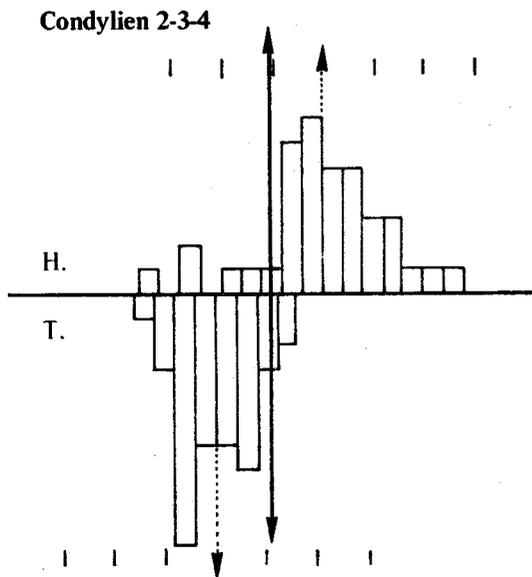
Point S 2-3-4



Point Optique 2-3-4



Condylion 2-3-4



Gonion 2-3-4

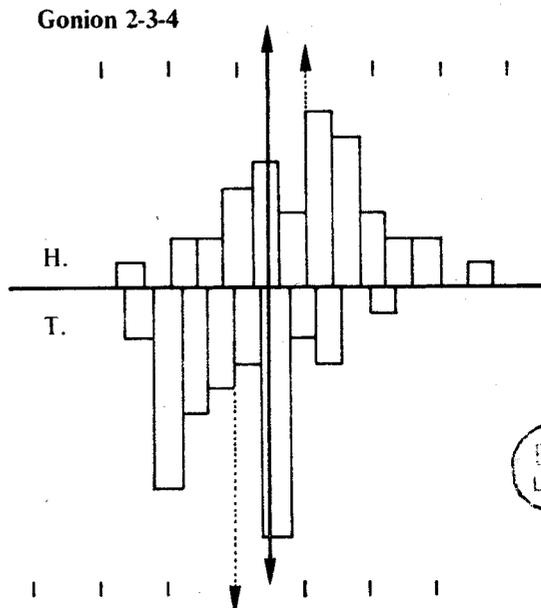
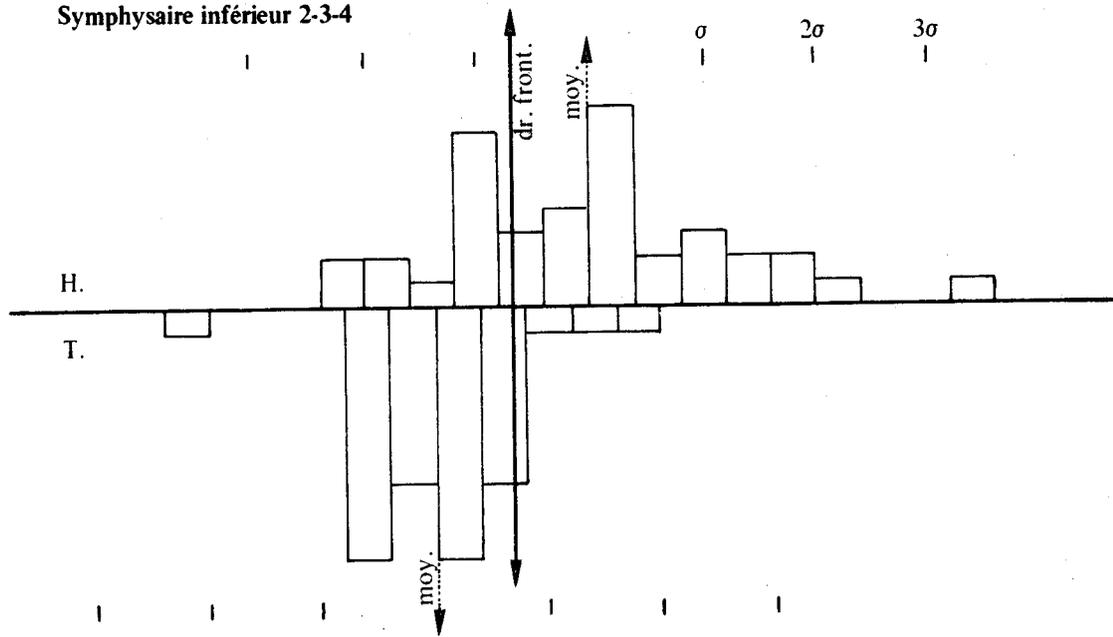
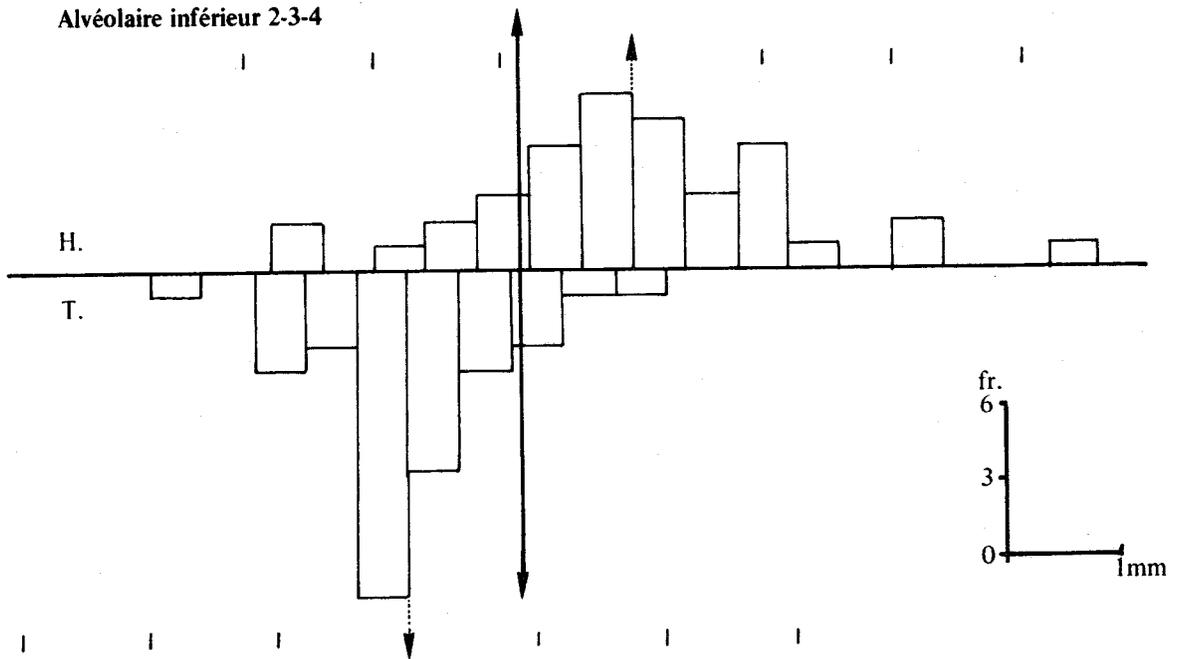


Figure 39

Symphysaire inférieur 2-3-4



Alvéolaire inférieur 2-3-4



Molaire 2-3-4

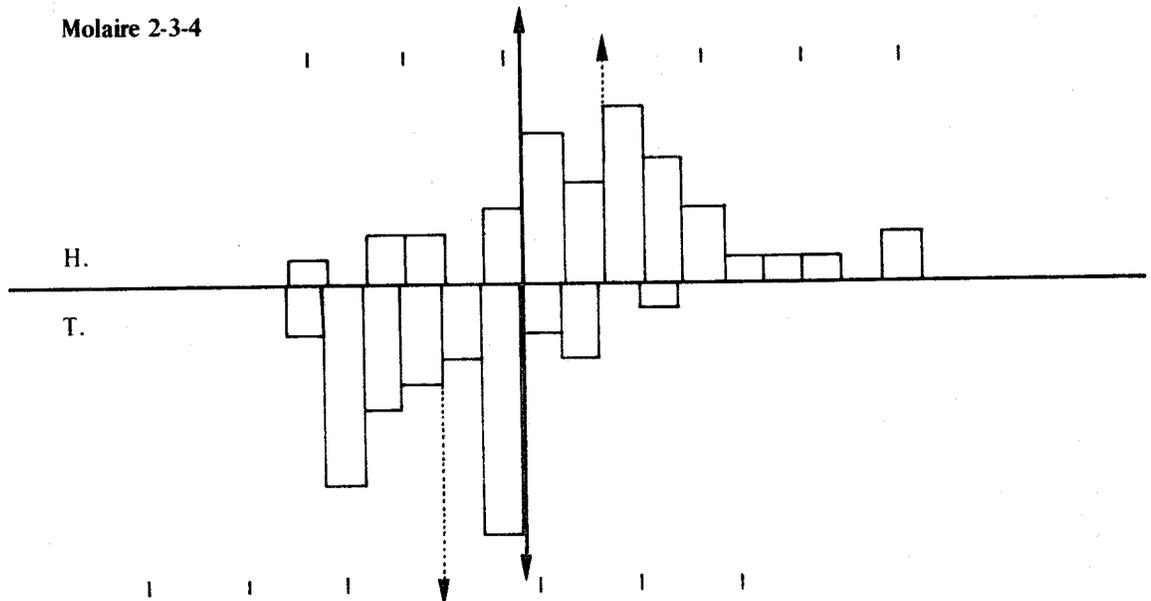


Figure 40

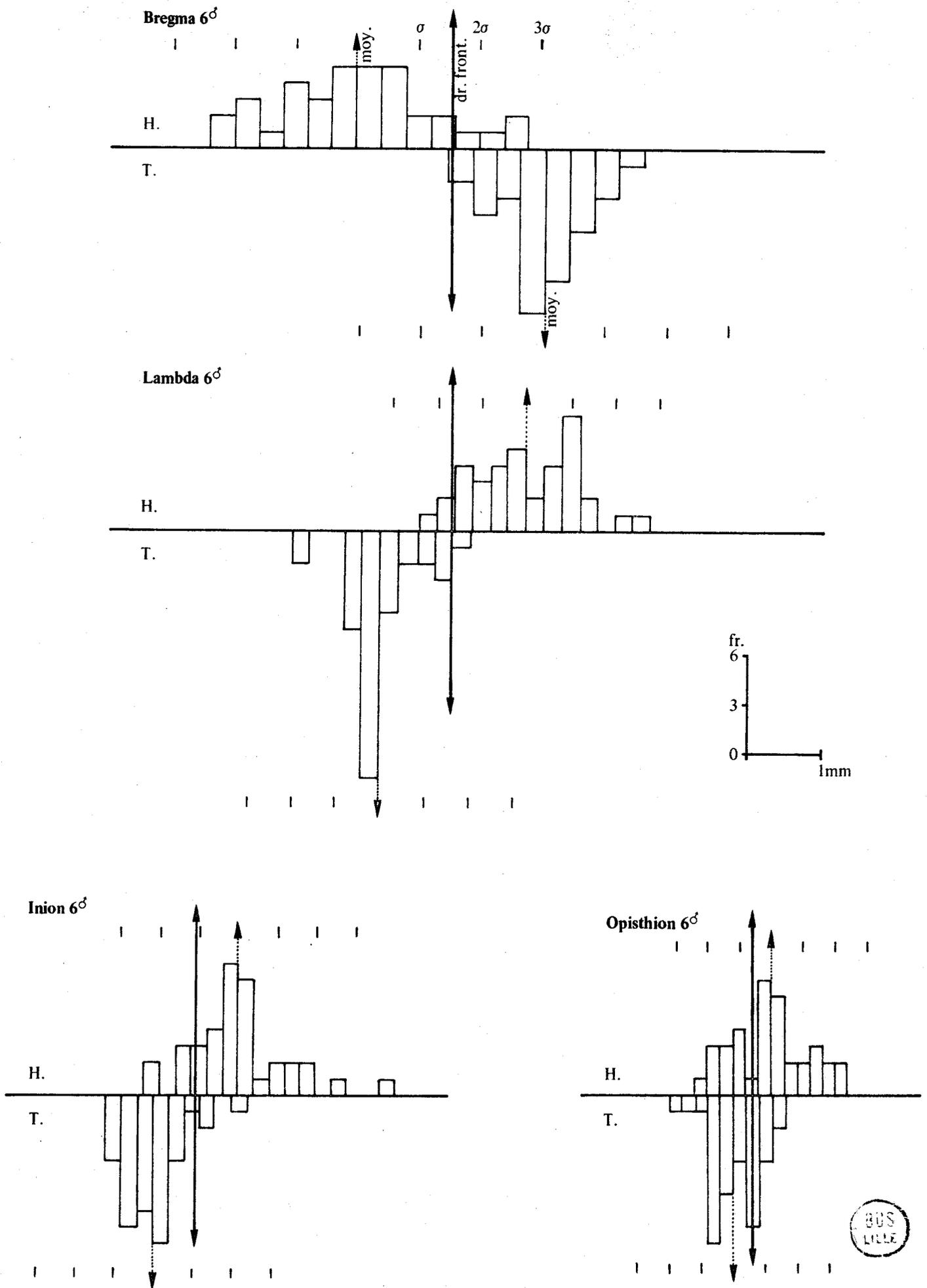
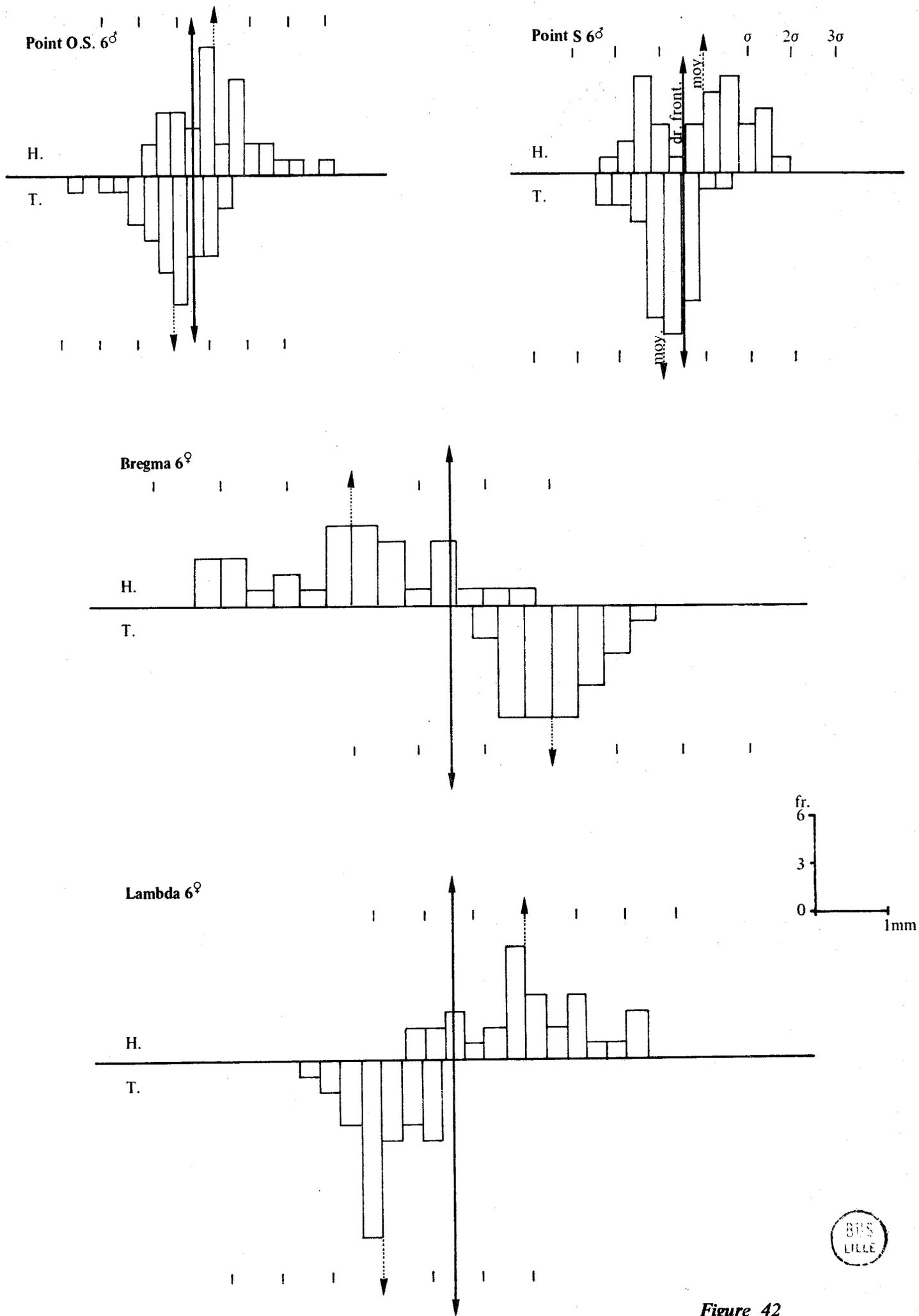


Figure 41



815
LILLE

Figure 42

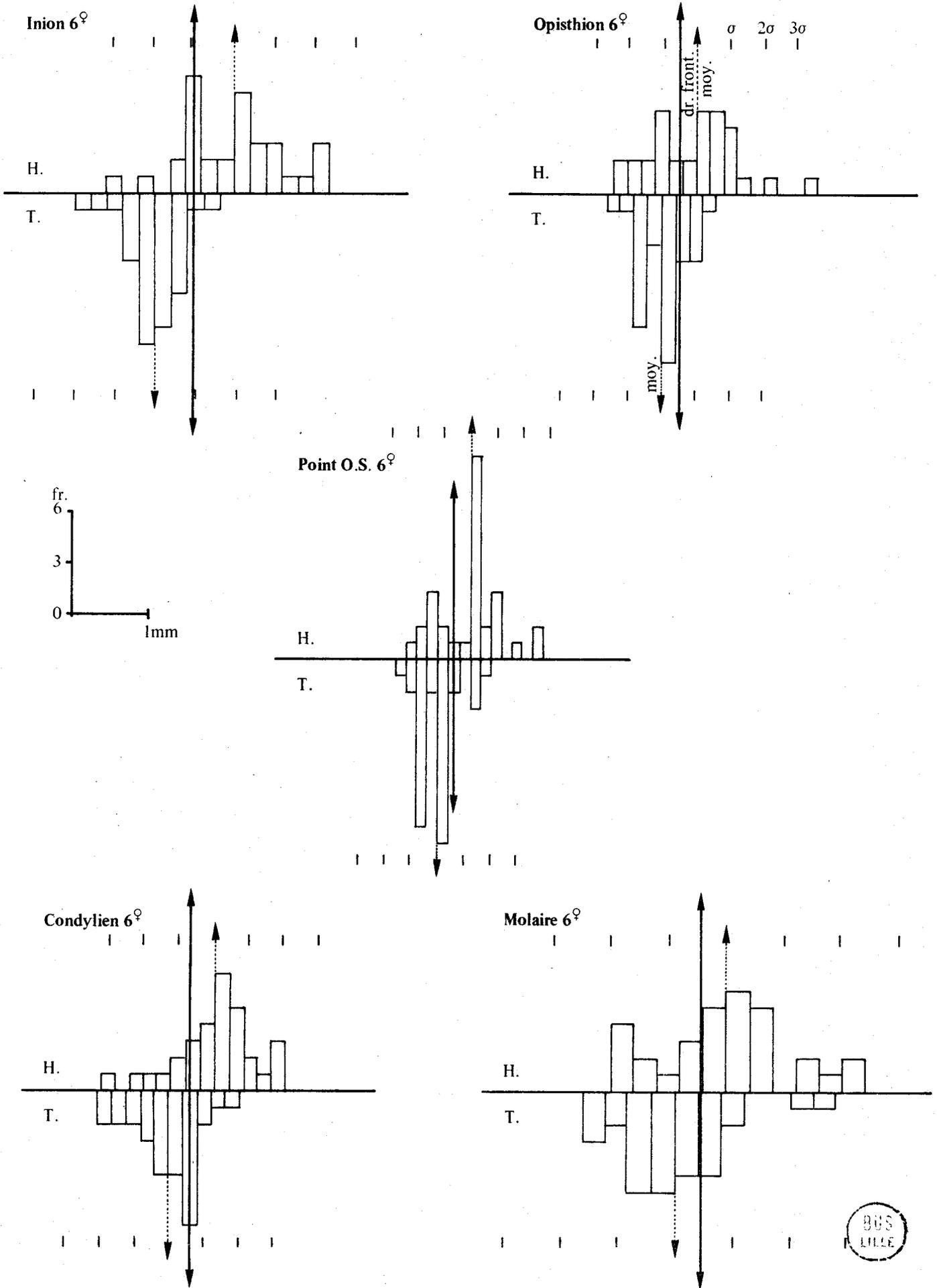


Figure 43



Nouvelles ellipses

	Hydrocéphales H ₂ + H ₃ + H ₄										Témolus T ₂ + T ₃ + T ₄										A	a	A/a
	X _e	X _{e'}	Y _e	Y _{e'}	X _E	X _{E'}	Y _E	Y _{E'}	X _e	X _{e'}	Y _e	Y _{e'}	X _E	X _{E'}	Y _E	Y _{E'}							
Pr	-14,11	-25,13	-15,81	-21,78	-17,73	-21,51	-22,28	-15,31	-16,52	-27,54	-14,27	-20,25	-20,14	-23,92	-20,75	-13,77	12,53	7,94	1,58				
Rh	-18,44	-30,05	-13,12	-18,59	-22,47	-26,02	-19,62	-12,09	-20,39	-32,00	-10,51	-15,98	-24,42	-27,97	-17,01	-9,48	12,83	8,32	1,54				
Na	-17,52	-22,56	-4,19	-8,02	-17,77	-22,31	-9,09	-3,11	-16,81	-21,85	-2,74	-6,57	-17,06	-21,60	-7,65	-1,67	7,51	6,33	1,19				
Bt	-12,31	-17,86	6,31	6,14	-14,99	-15,18	3,34	9,11	-9,21	-14,76	2,37	2,19	-11,89	-12,07	-0,61	5,17	5,78	5,55	1,04				
L.	-4,40	-7,99	11,66	9,26	-4,49	-7,90	7,91	13,01	-3,49	-7,08	7,01	4,61	-3,58	-6,99	3,26	8,36	6,13	4,32	1,42				
Op	4,33	1,70	3,08	4,30	3,43	2,59	4,59	2,78	3,28	0,64	3,31	4,53	2,38	1,54	4,82	3,01	2,90	1,99	1,46				
Ba	3,18	1,02	-2,14	-1,27	2,44	1,77	-0,86	-2,54	2,87	0,71	-1,91	-1,04	2,12	1,45	-0,64	-2,31	2,33	1,80	1,29				
O.S.	-0,50	-2,79	4,91	4,21	-1,32	-1,96	-3,53	-5,60	-1,12	-3,40	4,28	-3,57	-1,94	-2,58	-2,89	-4,96	2,39	2,17	1,10				
S.	-3,05	-5,44	4,30	-5,61	-3,66	-4,83	-6,03	-3,87	-3,84	-6,23	-3,40	4,71	-4,44	-5,62	-5,14	-2,98	2,72	2,46	1,11				
Opt.	-8,10	-12,76	-7,65	-6,51	-9,92	-10,94	-5,01	-9,15	-8,52	-13,18	-6,34	-5,19	-10,34	-11,36	-3,69	-7,84	4,80	4,27	1,12				
Sl.	-6,17	-11,20	-17,72	-14,44	-6,46	-10,91	-12,66	-19,50	-7,54	-12,57	-17,45	-14,17	-7,82	-12,28	-12,40	-19,23	8,16	6,01	1,36				
A.i.	-11,58	-16,78	-18,95	-14,41	-11,45	-16,91	-13,55	-19,80	-13,53	-18,72	-18,32	-13,78	-13,39	-18,85	-12,93	-19,18	8,30	6,90	1,20				
M.	-9,13	-14,15	-10,05	-14,48	-9,90	-13,38	-14,24	-10,29	-10,44	-15,46	-9,36	-13,79	-11,20	-14,69	-13,55	-9,60	6,69	5,27	1,27				
Cond.	-3,14	-5,23	-2,99	-1,21	-3,23	-5,14	-0,98	-3,22	-3,95	-6,04	-2,45	-0,66	-4,04	-5,95	-0,44	-2,68	2,94	2,75	1,07				
Go	0,88	-1,90	-7,43	-4,88	0,68	-1,70	4,86	-7,45	0,24	-2,53	-7,49	-4,94	0,05	-2,34	4,92	-7,51	3,77	3,52	1,07				

Tableau XII



Nouvelles ellipses

	Hydrocéphales H ₆ d							Témoins T ₆ d							A	a	A/a				
	X _e	X _{e'}	Y _e	Y _{e'}	X _E	X _{E'}	Y _E	Y _{E'}	X _e	X _{e'}	Y _e	Y _{e'}	X _E	X _{E'}				Y _E	Y _{E'}		
Pr																					
Rh																					
Na																					
Br	-12,95	-16,90	5,11	2,53	-13,51	-16,33	1,67	5,98	-12,43	-16,38	2,61	0,03	-12,99	-15,81	-0,84	3,47	5,15	4,71	1,09		
L.	-4,69	-7,67	8,75	7,04	-5,12	-7,24	6,05	9,74	-5,28	-8,26	6,83	5,12	-5,71	-7,83	4,13	7,82	4,26	3,44	1,24		
I.	1,51	-2,84	7,49	10,21	0,16	-1,49	10,16	7,53	0,40	-3,95	6,98	9,70	-0,96	-2,60	9,65	7,02	5,13	3,10	1,65		
Op	4,67	1,72	3,54	5,17	3,76	2,63	5,37	3,34	4,14	1,19	3,44	5,07	3,23	2,10	5,28	3,24	3,37	2,33	1,45		
Ba																					
O.S.	0,19	-3,47	-6,27	-4,45	-1,05	-2,24	-4,16	-6,56	-0,14	-3,80	-5,72	-3,90	-1,37	-2,57	-3,61	-6,01	4,09	2,68	1,52		
S.	-3,64	-8,24	-5,62	-5,33	-5,85	-6,03	-3,95	-7,00	-4,13	-8,74	-5,29	-5,01	-6,34	-6,53	-3,62	-6,67	4,61	3,05	1,51		
Opt.																					
S.I.																					
A.I.																					
M.																					
Cond.																					
Go.																					

Tableau XIII



Nouvelles ellipses

	Hydrocéphales H ₆ ♀						Témoins T ₆ ♀						A	a	A/a				
	X _e	X _{e'}	Y _e	Y _{e'}	X _E	X _{E'}	Y _e	Y _{e'}	X _E	X _{E'}	Y _E	Y _{E'}							
Pr																			
Rh																			
Na																			
Br	-12,11	-16,77	4,10	3,89	-14,32	-14,57	1,16	6,83	-11,38	-16,04	1,40	1,19	-13,58	-13,83	-1,54	4,13	5,67	4,66	1,22
L.	-4,16	-7,82	8,01	7,19	-5,49	-6,49	5,38	9,82	-4,67	-8,33	6,01	5,18	-6,00	-7,00	3,37	7,82	4,56	3,76	1,21
I	1,48	-2,77	8,18	8,78	-0,45	-0,84	9,89	7,07	0,54	-3,70	7,59	8,19	-1,38	-1,78	9,30	6,48	4,28	2,85	1,50
Op	4,53	1,64	3,38	4,85	3,54	2,63	5,00	3,23	4,03	1,14	3,43	4,90	3,04	2,14	5,05	3,28	3,24	1,98	1,63
Ba																			
O.S.	-0,34	-3,44	-5,25	-5,02	-1,81	-1,97	-4,09	-6,18	-0,43	-3,54	-4,84	-4,61	-1,90	-2,06	-3,69	-5,77	3,12	2,09	1,49
S.																			
Opt.																			
Sl.																			
Al.																			
M	-11,78	-18,55	-18,21	-13,79	-13,93	-16,40	-14,10	-17,90	-12,32	-19,09	-18,63	-14,21	-14,47	-16,94	-14,52	-18,32	8,08	4,53	1,78
Cond.	-3,96	-7,45	-1,79	-0,74	-5,31	-6,11	0,07	-2,59	-4,31	-7,79	-2,29	-1,25	-5,65	-6,45	-0,44	-3,10	3,64	2,78	1,31
Go.																			

Tableau XIV

CHAPITRE VIII

LA CROISSANCE

Sans doute certains aspects de la croissance ont-ils déjà été évoqués dans les pages qui précèdent, lors de l'étude de la pente du grand axe des ellipses équiprobables par exemple; il nous faut cependant revenir sur cette question afin de préciser au mieux la croissance différentielle qui s'est produite entre les témoins et les hydrocéphales. Le temps est venu de rechercher comment s'est répercutée l'augmentation du volume endocrânien tout le long de la vie des animaux et avec quelle intensité les effets ont été ressentis.

A. — TECHNIQUES D'ANALYSE.

1. Matériel d'étude.

Par la succession des classes, on peut considérer :

- l'évolution normale,
- l'évolution hydrocéphale du type *rapide*,
- l'évolution hydrocéphale du type *lent*.

- . L'évolution normale est étudiée à partir des $T_0, T_1, T_2 + T_3 + T_4, T_5$ et T_6 mâles.
- . L'hydrocéphalie *rapide*, à partir des $T_0, H_1, H_2 + H_3 + H_4$.
- . L'hydrocéphalie *lente*, à partir des T_0, H_1, H_5, H_6 mâles.

L'analyse de la croissance dans l'un ou l'autre cas se trouve être grandement facilitée par la réalisation d'une iconographie appropriée obtenue en superposant soit, dans les axes vestibulaires (pour les points craniométriques), soit sur un même graphique (pour les autres paramètres), les valeurs correspondantes de chaque classe. Ce faisant, nous pouvons visualiser les lieux géométriques des points craniométriques, l'évolution ontogénique générale ou partielle des profils crâniens, ainsi que celle de tout paramètre quel qu'il soit.

2. Tests statistiques.

Il n'est pas sans intérêt de réaliser au préalable deux tests statistiques : le test " F de croissance" et le test "F de linéarité".

- Test "F de croissance".

L'analyse de la variance, dans chaque série évolutive, permet d'obtenir, à partir du calcul de la moyenne générale et des variances intergroupes (v.i.e.) et intragroupes (v.i.a.), une valeur " F " (tableaux XV et XVI) qui est comparée comme précédemment aux valeurs limites données par la table de Snédécour.

Ce chiffre " F " nous renseigne sur l'homogénéité éventuelle des valeurs pour les classes ainsi regroupées dans chaque série.

Une valeur significative laisse supposer la non-homogénéité de la distribution et indique donc qu'il y a eu évolution de ce paramètre au fil des jours. Reste à connaître le sens de l'accroissement ou de la diminution; l'examen des moyennes successives nous renseigne sur ce point.

Dans le cas d'un " F " non significatif, aucune évolution ne peut être affirmée; la représentation graphique montrera alors un trajet sensiblement parallèle à l'un des axes du système employé.

Ce calcul a été réalisé successivement : pour les deux coordonnées de chaque point craniométrique, puis pour tous les autres paramètres. Seuls l'abscisse du basion et l'indice 100 h.h.v./h.s.v., chez les *rapides*, présentent un "F" non significatif, démontrant par là que la variation est dans l'ensemble trop importante par rapport aux écarts des moyennes, ce qui se traduit pour le basion par un trajet quasi-vertical.

- Test "F de linéarité".

Quand on représente des trajets ontogéniques de points, on peut se demander dans quelle mesure la ligne brisée reliant plusieurs points moyens entre eux, peut ou non être assimilée à une ligne droite. Le test "F de linéarité" (tableau XVII) répond à cette question. Les valeurs obtenues sont comparées aux valeurs limites de la table de Snédécour, tenant compte du degré de sécurité souhaité, du nombre de classes et du nombre total de sujets. Il s'avère que trois points seulement présentent des chiffres inférieurs aux valeurs limites ; leur tracé peut, à la rigueur, n'être pas différent d'une droite. Il s'agit du nasion et du rhinion des témoins, ainsi que du bregma des hydrocéphales *rapides*; tous les autres trajets sont sûrement curvilignes.

3. Iconographie.

a) Trajets ontogéniques des points craniométriques.

Leur représentation graphique, dans les axes vestibulaires s'effectue en deux temps :

- joindre par une ligne brisée les points moyens successifs et disposer autour d'eux les petits quadri-

latères correspondant aux intervalles de confiance respectifs (*figures E₁ à E₃*).

- puis, tenant compte de ceux-ci, ainsi que des résultats du test de linéarité (tableau XVII), "styli-ser" légèrement les courbes en les "lissant".

Sur les *figures 44 et 45* on compare les lieux géométriques des points : hydrocéphales *rapides* et *lents* (traits pleins), à ceux des témoins correspondants (tirets).

La *figure 46* montre, superposés, les déplacements de ces mêmes points pour les trois types d'évolution.

b) *Evolution des autres paramètres.*

Cette croissance, établie à partir des mêmes classes que précédemment, est figurée par les valeurs moyennes du paramètre considéré, en fonction du poids moyen de la classe concernée. Les limites des intervalles de confiance sont définies par les extrémités des flèches (*figures 47 à 51*).

c) *Profils superposés.*

- Leur représentation générale est dessinée sur les *figures 52 à 55*. Afin d'éviter la surcharge, seuls les profils exocrâniens sont retenus dans chacune des trois séries évolutives; ils suffisent pour apprécier les répercussions du processus pathologique sur les principales régions de la tête.

- Quelques figurations partielles (plan foraminien et ligne basale Na-Opt-S-Na : *figure 56*) précisent plus particulièrement la vitesse différentielle du déplacement des points sur leur "lieu" respectif, par la situation des éléments lors des stades successifs considérés.

B. TRAJETS ONTOGENIQUES DES POINTS CRANIOMETRIQUES (*figures 44 à 46*).

Ces trajets se caractérisent à la fois par leur longueur, leur forme et leur position.

1. Longueur.

Insistons sur le fait que le trajet des points, chez les témoins, est dans chaque représentation, mené jusqu'au stade adulte, alors que dans le cas des hydrocéphales de type *rapide*, le point terminal correspond à un âge et à un poids nettement plus faibles. Cela permet une première constatation à savoir que si les trajets splanchnocrâniens et neurocrâniens postérieurs sont nettement plus courts chez les hydrocéphales de type *rapide*, il en est autrement des points de la voûte antérieure qui décrivent une course plus longue que chez les témoins (une fois et demi pour le lambda). Au contraire, chez les hydrocéphales de type *lent*, les longueurs des courbes sont tout à fait comparables à celles des témoins. La *figure 46* sur laquelle sont superposés les lieux géométriques des trois séries de sujets explicite ces mêmes résultats.

2. Forme.

La forme des courbes doit aussi retenir notre attention. En parcourant l'espace dans le sens anti-horaire (le crâne étant observé par son côté gauche) chez les témoins, la concavité des tracés est tournée dans le sens de cette progression pour le splanchnocrâne; elle est de plus en plus accusée à partir du nasion (rectiligne) jusqu'au gonion. Ceci est encore valable pour le basion, tandis que l'opisthion a sa concavité tournée vers l'arrière. Les autres points (voûte et base) après un départ où la concavité est semblable à celle des points faciaux, inversent légèrement leur courbe. Celles-ci décrivent alors un trajet en S.

Le neuro et le splanchnocrâne semblent obéir à des lois différentes, comme cela a pu être démontré aussi chez l'Homme et les Primates. Le trajet du nasion demeure ce qu'il est chez tous les Mammifères, à savoir une progression quasi-rectiligne, un peu oblique sous l'horizontale; il se comporte comme une frontière entre le crâne et la face.

Chez les hydrocéphales de type *lent*, le sens de la courbure des lieux géométriques est le même que celui des témoins; toutefois les courbes des points de la base montrent une tendance au redressement tandis que les points de la voûte présentent un simple décalage vers l'arrière mais avec un degré d'incurvation identique.

Dans le cas de l'hydrocéphalie *rapide*, tous les trajets, y compris ceux du nasion et de l'opisthion, ont leur concavité tournée dans le sens de la progression anti-horaire et cette fois c'est le trajet du bregma qui devient rectiligne tandis que le nasion participe au mouvement de rotation de la face.

3. Position (figures 44 et 45).

Considérant maintenant la position relative des tracés homologues, et parcourant toujours l'espace dans le sens anti-horaire, on rencontrera le trajet ontogénique de l'hydrocéphale après celui du témoin, pour tous les points situés dans le quadrant inféro-antérieur, l'inverse étant observé pour les trois autres quadrants.

On observe sur la *figure 46*, que les trajets ontogéniques des *rapides* divergent de ceux des *lents*; on les rencontre les premiers (dans le sens anti-horaire) pour le neurocrâne, et en seconde position pour le splanchnocrâne (sauf pour le gonion).

Chez les hydrocéphales de type *lent*, la poussée hydrocéphalique s'équilibre à la frontière crâne-face (au nasion), en provoquant un décalage vers le bas et l'arrière pour tous les points du quadrant inféro-antérieur, jusqu'au gonion, et vers le haut et l'arrière pour les autres quadrants (jusqu'au basion).

Chez les hydrocéphales de type *rapide*, les précédentes situations se retrouvent mais avec un décalage plus important sauf pour le basion qui est également déplacé vers le bas. L'équilibre des poussées se localise alors aux environs de l'horizontale vestibulaire entre un nasion décalé vers le bas et un bregma repoussé vers le haut. Tout se passe comme si, le bregma mis à part (puisqu'il s'éloigne en haut et en avant) toute la tête présentait, autour des labyrinthes, une rotation différentielle selon les points.

Cette constatation est de première importance pour nous car elle démontre l'indépendance de

l'oreille interne qui tend à rétablir sa position par rapport à la verticale du lieu en dépit des mouvements de la tête qui bascule vers l'avant, entraînée qu'elle est par son poids excessif. Informé de cette inclinaison anormale, par les stimuli sensoriels, le sujet à hydrocéphalie *rapide* tient la tête plus "haute" par rapport au corps, permettant ainsi aux labyrinthes de se maintenir horizontaux.

Enfin, ces différentes représentations graphiques démontrent, par le lieu où se produit la divergence, que le processus expérimental entraîne des modifications *immédiates*, et que l'évolution des courbes est liée : au type d'hydrocéphalie considéré (modifications plus fortes chez les *rapides*) et à la région crânienne observée (changements plus importants pour la voûte que pour la base).

C. – EVOLUTION DES AUTRES PARAMETRES (*figures 47 à 51*).

1. Paramètres linéaires et capacité.

Rappelons d'abord que l'hydrocéphalie intervient peu sur le diamètre antéro-postérieur de la tête, puisque les longueurs Na.-Op. et Rh.-Op. sont du même ordre que celles des témoins; toutefois, comme nous l'avons déjà signalé dans le cas du processus *rapide*, à poids égal la valeur de ces paramètres est un peu plus grande (*figure 17*).

L'aspect global des tracés homologues correspondant aux paramètres linéaires (largeur, hauteur, flèche de courbure) et à la capacité, démontre une certaine unité d'évolution pour ceux-ci. En observant sur ces graphiques, la disposition relative des trajets des *rapides*, des *lents* et enfin des témoins, on ne peut s'empêcher de rapprocher cette disposition de celle obtenue à partir des mensurations effectuées sur le vivant (*figure 17*), la phase de disjonction des deux types d'évolution étant, cette fois, mieux précisée.

Les trois principaux diamètres de la tête (*figure 47*) ont un comportement fort semblable : après une phase d'accroissement intense où se distinguent déjà les sujets traités, cette tendance se poursuit chez les *rapides* avec la même vitesse, tandis que les *lents* présentent une progression nettement ralentie, parallèle à celle des témoins, mais avec conservation du décalage originel.

La croissance des diverses hauteurs et de la flèche de courbure, chez les témoins et les hydrocéphales *lents* démontre un léger fléchissement vers 100 grammes. Comme nous le verrons plus loin en observant les profils superposés, ce fait résulte de l'aplatissement ontogénique de la voûte neurocrânienne.

L'évolution de la capacité dans le type *rapide* (*figure 49*) est de type linéaire, tandis que dans le type *lent*, l'écart avec les témoins augmente jusqu'au stade adulte. Ces résultats concordent avec ceux obtenus pour chacun des trois diamètres du crâne, et en sont la résultante.

L'évolution des hauteurs sus-vestibulaire et hypo-vestibulaire (*figure 48*) est à rapprocher de celle des autres paramètres linéaires : augmentation constante chez les *rapides*, stabilisation progressive succédant à une phase très active chez les autres, avec évolution parallèle des sujets traités et des sujets normaux. Cependant, au cours de la deuxième phase, la stabilisation est plus nette pour la portion sus-vestibulaire que pour la portion

sous-vestibulaire (ainsi que cela est observé dans toute croissance rapportée aux axes vestibulaires !).

Sans doute le rétro-vestibion hydrocéphale (*figure 48*) est-il d'emblée plus éloigné du centre des axes que celui des témoins; cependant, il apparaît que cet écart demeure constant et relativement minime. Le prévestibion présente chez les *rapides*, une avancée très marquée, sous l'impulsion des poussées frontales, tandis que chez les *lents*, c'est l'effet indirect de la croissance d'une voûte sensiblement incurvée, qui fait progresser assez rapidement ce point.

L'ensemble de ces observations confirme l'isolement évolutif dans lequel s'enferme très tôt l'hydrocéphale *rapide*, et suggère au contraire, pour l'hydrocéphale *lent*, une certaine tendance à retrouver une évolution normale, tout en maintenant l'écart creusé au départ.

2. Indices (*figure 51*).

Les tracés se rapportant à l'évolution des indices, au cours de la croissance, corroborent les précédentes observations ; ils visualisent assez bien le moment où se produisent les divergences entre les trois séries, ainsi que la vitesse d'évolution propre à chacune d'elles.

Une fois encore, les tracés correspondant aux hydrocéphales *lents* sont simplement décalés par rapport à ceux des témoins.

Chez les *rapides*, l'indice comparant la portion hypo-vestibulaire à la portion sus-vestibulaire évolue très peu, car les deux mesures intervenant dans le calcul de cet indice augmentent conjointement. Il en va tout autrement dans les deux autres séries de sujets : chez les témoins et les hydrocéphales *lents*, la base subit un mouvement vers le bas, d'abord accéléré, puis plus modéré tandis que la voûte atteint très tôt sa hauteur maximale et la maintient constante par la suite.

L'évolution des indices : 100 f/Rh.-Op. et 100 h/Na-Op. est quasi-similaire, et exprime le degré de courbure de la voûte en fonction de la longueur du crâne.

Quant à l'indice comparant la longueur rétro-vestibulaire à la longueur pré-vestibulaire, son tracé révèle, dans les 2 catégories d'hydrocéphales, l'avancée prédominante du pré-vestibion, surtout dans les stades les plus jeunes où les courbes marquent un fléchissement.

3. Angles (*figures 49 et 50*).

Au cours de la croissance, l'angle foraminien des témoins diminue puis augmente, comme cela est de règle chez les Mammifères quadrupèdes et même chez les Primates. On exprimera cela en disant (d'après A. Delattre et R. Fenart) que la rotation, après une phase "positive" fugace, devient "négative", et même très nettement puisque les 90° sont largement dépassés. Les hydrocéphales *lents* présentent la même évolution mais toujours avec des valeurs angulaires plus faibles, notamment pour les H₆ femelles. Quant aux *rapides*, la rotation est de type essentiellement "positif", avec cependant une velléité d'inversion du mouvement.



L'angle occipito-sphénoïdal diminue dans tous les cas; celui des sujets traités est plus fermé que celui des témoins et l'écart croît avec l'âge.

Par rapport aux témoins, l'angle externe de la base est plus faible chez les adultes hydrocéphales, alors qu'il est plus ouvert chez les sujets *rapides*.

Le bord tentorial de l'os pétreux évolue dans le même sens général que le *foramen magnum*, mais avec des mouvements moins amples.

L'angle palatin est légèrement plus ouvert chez les hydrocéphales adultes que chez les témoins, mais il n'en demeure pas moins quasi-constant au cours de la croissance. Seule l'hydrocéphalie *rapide* est capable de modifier intensément la direction masticatrice.

Enfin, l'angle alvéolaire inférieur-condylien-gonion ne présente aucune évolution particulière chez les hydrocéphales par rapport aux témoins; son comportement laisse supposer que la forme de la mandibule change relativement peu.

D. PROFILS SUPERPOSES.

Sur les *figures 52 à 55* sont emboîtés les profils orientés dans les axes vestibulaires, des divers stades ontogéniques menant aux hydrocéphales *rapides* et aux hydrocéphales *lents*; les tracés des témoins correspondants y ont été joints.

De plus, certains aspects de la croissance et de la migration d'éléments anatomiques remarquables peuvent être observés sur la *figure 56*.

1. Le neurocrâne.

Normalement, la voûte neurocrânienne termine très tôt (au stade 1) son mouvement de croissance centrifuge au niveau du pariétal, après quoi apparaît l'aplatissement caractéristique de cette région.

L'hydrocéphalie *rapide* nous prouve qu'il peut en être autrement et que les limites d'extension de la voûte osseuse ne sont pas impérieuses. Cette tendance à l'aplatissement s'exprime plus tard chez les hydrocéphales *lents*, et n'a pas le temps de se faire sentir chez les *rapides*. Les profils moyens H₂ et H₃ (*figures C₂ et C₃*) présentent une sphérisation globale tandis que celui des H₄ est pyriforme (avec la grosse extrémité refoulée vers l'arrière).

On ne peut s'empêcher de penser que l'aplatissement de la voûte antérieure est lié à la proximité du massif facial relativement libre d'évoluer vers l'avant, tandis que le squelette axial, disposé horizontalement chez les quadrupèdes, empêche toute expansion cérébrale vers l'arrière.

Représentée sur la *figure 56*, la base du neurocrâne descend progressivement au cours de la croissance du rat témoin, par un mouvement de bascule vers le bas et l'avant, jusqu'au point optique, alors que la région criblée demeure presque parallèle. Ce même phénomène, accentué chez les sujets expérimentaux, est particulièrement marqué dans le type *rapide*. L'angle occipito-sphénoïdal qui se ferme très légèrement à partir du stade 1, prouve que la poussée hydrocéphalique s'équilibre assez bien sur l'ensemble de la base, jusqu'au point optique, mais a cependant un maximum d'importance au centre de la base (point S).

Le bord ethmoïdal qui s'avance progressivement au cours de la croissance du témoin, voit son mouvement amplifié chez les hydrocéphales où, dans le processus *rapide*, l'expansion cérébrale se fait aux dépens du massif facial, et s'ajoute à une déformation et à une réduction du volume de ce dernier.

La destinée de la direction du *foramen magnum* est de la plus haute importance dans cette étude, car c'est d'elle que dépendait le succès ou l'échec de notre entreprise ! C'est la raison pour laquelle nous avons tenu à en représenter à part (*figure 56*) l'évolution ontogénique chez les deux types d'hydrocéphales, en comparaison avec les témoins.

L'examen du trajet ontogénique des deux extrémités du trou occipital (le basion et l'opisthion) peut déjà orienter les commentaires, car si l'opisthion s'élève essentiellement alors que le basion recule (comme c'est le cas chez les témoins), on peut déjà en induire que le trou occipital tournera dans le sens "négatif" (pour employer les désignations convenues). Mais, afin de mieux se représenter les déplacements angulaires du *foramen magnum*, il est indispensable de connaître la "vitesse" du cheminement de chacun des points sur sa courbe, donc de considérer en fait, les stades successifs. C'est ainsi que, partant d'une situation quasi-verticale à la naissance, le trou occipital commence à regarder un peu vers le bas pour se redresser et finir par regarder un peu plus nettement vers le haut. Il s'agit là d'une loi générale chez les Mammifères quadrupèdes : après une rotation positive fugace, une rotation négative s'instaure.

Le degré d'intensité de la rotation, et le moment où se produit le changement de direction, sont fonction de l'espèce considérée et, à l'extrême on peut dire que, chez l'Homme (qui apparaît comme la seule exception à cette règle) la phase de rotation positive s'étend sur toute la durée ontogénique alors que la tendance négative a fini par s'annuler.

Il était fort important de savoir si l'hydrocéphalie entraînait, *dans tous les cas*, une rotation positive nette et irréversible ? Chez le type *rapide*, la rotation est d'emblée nettement positive et le demeure par recul de l'opisthion; chez les hydrocéphales de type *lent*, après une rotation positive, la rotation négative intervient (après le stade H₁) par un recul du basion qui l'emporte sur celui de l'opisthion, comme d'ailleurs cela se produit chez les témoins.

En somme, étant donné que parmi les types *lents*, se rencontrent des *rapides stabilisés*, comme nous l'avons déjà expliqué, on peut aller jusqu'à admettre que, chez ceux-ci, le trou occipital, après un mouvement dans le sens positif (plus intense que chez les témoins), s'est rétabli en une situation quasi-normale.

En rappelant que les tests statistiques ont montré que chez les *lents* aucune différence ne peut

être décelée d'avec les témoins, dans la direction foraminienne, au contraire de ce qui se passe chez les *rapides*, nous voyons tout l'intérêt que nous pourrions tirer de ces constatations.

2. Le splanchnocrâne.

Analysant les mouvements ontogéniques des points splanchnocrâniens, nous avons observé une rotation globale de cette région vers le bas et vers l'arrière, très prononcée chez les hydrocéphales *rapides* et un peu moindre chez les hydrocéphales de type *lent*.

A ce changement de position s'ajoutent des modifications de volume et de forme. L'expansion antérieure du contenu endocrânien refoule la partie proximale du massif facial qui se trouve allongé à ce niveau ; l'angle entre les limites : supérieure et inférieure de la face est nettement plus fermé chez les hydrocéphales (surtout *rapides*) que chez les témoins, donnant à celle-ci un aspect "pointu".

Cette déformation est rendue encore plus accusée chez les *rapides*, par la présence d'un "coup de hache" aux environs du nasion, alors que chez les témoins une convexité du profil s'observe au lieu d'une concavité. Dans le type *lent*, on ne retrouve pas ce "coup de hache", mais au niveau du nasion, le profil est plus plat, moins convexe, que chez les témoins de même âge; cela contraste avec le contour de la voûte, située immédiatement en arrière (jusqu'à l'inion), où c'est l'inverse qui se produit : convexité chez les *lents* et voûte plate chez les témoins.

Quant à la mandibule, il semble qu'elle ne fasse que subir les déplacements impliqués par le massif facial, sans ressentir de changement de forme, très marqué.

Analyse de la variance : Test "F" de croissance des coordonnées des points



		T ₀ - H ₁ - H ₂ + H ₃ + H ₄				T ₀ - H ₁ - H ₅ - H ₆ δ				T ₀ - T ₁ - T ₂ +T ₃ +T ₄ - T ₅ - T ₆ δ			
		Moy. gén.	V.i.e.	V.i.a.	F	Moy. gén.	V.i.e.	V.i.a.	F	Moy. gén.	V.i.e.	V.i.a.	F
Pr	A	-17,3608	396,7325	3,8404	**103,31	-23,0053	1261,0685	3,9280	**321,04	-23,2771	1129,3106	2,6991	**418,40
	O	-15,4169	674,8959	1,9048	**354,32	-19,9749	1461,1063	3,9661	**368,40	-18,9958	1160,4524	3,3099	**350,60
Rh	A	-21,1238	685,9550	4,5204	**151,75	-27,6794	1966,2151	4,7653	**412,61	-27,7504	1693,4516	3,2894	**514,82
	O	-12,7702	522,6465	2,1321	**245,13	-16,1004	1016,3351	3,7995	**267,49	-14,9455	779,9232	3,0744	**253,68
Na	A	-17,2998	488,9234	1,4563	**335,72	-20,5620	874,0331	1,8546	**471,28	-20,3484	708,6148	1,5302	**463,08
	O	-4,6671	113,4935	1,3395	**84,73	-5,2801	118,2590	1,2127	**97,51	-5,0643	88,8228	0,7555	**117,57
Br	A	-12,5166	382,1442	1,0570	**361,54	-12,4957	241,8331	0,6280	**385,06	-12,0741	161,9097	0,3737	**433,30
	O	5,2078	60,0725	1,0472	**57,36	3,8390	8,9001	0,6136	**14,50	2,0701	11,2619	0,2752	**40,92
L.	A	-5,1511	59,2805	0,8382	**70,73	-5,1974	38,8270	0,3367	**115,33	-5,4038	41,8376	0,2367	**176,75
	O	8,5522	211,8858	1,1313	**187,29	7,0701	51,4652	0,5398	**95,35	5,6957	10,1420	0,1372	**73,94
Op.	A	2,7531	4,8154	0,2279	**21,13	2,7564	5,2186	0,2109	**24,75	2,2074	2,6578	0,9786	**27,16
	O	3,3134	9,2178	0,1593	**57,86	3,7930	15,3594	0,1605	**95,72	3,8246	10,1781	0,1216	**83,70
Ba	A	2,0228	0,4360	0,1556	2,80	3,0502	27,2218	0,3355	**81,14	2,4399	23,3041	0,1643	**141,88
	O	-1,4777	3,2801	0,1115	**29,43	-0,9604	3,0069	0,1344	**22,37	-1,0761	4,8946	0,0893	**54,83
O.S.	A	-1,4958	2,3745	0,1889	**12,57	-1,5794	2,1270	0,4184	**5,08	-2,0105	4,5975	0,1198	**38,39
	O	-3,7980	35,0797	0,1148	**305,45	-4,2487	41,3953	0,1896	**218,31	-3,9101	24,2442	0,1221	**198,56
S.	A	-3,7983	16,8134	0,2014	**83,49	-4,8080	44,7221	0,5192	**86,13	-5,1606	42,4309	0,1907	**222,46
	O	-4,0069	52,9770	0,1345	**393,96	-4,3389	48,5337	0,2247	**216,03	-4,0656	34,0055	0,1578	**215,56
Opt.	A	-9,1768	103,8125	0,6441	**161,19	-11,2819	248,2672	1,0111	**245,55	-11,3210	193,2600	0,5980	**323,20
	O	-5,6766	113,2214	0,4447	**254,58	-6,2904	114,9325	0,6182	**185,90	-5,9630	88,0359	0,3846	**228,91
Si.	A	-7,9615	47,8181	1,4458	**33,07	-9,0191	71,1957	1,8304	**38,90	-9,8182	74,1314	0,6688	**110,84
	O	-13,6880	357,1027	1,3584	**262,88	-18,1664	1014,9960	2,1865	**464,22	-17,4084	868,3046	2,3616	**367,67
A.i.	A	-12,8500	131,6497	1,9158	**68,72	-15,4644	317,4912	2,2488	**141,18	-16,1454	284,6725	0,9057	**314,31
	O	-14,0895	407,7873	1,3326	**306,02	-18,3561	1069,2206	2,6230	**407,64	-17,6324	909,4925	2,7290	**333,26
M	A	-10,4000	112,0912	1,2287	**91,23	-12,7704	271,1946	1,4296	**189,70	-13,3159	242,3576	0,5907	**410,28
	O	-10,3015	230,8947	0,8074	**285,96	-12,9703	487,7035	1,2979	**375,77	-12,5602	408,4960	1,1887	**343,66
Cond.	A	-3,8945	6,7074	0,2328	**28,81	-4,6898	26,5231	0,4488	**59,09	-5,0982	25,9695	0,1614	**160,91
	O	-1,7860	5,6831	0,2148	**26,45	-1,5902	1,6481	0,1815	**9,08	-1,5048	1,4670	0,1019	**14,40
Go.	A	-0,8666	5,9387	0,3185	**18,65	0,5164	61,3342	0,6045	**101,47	-0,3276	55,4863	0,3930	**141,17
	O	-5,2837	54,7005	0,2992	**182,85	-6,1471	72,1669	0,2930	**246,28	-6,2651	61,8182	0,3214	**192,36

K → 3	n - K → 62	K → 4	n - K → 86	K → 5	n - K → 123
n → 65	95 % → 3,15 (*)	n → 90	95 % → 2,72(*)	n → 128	95 % → 2,44(*)
K - 1 → 2	u 99 % → 4,98 (**)	K - 1 → 3	u 99 % → 4,03(**)	K - 1 → 4	u 99 % → 3,47(**)

Tableau XV



Analyse de la variance : Test "F" de croissance des paramètres autres que les coordonnées des points

	T ₀ - H ₁ - H ₂ + H ₃ + H ₄				T ₀ - H ₁ - H ₅ - H ₆ ♂				T ₀ - T ₁ - T ₂ + T ₃ + T ₄ - T ₅ - T ₆ ♂			
	Moy. gén.	V.i.e.	V.i.a.	F	Moy. gén.	V.i.e.	V.i.a.	F	Moy. gén.	V.i.e.	V.i.a.	F
p.v.	-15,9003	452,2572	1,3590	**332,80	-16,3256	337,2733	1,7674	**190,83	-14,5012	126,6668	0,6205	**204,15
r.v.	3,6043	6,8535	0,2748	**24,94	4,3936	24,5704	0,3032	**81,05	4,0564	20,1527	0,1127	**178,75
h.s.v.	8,2257	206,1340	1,0705	**192,56	6,8529	51,7426	0,4092	**126,44	6,0781	23,6384	0,9533	**247,97
h.h.v.	-5,6766	113,2214	0,4447	**254,58	-6,2904	114,9325	0,6182	**185,90	-5,9630	88,0359	0,3805	**231,37
Rh-Op	28,8040	1424,9165	4,3951	**324,20	36,3936	3412,6409	5,6091	**608,41	35,4170	2765,2777	5,4578	**506,67
Na-Op	21,6757	772,0490	1,6714	**461,93	25,0591	1213,7761	1,9330	**627,93	24,3101	945,2296	1,9830	**476,67
l.	17,5800	855,4338	2,5172	**339,83	16,5190	381,6591	0,8988	**424,64	14,3852	152,2742	0,1619	**940,76
h.	12,4491	519,1302	1,4908	**348,22	10,6197	152,5733	0,9018	**169,19	8,5169	38,7521	0,1142	**339,28
f.	10,3666	381,4887	1,5248	**250,18	8,3727	89,3946	0,7311	**122,27	6,1425	13,6424	0,1405	**97,13
100 r.v./p.v.	23,5671	406,4491	11,8347	**34,34	27,2531	108,1574	19,1551	**5,65	27,9876	298,8628	8,4598	**35,33
100 h.h.v./h.s.v.	69,3102	224,6858	146,0930	1,54	90,4709	8084,9810	229,4750	**35,23	96,1964	8598,0286	116,5472	**73,77
100 h./Na-Op	55,7409	1846,8603	15,4656	**119,42	43,0378	665,4005	12,9350	**51,44	36,0347	596,8529	3,7513	**159,11
100 f./Rh-Op	35,0398	778,0121	18,3045	**42,50	23,9788	462,8090	6,4393	**71,87	18,3870	517,7293	2,0222	**256,03
A. foraminien	81,8777	515,5056	26,9354	**19,14	92,9699	1760,4378	22,9331	**76,76	92,3515	1429,7321	16,5489	**86,39
A. palatin	36,8488	443,4874	14,1452	**31,35	35,1990	148,8411	10,2664	**14,50	34,3220	65,4333	6,1048	**10,72
A. tentorial	76,2135	678,2542	21,0414	**32,23	73,2318	801,1286	17,4405	**45,94	72,2222	930,6492	18,3294	**50,77
A. ext. de la base	20,9031	629,2002	21,1223	**29,79	18,1891	137,8440	11,7418	**11,74	19,2953	143,6518	6,2500	**22,98
A. occipito-sphénoïdal	170,0491	272,6532	17,7220	**15,39	165,9298	868,7430	14,8885	**58,35	169,4044	408,2579	10,5558	**38,68
A.A.i.-Cond-Go	77,1303	265,8339	26,2205	**10,14	80,5719	260,4321	21,2787	**12,24	78,5814	325,5147	26,6938	**12,19
Capacités	3050,849	95654185,280	644931,537	**148,32	2622,456	44444196,620	192444,719	**230,95	1673,497	13099207,720	29662,013	**441,62
	K → 3 n → 65 K - 1 → 2 n - K → 62 u 95 % → 3,15 (*) u 99 % → 4,98 (**)				K → 4 n → 90 K - 1 → 3 n - K → 86 u 95 % → 2,72 (*) u 99 % → 4,03 (**)				K → 5 n → 128 K - 1 → 4 n - K → 123 u 95 % → 2,44 (*) u 99 % → 3,47 (**)			

Tableau XVI

Test "F" de Linéarité

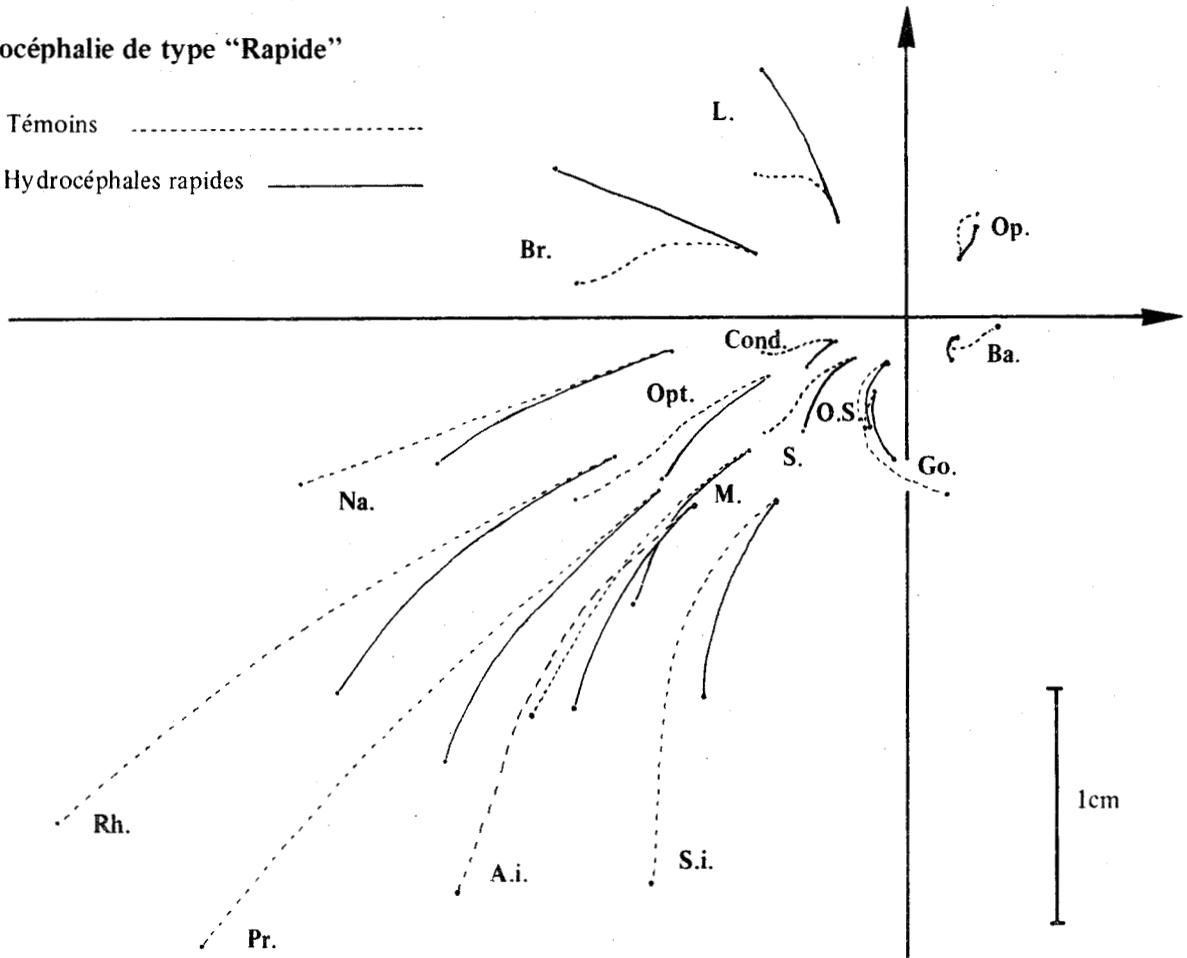
	$\frac{T_0 - H_1}{H_2 + H_3 + H_4}$	$\frac{T_0 - H_1}{H_5 - H_6 \delta}$	$\frac{T_0 - T_1}{T_2 + T_3 + T_4 - T_5 - T_6 \delta}$
Pr	**4024,61	**1668,07	**6,45
Rh	**65,62	**10,38	-9,25
Na	**34,60	**11,31	-9,45
Br	2,77	**13,41	**12,56
L.	**58,20	**25,46	**40,42
Op.	**85,35	**110,98	**102,88
Ba.	**52,08	**16,78	**9,59
O.S.	**447,77	**305,62	**201,76
S.	**259,09	**113,23	**17,69
Opt.	**106,21	**44,99	**7,53
S.i.	**201,54	**363,68	**207,50
A.i.	**151,86	**112,36	**43,04
M.	**113,55	**81,40	**15,94
Cond.	**30,10	**12,21	**5,70
Go.	**243,21	**135,07	**145,42
K	3	4	5
n	65	90	128
K - 2	1	2	3
n - K	62	86	123
u 95 %	4,00 (*)	3,11(*)	2,70(*)
99 %	7,08(**)	4,88(**)	3,98(**)

Tableau XVII



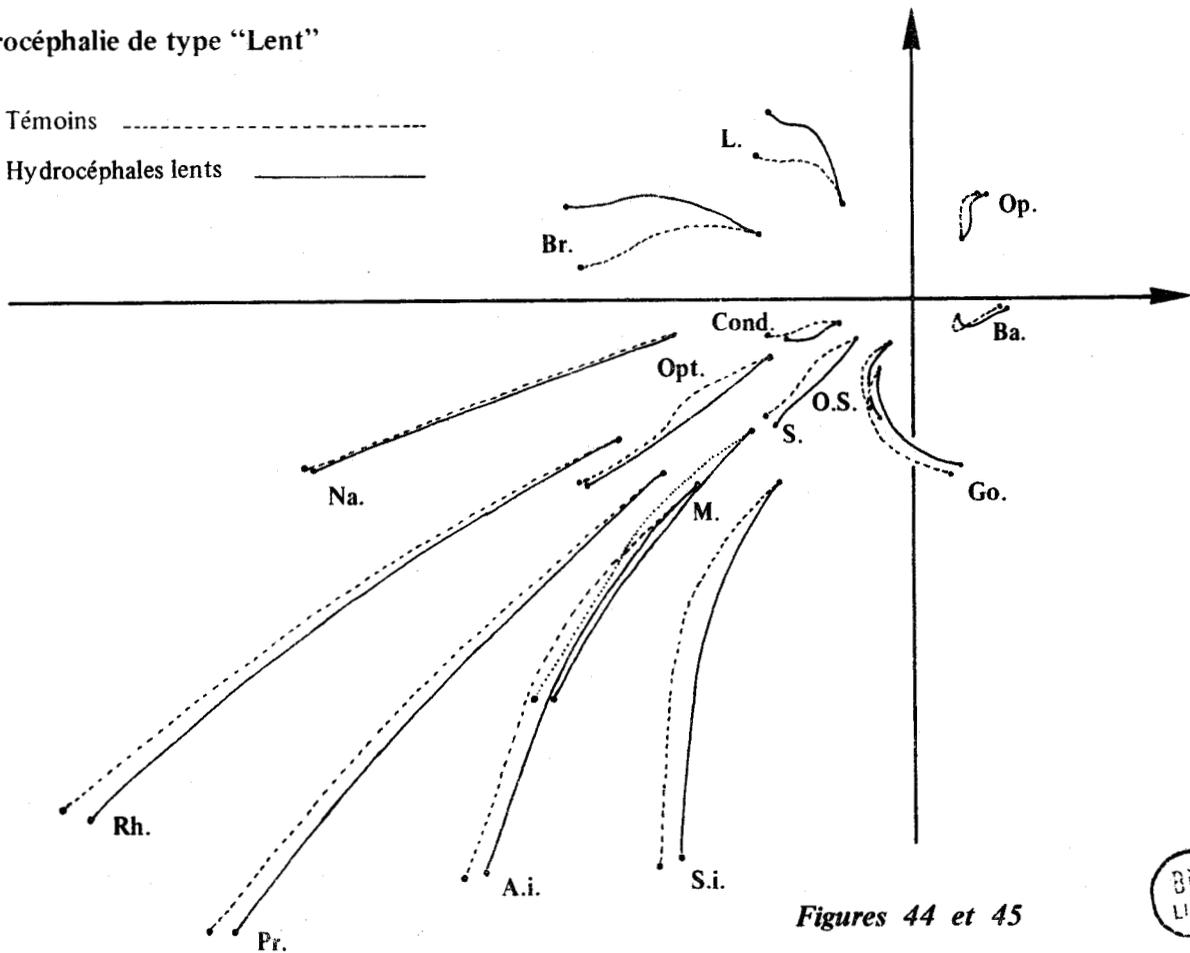
Hydrocéphalie de type "Rapide"

Témoins
 Hydrocéphales rapides ———



Hydrocéphalie de type "Lent"

Témoins
 Hydrocéphales lents ———



Figures 44 et 45



Superposition des trajets ontogéniques des points craniométriques chez les hydrocéphales et les témoins correspondants.

Témoins -----
 Hydrocéphalie Rapide
 Hydrocéphalie Lente

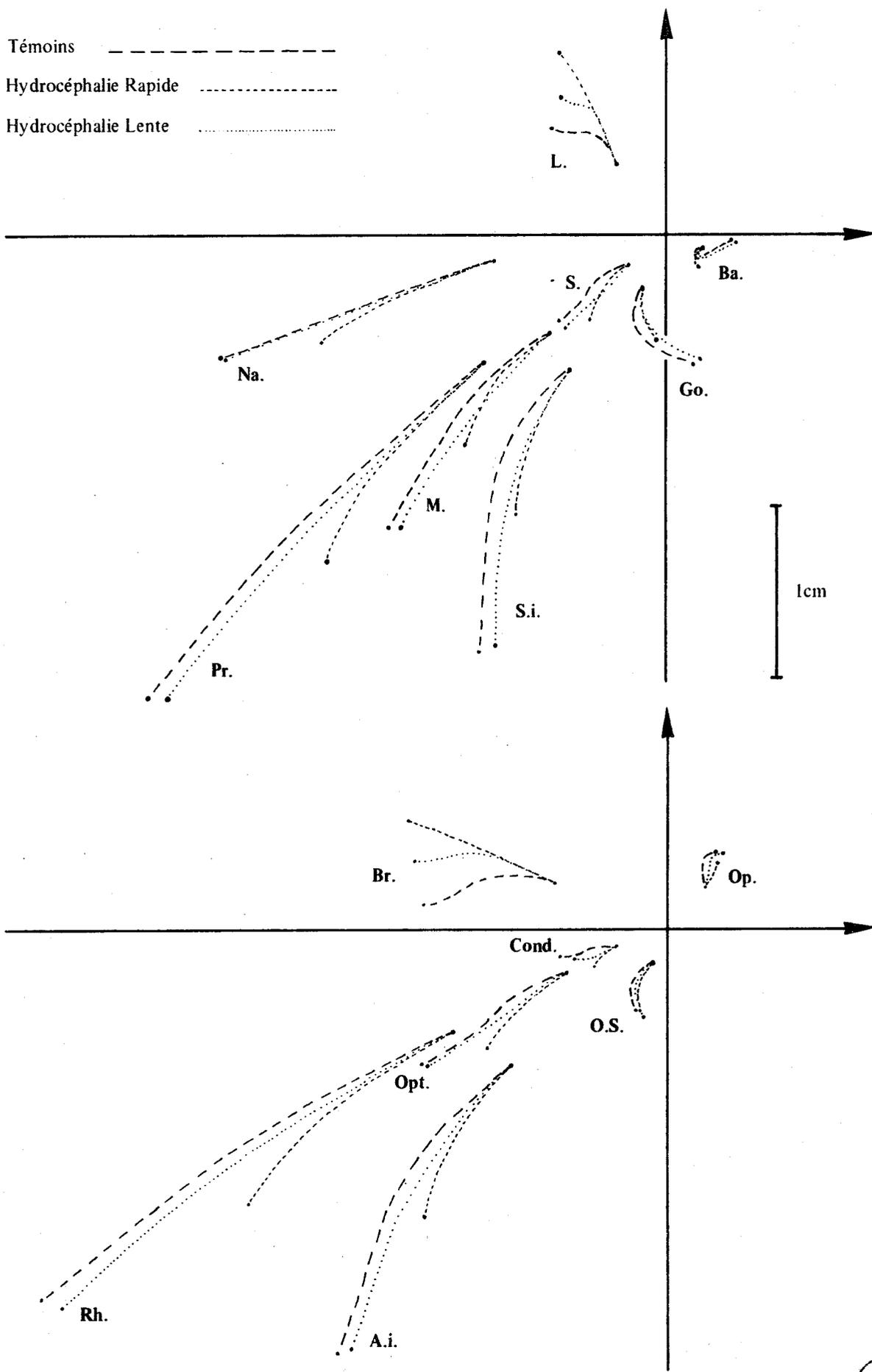


Figure 46

Trajets ontogéniques des points craniométriques sagittaux ou projetés sagittalement : Superposition des trois évolutions.





Figures 47 à 51

**Croissance des paramètres
dans les trois populations.**



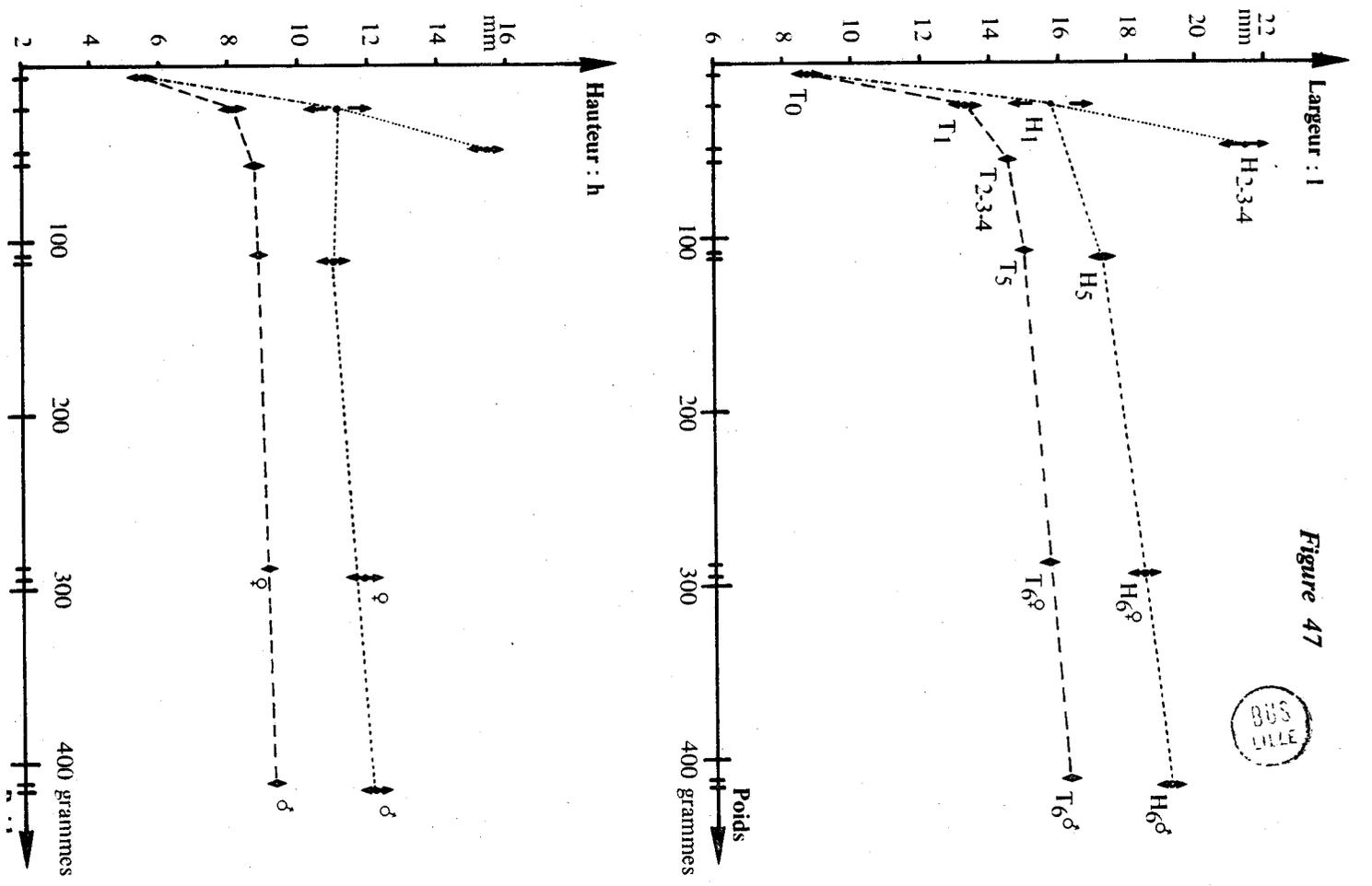
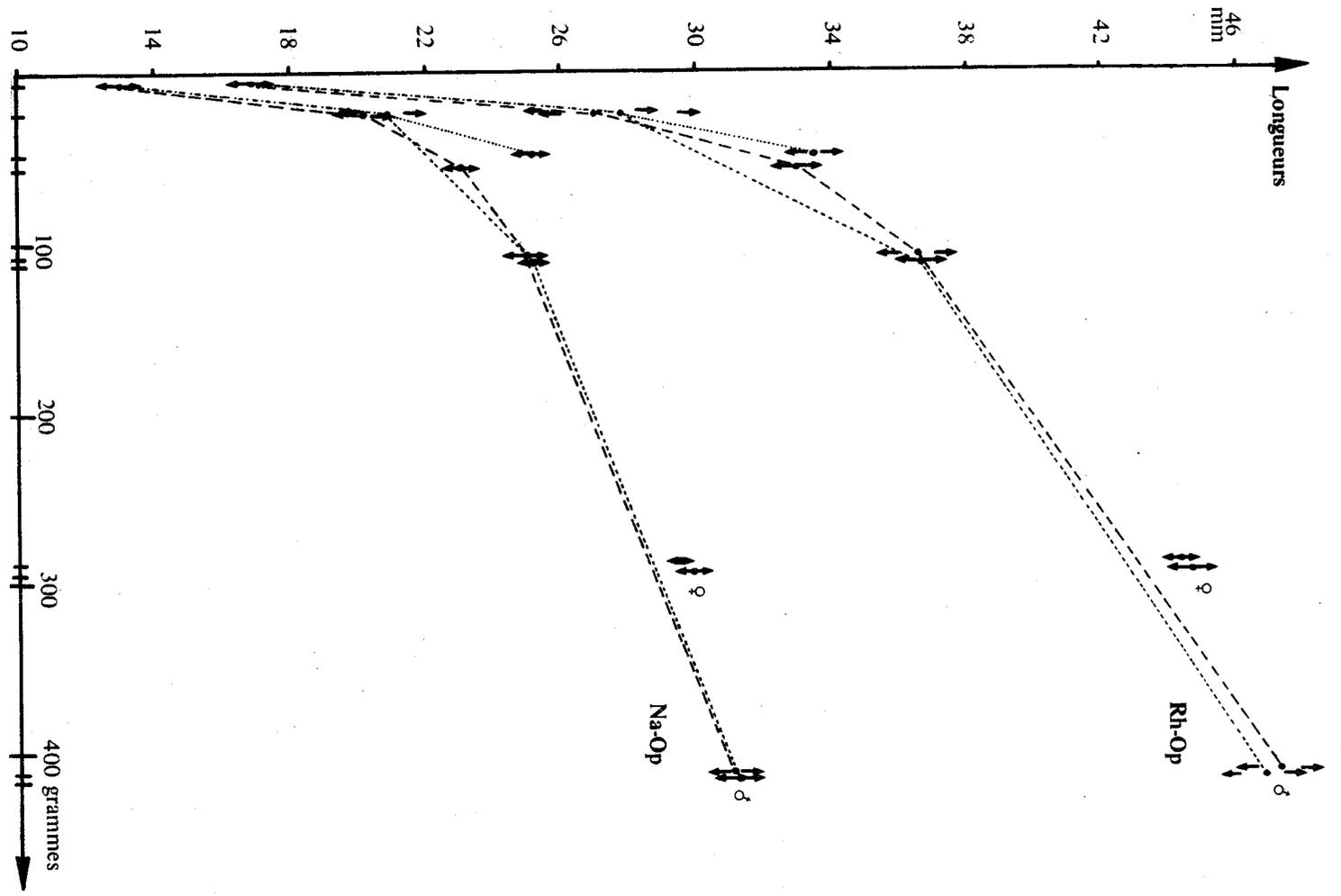


Figure 47



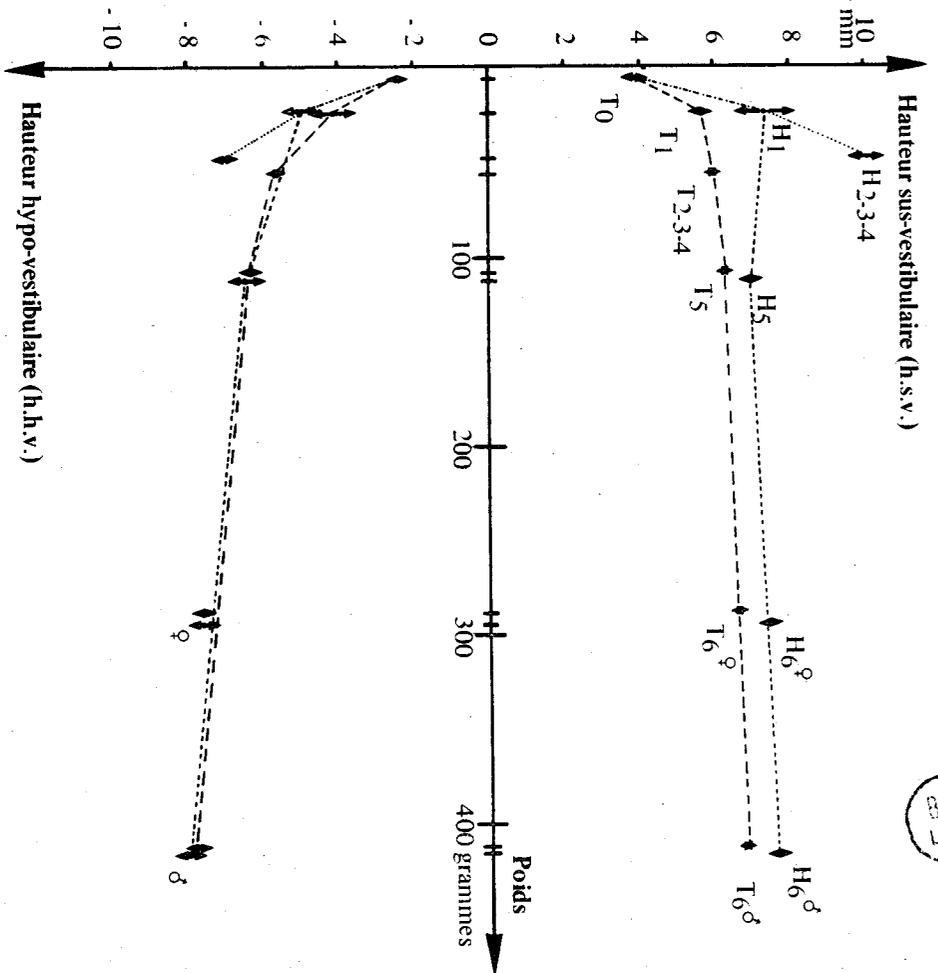
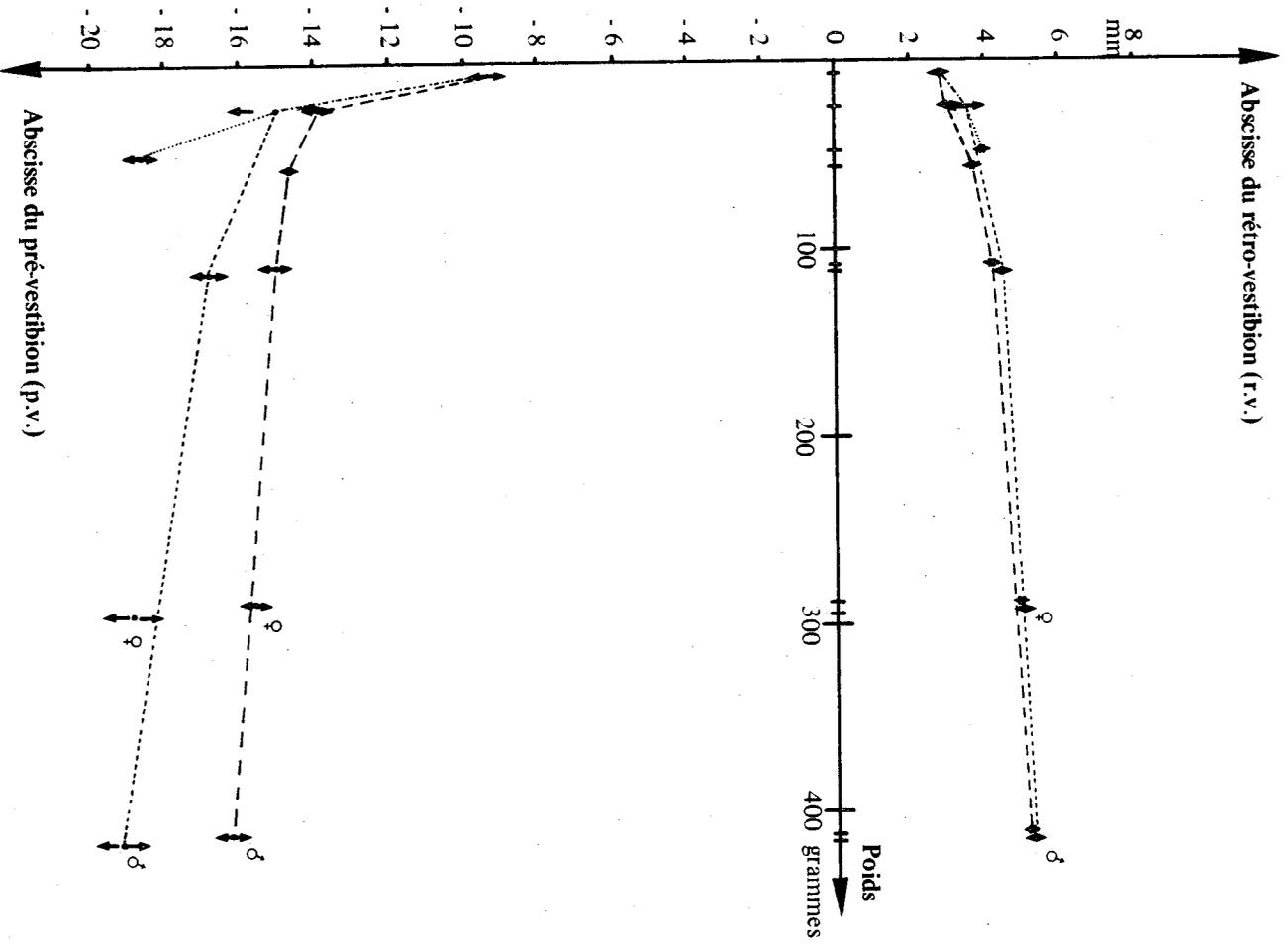


Figure 48



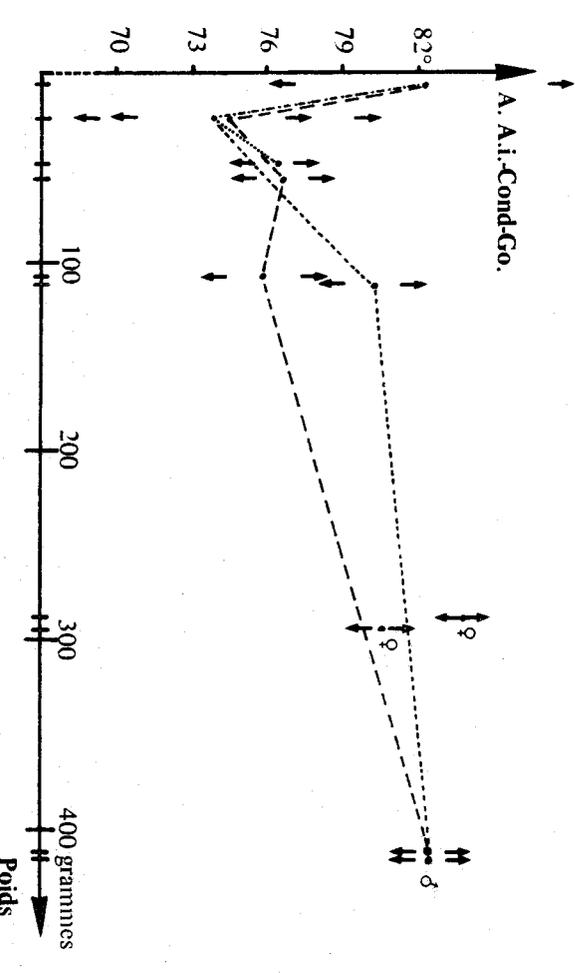
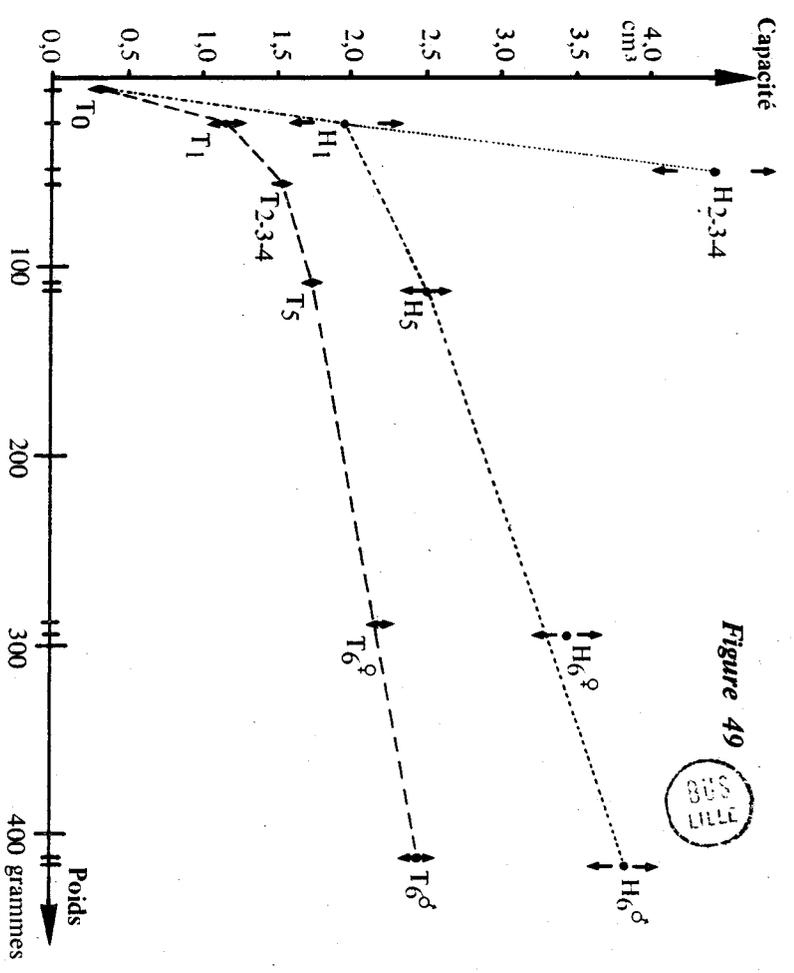
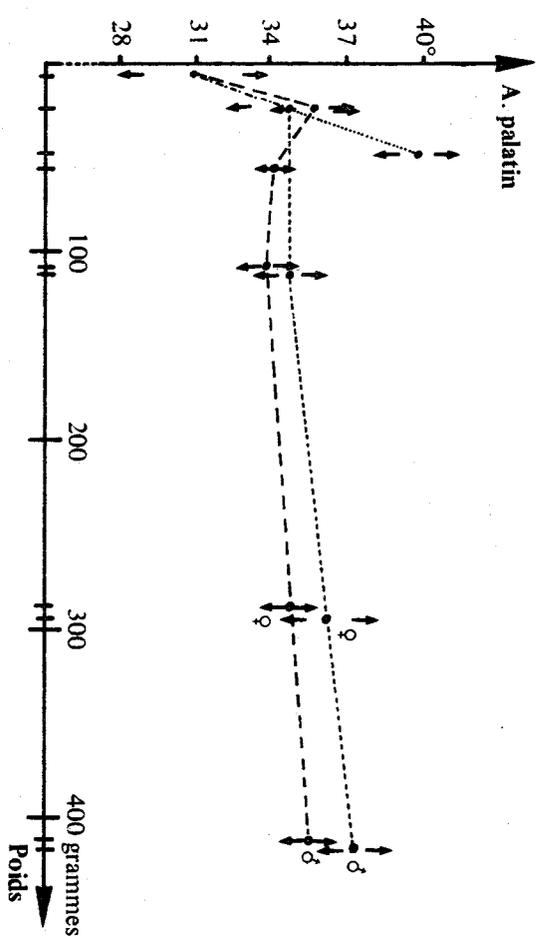
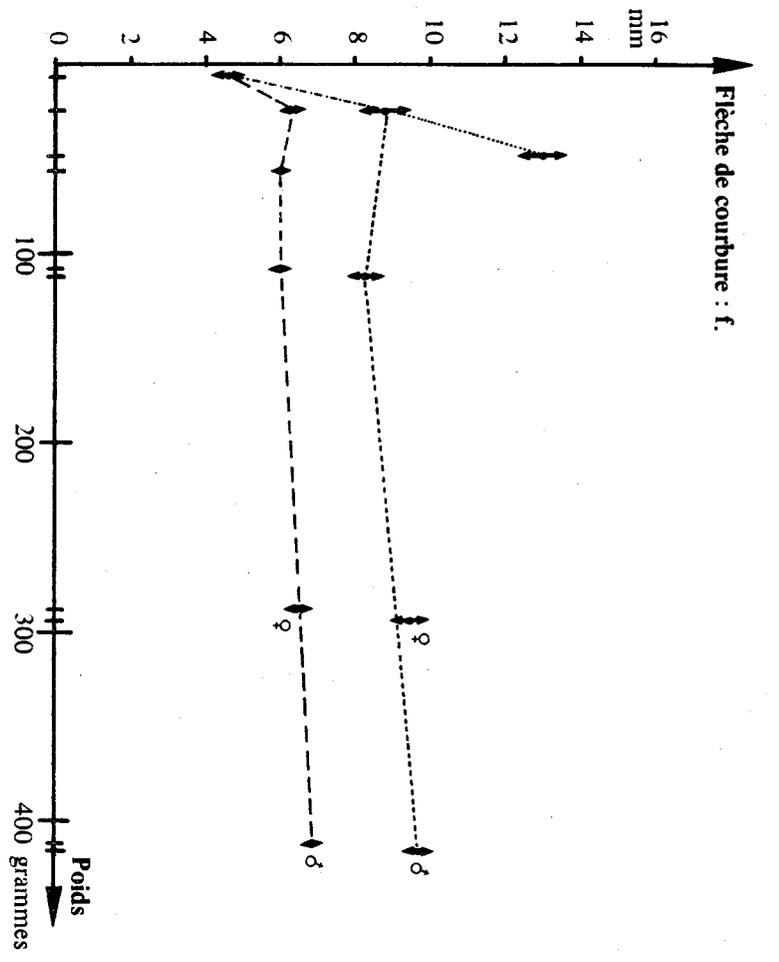


Figure 49



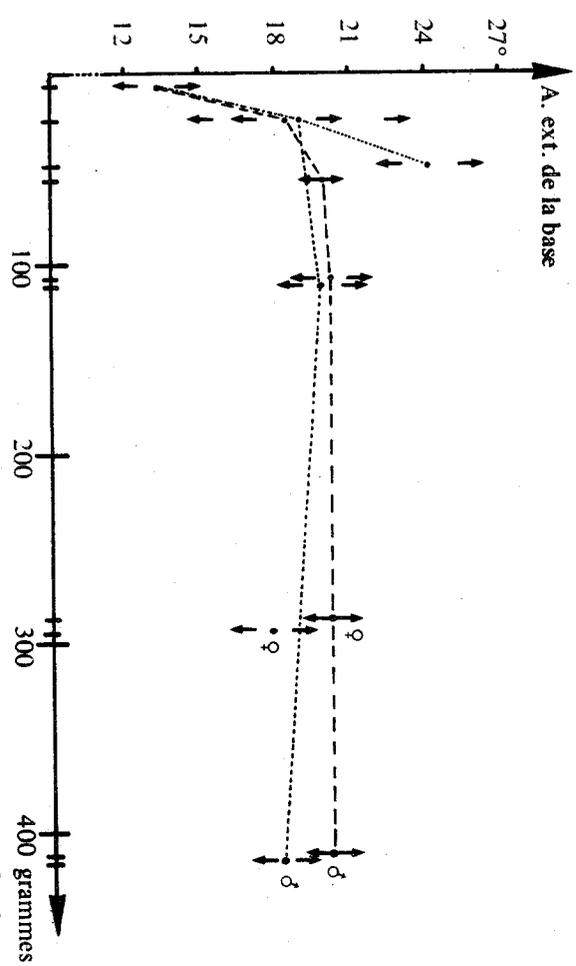
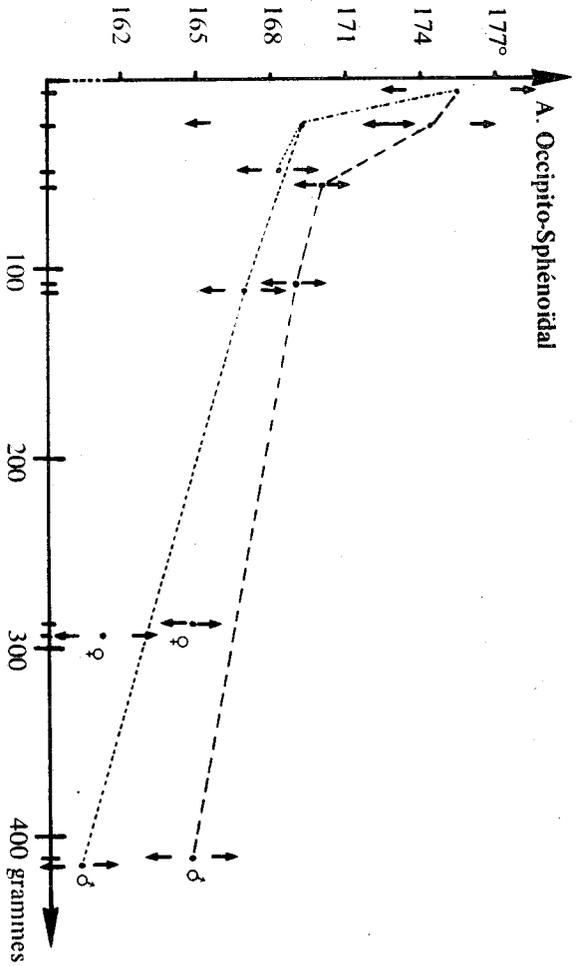
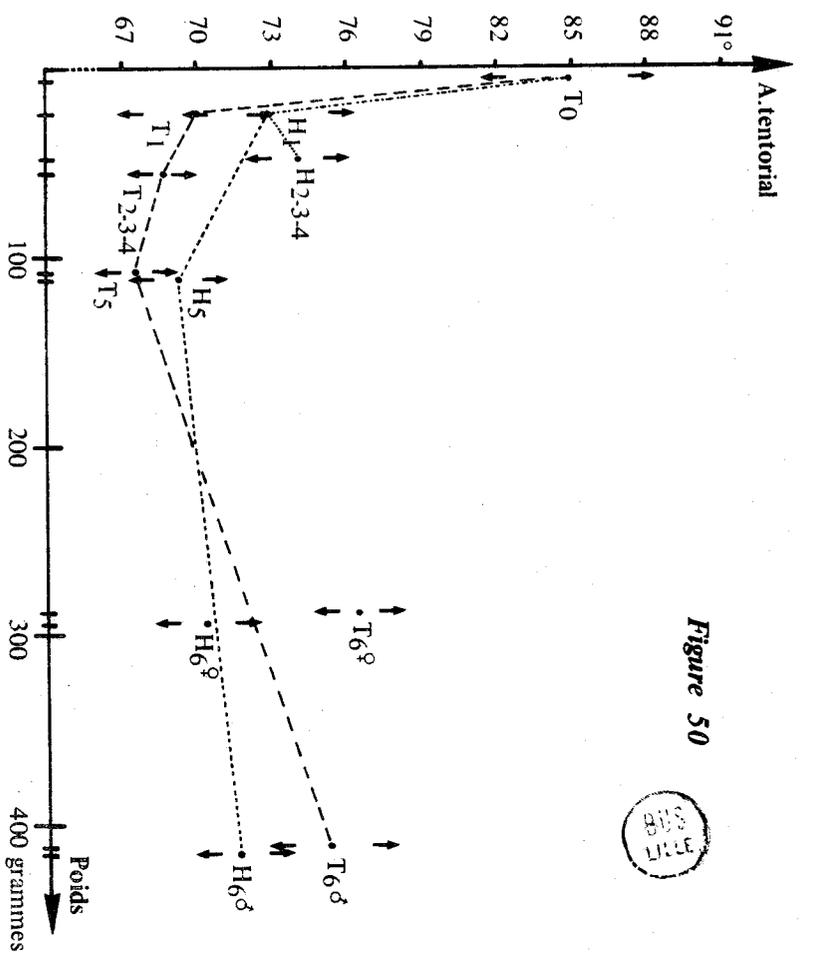
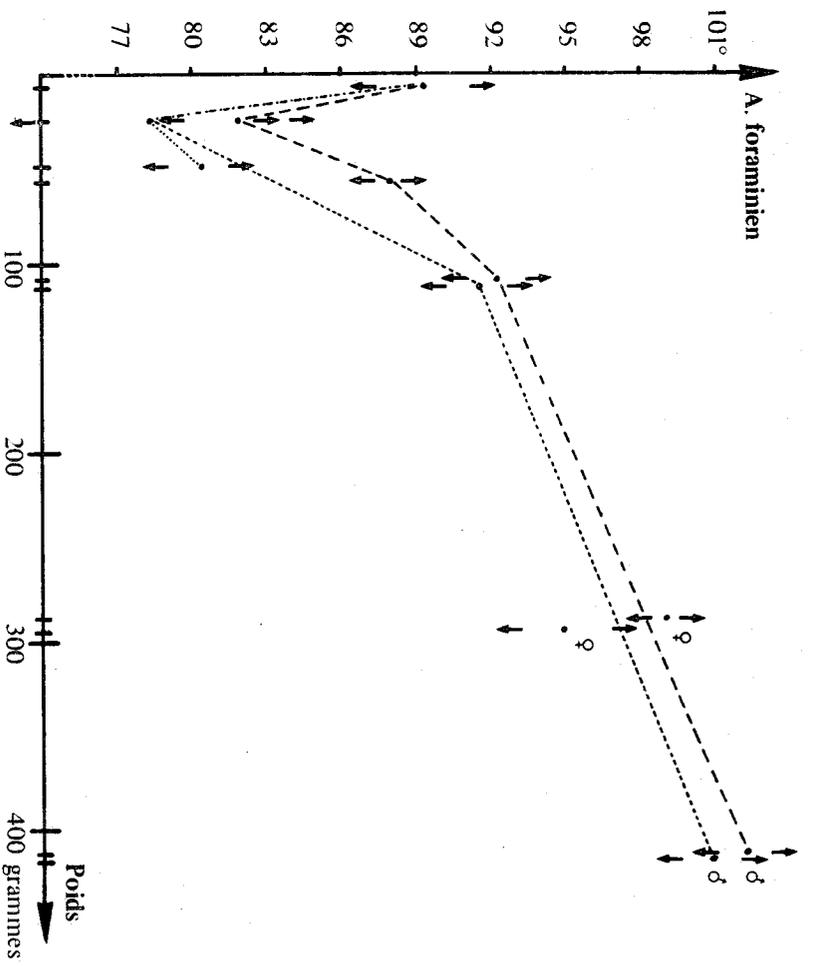


Figure 50



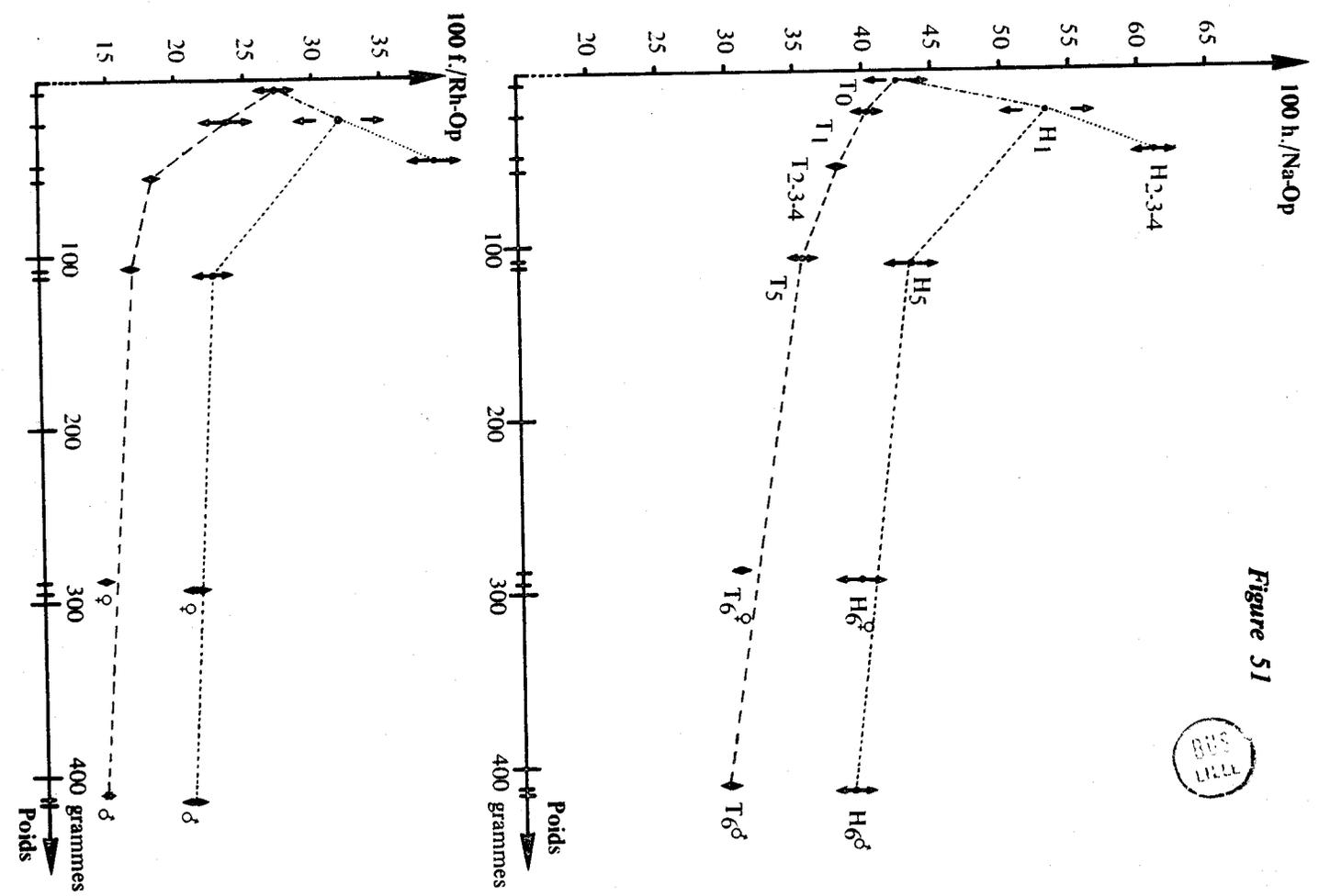
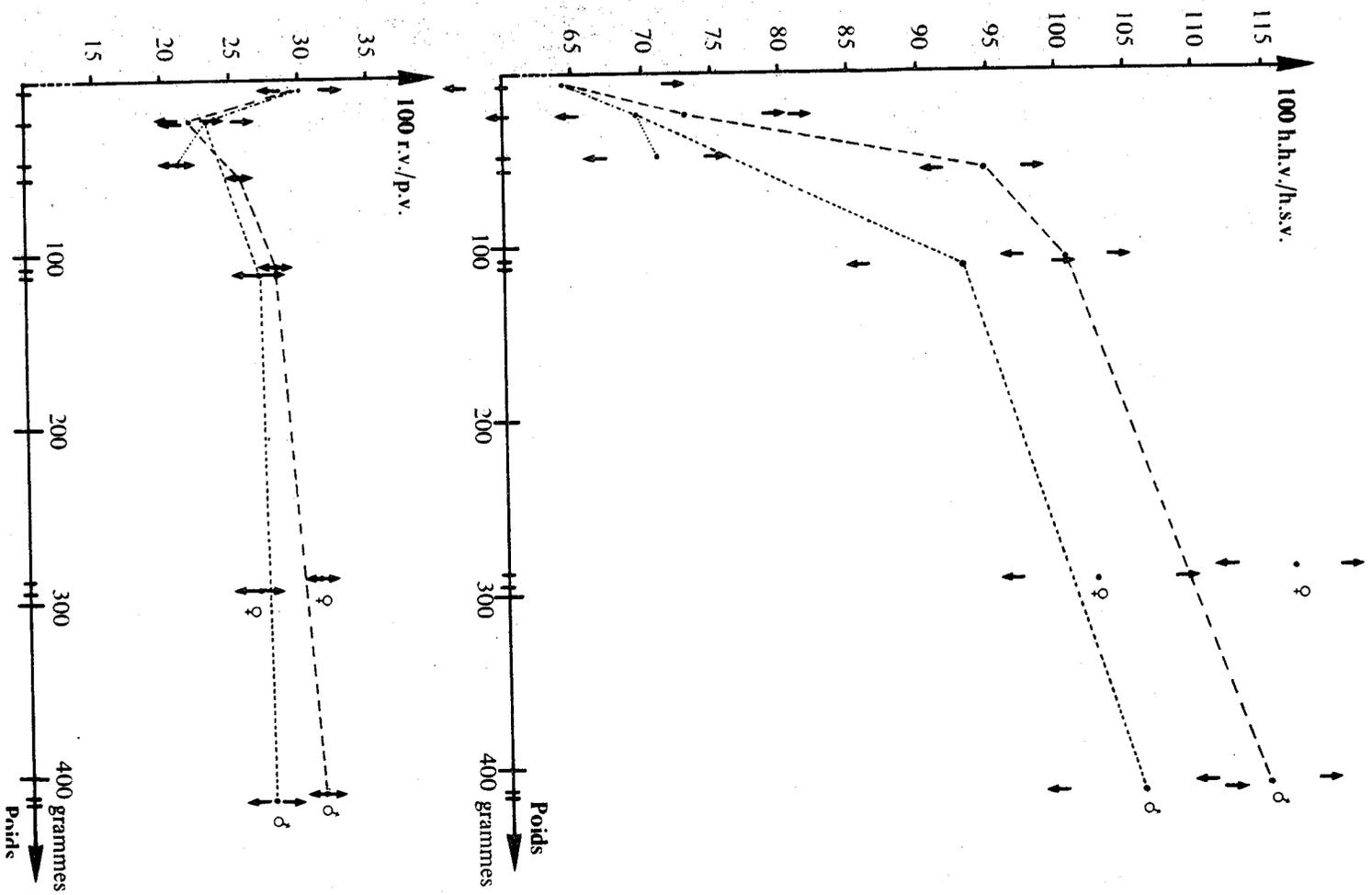
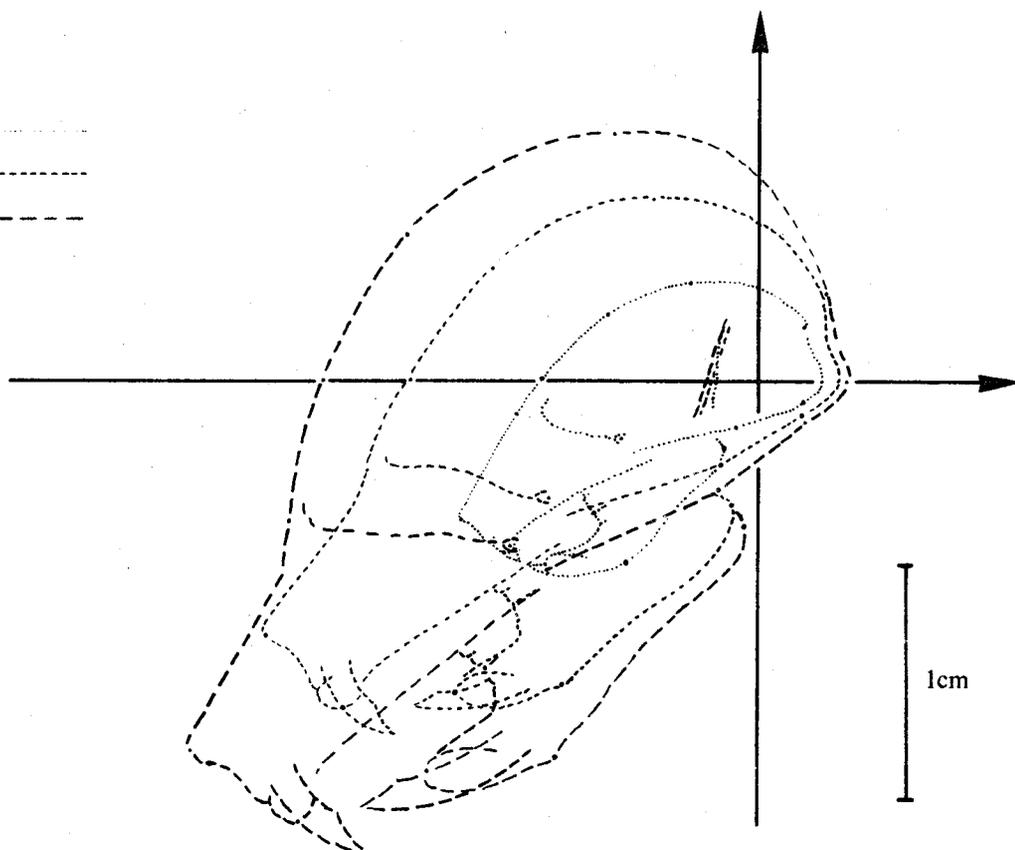


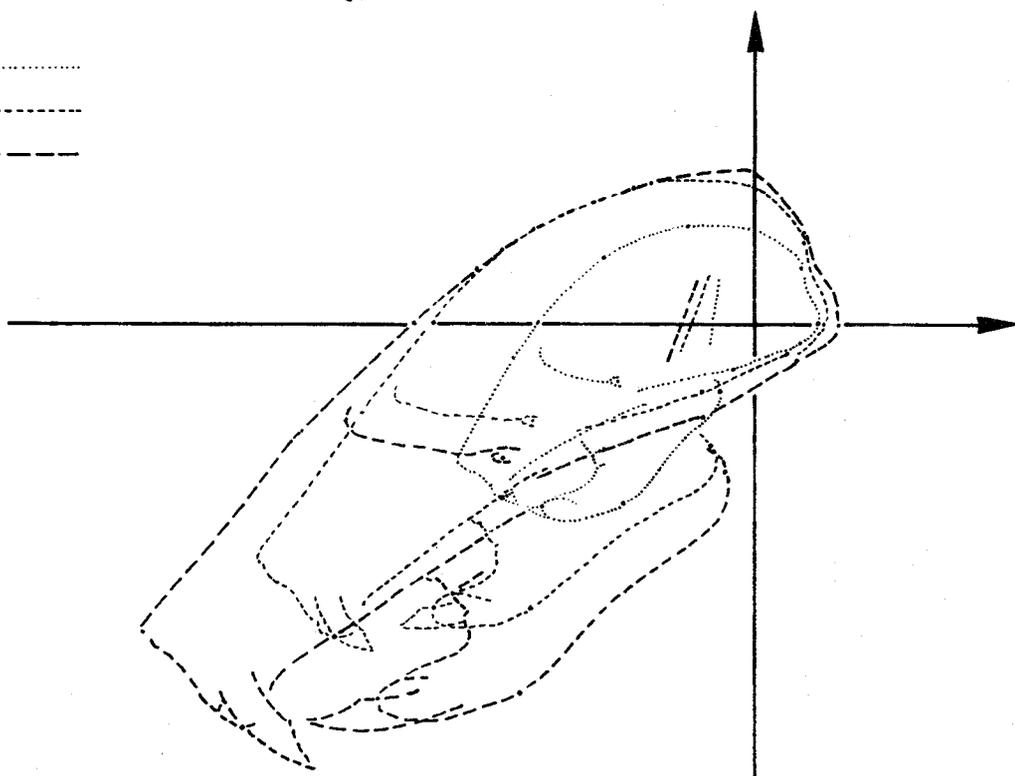
Figure 51



T₀
H₁
H₂₋₃₋₄ - - - -



T₀
T₁
T₂₋₃₋₄ - - - -

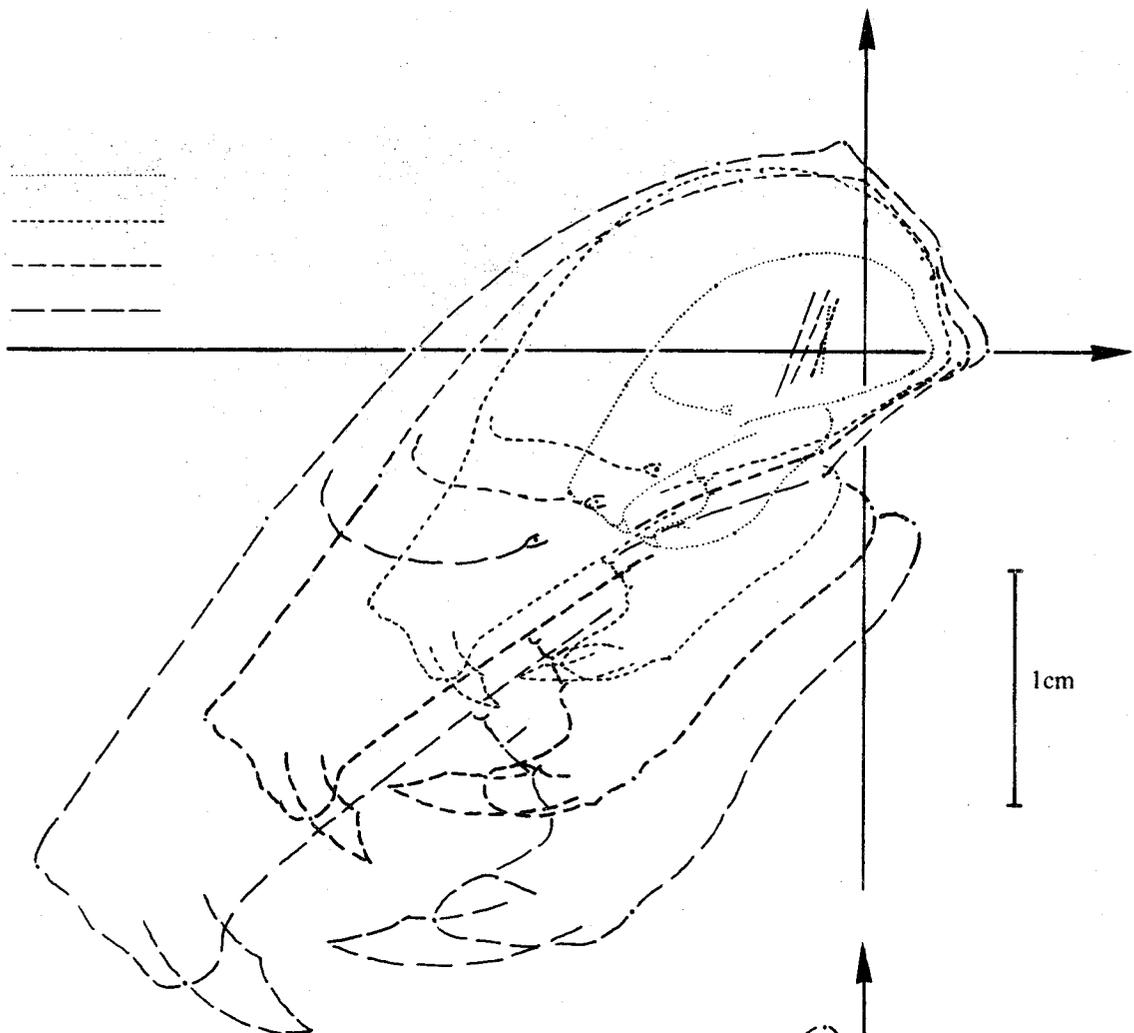


Figures 52 et 53

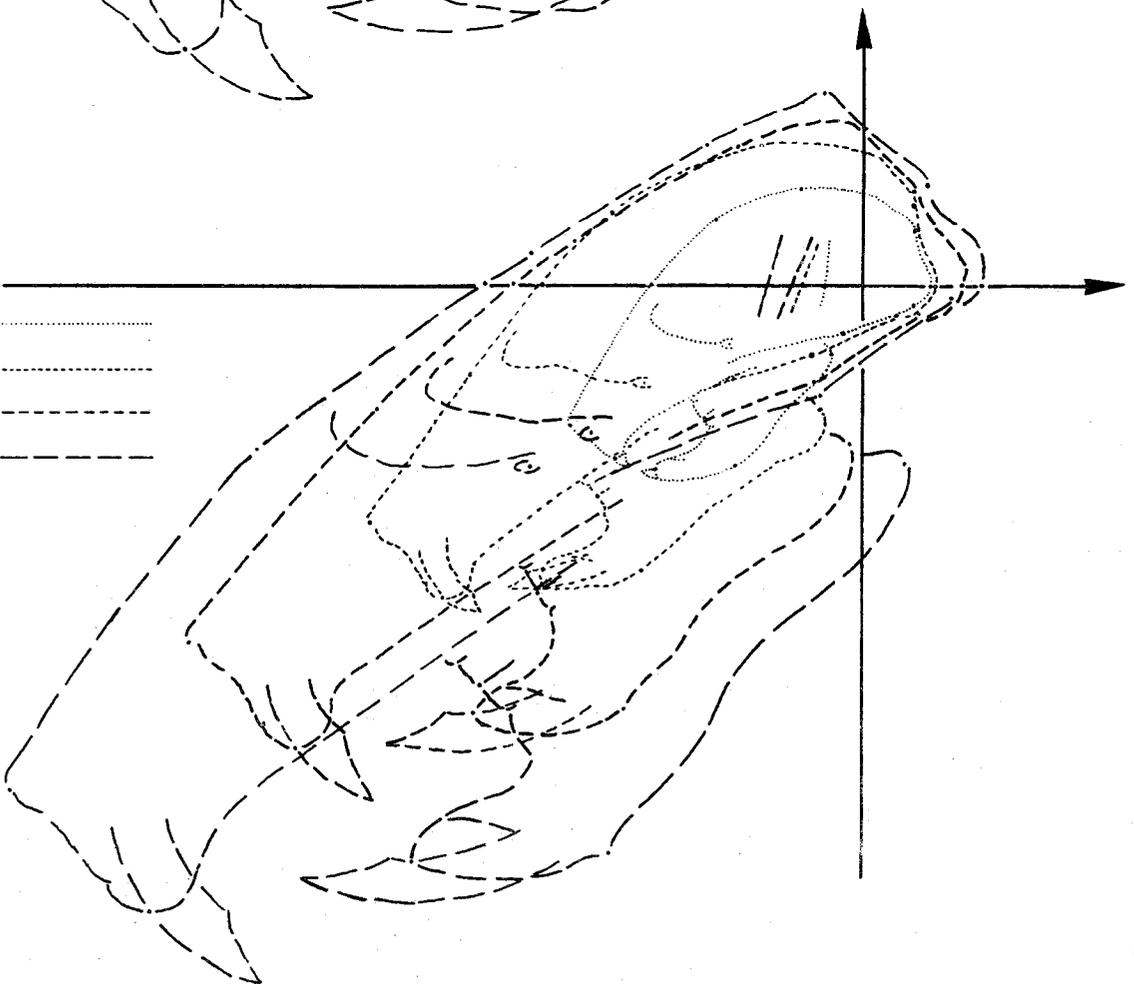
Profils emboîtés, au cours de la croissance :
en haut, chez les hydrocéphales *rapides*
en bas, chez les témoins correspondants .



T0
 H1
 H5
 H6[♂] - - - -



T0
 T1
 T5
 T6[♂] - - - -

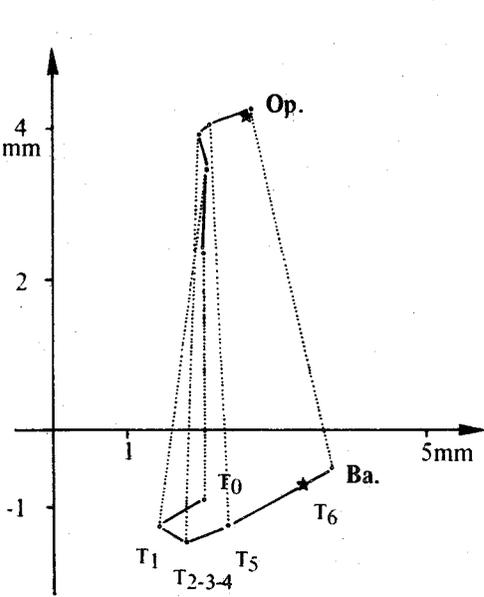
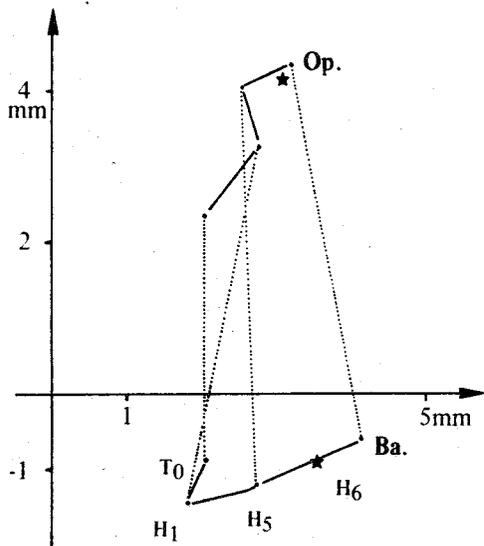
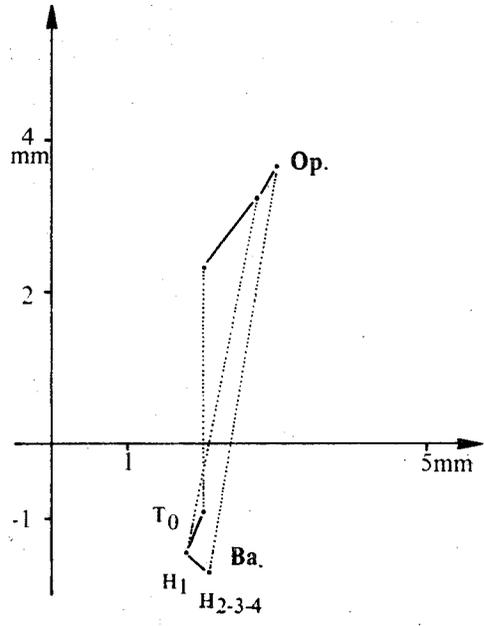


Figures 54 et 55

Profils emboîtés, au cours de la croissance :
 en haut, chez les hydrocéphales *lents*
 en bas, chez les témoins correspondants.



Plan foraminien



Base du crâne

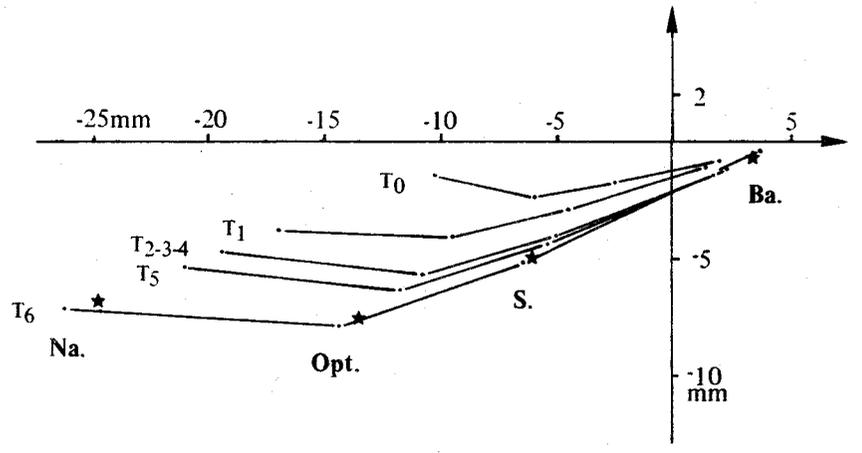
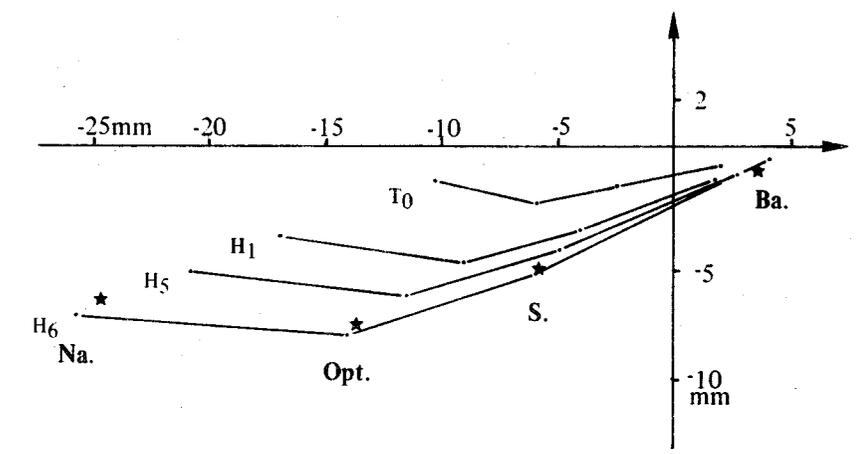
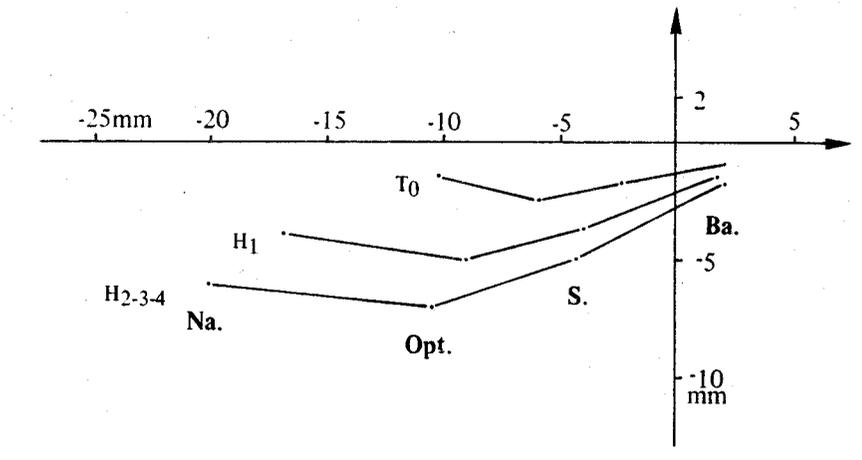


Figure 56

Evolution ontogénique de la direction foraminifère et de la base du crâne chez les hydrocéphales *rapides*, les hydrocéphales *lents* et les témoins correspondants, de T₀ à l'adulte ♂.

Les adultes ♀ sont représentés par le signe ★.



CONCLUSIONS

Ainsi que nous l'annoncions au début de ce travail, l'ensemble des investigations poursuivies jusqu'ici, sur l'extrémité céphalique de l'Homme et des autres Mammifères, par la méthode vestibulaire d'orientation, a amené à considérer la forme générale de la tête osseuse des Mammifères, comme une résultante entre l'action de plusieurs facteurs morphogénétiques.⁽¹⁾ Parmi ces derniers, nous n'avons retenu que ceux intervenant mécaniquement, par une action continue au cours de l'ontogénèse, voire par leur seule présence, interprétation "holistique" se rapprochant de celle des "matrices fonctionnelles" de Moss.

Les quatre facteurs essentiels qui entrent en jeu sont : la posture, le volume encéphalique, les exigences splanchnocrâniennes et la gravitation; leur étude expérimentale est entreprise de façon systématique. Après les recherches de R. Fenart sur l'influence du premier d'entre eux, nous présentons ici le second volet de cet ensemble en apportant un élément de réponse à deux questions : tout d'abord de savoir si une augmentation de volume du contenu endocrânien entraîne systématiquement un changement de direction du trou occipital et ensuite de connaître les répercussions que peut avoir cette intervention, sur la forme et la position des divers constituants de la tête.

C'est ainsi que nous avons pu démontrer que les hydrocéphales obtenus sont de deux types : on retrouve, dans une première catégorie, celle des *hydrocéphales rapides*, des sujets semblables à ceux déjà décrits par Young; mais un second type, l'*hydrocéphale lent*, est également rencontré; il offre pour nous un intérêt tout particulier par le fait que ces sujets ont vécu suffisamment longtemps pour que les facteurs morphogénétiques étudiés aient le temps d'intervenir et d'aboutir à un nouvel état d'équilibre. Le rat dont le volume encéphalique augmente rapidement, a un trou occipital entraîné vers l'arrière par un mouvement de bascule fort net, mais celui dont l'affection progresse lentement ne présente pas de différence dans la direction de son *foramen magnum*, comme si le facteur "volume de l'endocrâne" n'avait eu aucune influence sur lui. Pourtant, les modifications provoquées dans le cas de ces hydrocéphales devenus adultes, sont très significatives par ailleurs.

L'observation et les mensurations du profil des sujets, suivis au cours d'une étude "longitudinale", a encore montré que, malgré l'impression qu'on peut en avoir, il n'y a jamais, de façon prolongée, de régression spontanée du volume absolu; certains individus qui ne meurent pas tendent à stabiliser leur affection après un début très rapide. Ceci, joint à la connaissance précise de l'anatomie des types intermédiaires, nous a fait admettre que, chez ces derniers, le trou occipital avait dû *retrouver* une situation normale, après une première période de refoulement postérieur.

Les précédentes constatations sont nettement en faveur d'une indépendance du facteur "postural" qui tendrait à maintenir ou à rétablir la direction du trou occipital et de la colonne cervicale en une situation dic-

(1) voir note , page 2

tée par les déterminantes spécifiques, à condition qu'ils aient le temps de se manifester. Cette analyse de l'inclinaison du *foramen magnum* et de l'ensemble de la loge cérébelleuse, est d'ailleurs rendue assez délicate par les changements qu'ils présentent lors d'une ontogénèse normale, et qu'il nous a fallu préalablement étudier en détail. Verticale à la naissance, chez le rat, la direction foraminienne s'incline d'abord légèrement en arrière (sens "horaire" sur héli-crâne gauche), puis vers l'avant. Pour reprendre la terminologie "vestibulaire", elle tourne d'abord *positivement* puis *négativement* (ce qui est conforme à la description générale qui en a été faite précédemment pour l'ensemble des Mammifères).

Chez les rats très atteints par le processus pathologique, la rotation demeure positive alors que, chez un hydrocéphale devenu adulte, la succession a été analogue à celle du rat normal, avec cependant une différence capitale, à savoir que la rotation positive a résulté chez lui, d'un déplacement de l'opisthion vers l'arrière et non du basion vers l'avant. Cela est une preuve tangible, appuyée par les statistiques, que le trou occipital peut se "remettre en place" par rapport aux axes de référence, indépendamment des contraintes volumétriques de l'encéphale, à condition d'avoir le temps de le faire.

Une autre constatation de même importance peut encore être faite, lors de l'examen *in vivo*, des rats dont l'hydrocéphalie est de type *rapide*. En effet, l'augmentation de la masse endocrânienne, ainsi que sa nouvelle répartition, entraînent la tête à tomber en avant au point que le rat la supporte, à l'état de repos, en posant le nez sur le sol. Mais le labyrinthe, informé de son inclinaison anormale, tend à réagir dans les phases d'activité du sujet, en rétablissant, par le jeu des muscles du cou, la tête en une position telle que les canaux semi-circulaires externes soient à nouveau en position horizontale. Dans ces conditions, le trou occipital est nettement plus "basculé" en bas et en arrière et oblige le sujet à porter la tête plus haute, et au bout d'un couplet vertical que chez le rat témoin. C'est effectivement ce que nous avons pu observer et filmer.

Ainsi, nous apportons de nouveaux arguments en faveur de l'indépendance des facteurs : volumétrique, postural et la gravitation. Mais l'analyse fine des déplacements ontogéniques des points craniométriques dans "l'espace vestibulaire", chez les divers types d'hydrocéphales, comparativement à ce qui se passe lors d'une croissance normale, nous a conduit à considérer aussi les implications de l'affection au niveau du splanchnocrâne. En effet, en avant et au dessous du lieu géométrique du bregma, devenu rectiligne chez l'hydrocéphale *rapide*, tous les points voient leur trajet dévié très nettement vers le bas et l'arrière par rapport aux points du témoin. La face est donc déplacée dans le même sens; mais, en plus du changement de position, elle change aussi de forme (elle est plus pointue) et de volume (empiétement de la région criblée). Chez les hydrocéphales devenus adultes, ces influences faciales vont dans le même sens mais sont peu marquées, au point que le plan palatin peut être considéré comme ayant une direction normale.

L'étude des différences sexuelles chez le rat, particulièrement par les corrélations s'établissant au niveau de l'arrière-crâne, vient aussi nous éclairer sur l'importance morphogénétique du facteur postural. En effet, nous avons pu démontrer que (indépendamment du repositionnement précoce dont nous avons parlé plus haut, et à une période plus tardive où les différences sexuelles se manifestent) l'acquisition de la position adulte de la direction du trou occipital était régie par les mêmes lois chez les hydrocéphales de type *lent* et chez les témoins. La bascule occipitale "négative" amenant le trou occipital à sa situation définitive, est le fait d'un recul du basion chez les mâles et d'une avancée de l'opisthion chez les femelles. Nous croyons pouvoir affirmer que l'activité prolongée du cartilage sphéno-occipital, chez le mâle, est en grande partie responsable de cette différence et

l'attention est attirée à nouveau sur l'importance de la région métafaciale ou pharyngienne dans la production des différences sexuelles de la tête, comme cela a pu être aussi mis en évidence dans l'espèce humaine par d'autres recherches de notre Laboratoire. Les femelles, tant hydrocéphales que témoins, arrivent à posséder un arrière-crâne moins "basculé" en avant que les mâles, probablement par une fixation pubertaire plus précoce; mais l'essentiel est ici de relever la constatation d'une identité des différences sexuelles, indépendamment du processus hydrocéphalique, ce qui démontre bien l'existence de facteurs posturaux agissant sur l'arrière-crâne, isolément des autres influences.

Un autre centre d'intérêt de notre thèse a été de retrouver, à propos des crânes de rats, des "lois" générales régissant l'extrémité céphalique en orientation vestibulaire, déjà exposées à l'occasion de travaux antérieurs ayant trait à cette méthode.

Parmi celles-ci, il faut relever :

- Les différences entre le neuro et le splanchnocrâne dont les trajets ontogéniques des points sont incurvés à l'exception du nasion (point frontière) chez les témoins, ou du bregma chez les hydrocéphales *rapides*.
- La direction du plan palatin qui se fixe aux environs de 30 degrés, comme chez la plupart des Mammifères, sauf lorsque la poussée hydrocéphalique est trop intense;
- Le peu de modifications au niveau de la mandibule qui subit les déplacements du massif facial, mais en apportant au mouvement une certaine inertie, phénomène sur lequel les orthodontistes ont récemment attiré l'attention chez l'Homme;
- La constatation d'une variation d'autant plus importante que l'on s'éloigne du centre des axes, c'est à dire, pour le rat, d'arrière en avant. Cette variation est d'ailleurs plus grande chez les hydrocéphales que chez les témoins et chez les *rapides* que chez les *lents* pour un point donné.

La construction des ellipses équiprobables et l'étude des changements ontogéniques de la direction de leur grand axe ont permis une analyse poussée de la variabilité et de ses rapports avec les phénomènes de croissance du crâne, chez le rat *témoin*. Les conclusions reproduisent celles déjà obtenues pour d'autres espèces (porc, chimpanzé, Homme) : durant la période de croissance, la direction des grands axes est proche de celle de la tangente à la courbe ontogénique; la direction du grand axe s'inverse lorsque la croissance cesse d'être prédominante sur la variabilité pure; la rotation des grands axes se fait dans le même sens que celle du déplacement des points craniométriques dans l'espace vestibulaire. De là il ressort que le mode de découpage de l'effectif en tranches d'âge est essentiel; c'est ainsi que l'on arrive à prouver que la croissance femelle s'arrête plus précocement que la croissance mâle.

Chez les rats *hydrocéphales*, dans la variabilité "totale", on arrive à isoler outre la composante centrifuge liée à la croissance, et celle de sens circonférentiel liée à la variabilité morphologique pure à un stade ontogénique donné, une troisième composante qui est fonction du processus hydrocéphalique. Au niveau de la face, elle est de type rotatoire et s'exerce dans le même sens que la variation biologique à laquelle elle s'additionne, tandis qu'au niveau du postéro-crâne, elle est antéro-postérieure, surtout chez les hydrocéphales.

Notre expérimentation apporte, pensons-nous, à la connaissance physio-pathogénique du processus hydrocéphalique quelques enseignements qui ont probablement une portée plus générale.

- L'augmentation volumétrique de l'espace endocrânien a, sur les os de la tête, une répercussion immédiate qui, si on laisse évoluer spontanément l'affection, marque d'une empreinte indélébile la courbe ontogénique des points, particulièrement neurocrâniens, même dans le cas où l'hydrocéphalie se stabilise et permet une survie quasi-normale.

- L'application de la méthode des fonctions discriminantes a montré que les plus grandes différences d'avec les témoins s'observaient, en projection sagittale, en deux endroits diamétralement opposés du neurocrâne, à savoir d'abord la région pariétale puis (mais de façon moins intense) au niveau de la selle turcique. La poussée la plus efficace est donc celle s'exerçant dans le sens de la hauteur (d'autres calculs ont montré qu'il en était pratiquement de même pour la largeur). Pour la face, c'est le rhinion qui est le plus modifié; il est refoulé en bas et en arrière. Ces modifications sont évidemment les plus nettes chez les sujets les plus atteints.

- L'un des apports pratiques essentiels de notre travail est d'avoir montré qu'à côté des hydrocéphales dont l'affection aboutit inéluctablement à une mort précoce (type *rapide*), on en observe d'autres qui arrivent non seulement à survivre mais encore à mener une vie normale, soit parce que l'affection s'est révélée de façon progressive (type *lent*) soit parce qu'elle s'est stabilisée après un début cataclysmique. D'après nos effectifs, il s'est avéré qu'il y avait deux fois plus de chance pour qu'une hydrocéphalie (provoquée !) évolue lentement ou après stabilisation, que de mener à un type rapidement mortel. Les types intermédiaires sont rares mais instructifs car leur observation permet d'affirmer qu'il existe une relation nette entre la forme du profil crânien et le degré de sévérité de l'affection. Ici encore, nous trouvons une preuve de l'indépendance entre le facteur postural et le facteur volumétrique car certains de ces types intermédiaires ont une voûte en forme de S très typique, témoin d'un refoulement vers l'avant, de la voûte fronto-pariétale par un occipital tendant à retrouver sa position spécifique. Les quelques crânes humains hydrocéphales adultes que nous avons examinés reproduisent cette courbe en S mais qui, cette fois, se situe au niveau de l'écaïlle occipitale.

- Nous pensons que parmi les procédés utilisés en clinique pour juger de l'existence et de l'évolution d'une hydrocéphalie, il faudrait introduire quelques notions plus précises : réalisation d'un bon télé-profil (accompagné si possible d'une orientation vestibulaire), considération de la voûte moyenne et de la variabilité de celle-ci à divers âges, étude de la courbe sagittale de la tête... toutes choses actuellement connues donc pouvant mener à des réalisations pratiques.

Un autre domaine où notre thèse apporte des éléments constructifs, est celui de la compréhension de certains problèmes posés par l'évolution de la tête des Vertébrés supérieurs, notamment dans la lignée hominienne, où l'on observe à la fois un développement cérébral et une verticalisation progressive. R. Fenart, dans sa thèse de Doctorat ès Sciences, a déjà exposé sa façon de concevoir les relations entre ces deux processus, et nous n'avons fait ici qu'apporter d'autres arguments qui vont dans ce sens.

Si l'on admet que, de façon expérimentale sur un Mammifère inférieur, une indépendance manifeste est mise en évidence entre l'augmentation du volume endocrânien et la bascule occipitale, et si l'on considère que ce raisonnement a quelques chances de s'appliquer aux Mammifères supérieurs lors de leur évolution, on est alors amené à penser qu'une augmentation du volume de l'encéphale ne s'accompagne "pas forcément" ni immédiatement d'une bascule équivalente du trou occipital dans le sens du redressement de la colonne. Ces deux phénomènes vont certes de pair, de façon "globale", mais on peut émettre l'hypothèse que la progression de l'un est conditionnée par une progression préalable de l'autre, et réciproquement. Cela expliquerait la forme du crâne de certains fossiles où l'équilibre mécanique entre ces facteurs n'est pas réalisé.

Avant de clore ce travail, il nous faut encore rappeler que notre expérimentation sur le rat n'a pu être menée à bien qu'en comparaison avec des sujets témoins. Ceux-ci en nombre toujours égal à celui des individus en expérience, ont été à la base d'une étude statistique poussée du crâne de rat normal, en orientation vestibulaire, comprenant les notions de type moyen, de variabilité, de croissance et de différences sexuelles. En publiant tous les paramètres et toutes les figures se rapportant aux témoins, nous avons pensé être utile aux chercheurs qui utilisent ce Mammifère de Laboratoire.

Enfin, nous avons conscience que, malgré l'ampleur du travail présenté ici, bien des recherches restent à réaliser dans ce domaine, dont certaines sont actuellement en cours. Les résultats d'une hydrocéphalie provoquée sont fonction de divers facteurs, parmi lesquels l'état des sutures. A un âge donné, cet état peut être très différent d'une espèce à une autre, et nos expériences sur les chats et les lapins le démontrent. Dans cette dernière espèce, il serait intéressant de provoquer des hydrocéphales par carence en vitamine A chez la mère en gestation, car il s'avère que c'est le seul moyen d'obtenir, chez eux, des types *rapides*. Par ailleurs, c'est en anatomie macroscopique que nous avons mené ce travail, mais il sera utile, par la technique histologique, de pousser plus loin l'analyse des lésions sur le matériel d'ores et déjà réservé à cet effet.

Posture, volume encéphalique, servitudes viscérales de la face, pesanteur... une connaissance plus approfondie de la tête de l'Homme et des Mammifères nécessite encore qu'une expérimentation soit poursuivie sur les deux dernières rubriques. Il sera, croyons-nous, assez facile d'intervenir sur le splanchnocrâne; quant au développement des Mammifères en apesanteur, l'état actuel de la Science permet de penser que cet objectif a cessé d'être du domaine de l'utopie.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - ANTHONY J. et PICARD-LEROY G. - 1950
Observations sur la rotation du lobe occipital du cerveau chez les Primates. Bull. Soc. Anthr. Paris. 10^o Sér. ; 1 ; 255-260.
- 2 - ANTHONY J. - 1952
Influence des facteurs encéphaliques sur la brisure de la base du crâne chez les Primates. Ann. de Paléont. 38 ; 69-79.
- 3 - ANTHONY J. - 1952
L'évolution cérébrale des Primates. Bio. méd. 41 ; 5 ; 1-17.
- 4 - ANTHONY R. - 1903
De l'action morphogénique des muscles crotaphytes sur le crâne et le cerveau des Carnassiers et des Primates. C.R. Ac. des Sc. Paris ; Vol. 137.
- 5 - ANTHONY R. - 1922
L'anatomie comparée et la paléontologie humaine. L'Anthropologie. 32 ; 67-82.
- 6 - ANTHONY R. - 1923
Le déterminisme et l'adaptation morphogénétique en biologie animale. Arch. de morph. gén. et expér. 14 ; 1-374.
- 7 - APERT E. - 1907
Maladies familiales et maladies congénitales. Baillière éd. Paris.
- 8 - ASLING C.W., NELSON M.M., DOUGHERTY H.L., WRIGHT H.V. and EVANS H.M. - 1960
The development of cleft palate resulting from maternal pteroylglutamic (folic) acid deficiency during the latter half of gestation in rats. Surg. gyn. obst. 111 ; 19-28.
- 9 - AUGIER M. - 1931
Traité d'anatomie humaine (Poirier P., Charpy A. et Nicolas A.). 4^o éd. 1 ; 1 ; 1ère div. ; 1-667.
- 10 - BABA T. - 1955
Maternal nutrition and experimental malformation. Acta Path. jap. (supplém.). 5 ; 485-494.
- 11 - BACHS A. and WALKER A.E. - 1953
Experimental hydrocephalus. J. Neuropath. Exp. Neurol. 12 ; 283-292.
- 12 - BAER M.J. - 1954
Patterns of growth of the skull as revealed by vital staining. Human Biol. 26 ; 80-126.

- 13 - BALDY-MOULINIER M. - 1968
Le débit sanguin cérébral et le liquide céphalo-rachidien. La Presse Médicale. 77 ; 3 ;
103-104.
- 14 - BARNICOT N.A. - 1947
The supravital staining of osteoclasts with neutral-red : their distribution on the parietal
bone of normal growing mice, and a comparison with the mutants grey-lethal and hydro-
cephalus 3. Proc. Royal Soc. 134 ; 467-485.
- 15 - BARONE R. - 1966
Anatomie comparée des Mammifères domestiques. T. 1 - Ostéologie. Lab. Anat. Ec. Nat.
Vét. Lyon ; 811 p.
- 16 - BEAÛDOIN A.R. - 1968
Teratogenic activity of six Disazo Dyes in the Wistar Albino Rat. Proc. Soc. Expér. Biol.
and Méd. 127 ; 215-219.
- 17 - BECK F. and LLOYD J.B. - 1966
Teratogenic effect of Azo Dyes. Advances Teratol. 1 ; 131-193.
- 18 - BEDFORT - 1934
The great vein of Galen and the syndrom of increased intracranial pressure. Brain. 57, 1-24.
- 19 - BELLOCQ P. in G. PATURET - 1964
Traité d'anatomie humaine. T. 4 ; Système nerveux. Masson éd. Paris.
- 20 - BERING E.A. and SALIBI B. - 1959
Production of hydrocephalus by increased cephalic-venous pressure. Arch. Neurol. Psychiat.
81 ; 693-698.
- 21 - BERING E.A. - 1962
Circulation of the cerebrospinal fluid. J. Neurosurg. 13 ; 405-413.
- 22 - BERRY R.J. - 1961
The inheritance and pathogenesis of hydrocephalus - 3 in the mouse. J. Path. Bact. 81 ;
157-167.
- 23 - BICKERS D.S., ADAMS R.D. - 1949
Hereditary stenosis of the aqueduct of Sylvius as a cause of congenital hydrocephalus.
Brain. 72 ; 246-262.
- 24 - BIZE R. - 1931
L'hydrocéphalie ventriculaire. Thèse méd. Paris.
- 25 - BIZE R. et PATEY G. - 1941
"Liquide céphalo-rachidien". Encycl. Méd. Chirurg. Paris. 17026 A.
- 26 - BOLK L. - 1925
On the problem of anthropogenesis. Pr. Kon. Akad. V. Wetenschappen. te Amsterdam.
Vol. 29.

54 - COUSIN R.P. - 1970

Etude en projection sagittale de quelques mesures angulaires concernant la base du crâne et la face au cours de l'ontogénèse humaine. *L'Orthodontie Française*. 41 ; 751-767.

55 - COUSIN R.P. et FENART R. - 1971

La rotation globale de la mandibule infantile envisagée dans sa variabilité. Etude en orientation vestibulaire. *L'Orthodontie Française*. 42 ; 225-231.

56 - COUSIN R.P. - 1971

Etude en projection sagittale des coordonnées vestibulaires de quelques points remarquables de la base du crâne et de la face, au cours de l'ontogénèse humaine. *L'Orthodontie Française*. 42 ; 439-453.

57 - CRAIGIE E.H., ZEMAN W. and MAITLAND INNES J.R. - 1963

Craigie's neuro anatomy of the rat. *Academic Press*. N.Y.

58 - CSERR H.F. - 1971

Physiology of the choroïd plexus. *Physiol.Review*. 51 ; 2 ; 273-311.

59 - CUCCINIELLO B. - 1967

L'idrocefalo sperimentale nel cane. *B. Acta. Neurol. Napoli*. 22 ; 54-64.

60 - D'ABUNDO G. - 1905

Atrofie cerebrali sperimentali ed atrofie craniensi concomitanti. *Ann. di Neurol., Napoli*. 23 ; 397-402.

61 - DANDY W.E. and BLACKFAN K.D. - 1914

Internal hydrocephalus. An experimental clinical and pathological study. *Am. J. Dis. Child*. 8 ; 406-482.

62 - DANDY W.E. - 1919

Experimental hydrocephalus. *Ann. Surg*. 70 ; 129-135.

63 - DARRAS P. - 1965

L'Homme est-il d'origine néoténique : Arguments apportés par l'étude du crâne par la méthode vestibulaire. *Th. Dr. Méd. Nancy*. 14 oct,

64 - DAVSON H. - 1967

Physiology of the cerebrospinal fluid. *Churchill J.A. ed. London*.

65 - DE BEER G.R. - 1937

The development of the vertebrate skull. *Oxford at the Clarendon Press* ; 552 p.

66 - DE BEER G.R. - 1947

How animals hold their heads. *Proc. of the Linnean Society of London*. 158 ; 125-139.

67 - DEFRISE-GUSSENHOVEN E. - 1966

A masculinity-feminity scale based on a discriminant function. *Acta genet. Basel*. 16 ; 198-208.

68 - DEFRISE-GUSSENHOVEN E. - 1955

Ellipses équiprobables et taux d'éloignement en biométrie. *Bull. Inst. roy. Sc. nat. Belgique*. 31 ; 1-31.

- 69 - DEFRISE-GUSSENHOVEN E. - 1967
Echelle masculinité-féminité. B. Soc. Roy. Belge Anthrop. Prehist. 78 ; 31-39.
- 70 - DEFRISE - GUSSENHOVEN E. - 1967
Generalized distance in genetic studies. Acta. genet. Basel. 17 ; 275-288.
- 71 - DELAHUNT C.S. et LASSEN L.J. - 1964
Thalidomide syndrom in monkeys. Sciences. 164 ; 1300-1305.
- 72 - DELATTRE A. - 1951
Du crâne animal au crâne humain. Masson éd. Paris.
- 73 - DELATTRE A. - 1952
L'orientation du crâne : Méthode vestibulaire et méthode vestibienne. L'Anthropologie.
T. 56 ; n° 3-4 ; 241-258.
- 74 - DELATTRE A. et FENART R. - 1952
L'évolution morphologique du cerveau. II. Les ventricules latéraux. Bull. Soc. Anthr. Paris.
3 ; 10° Sér.;238-268.
- 75 - DELATTRE A. et FENART R. - 1953
Méthode vestibulaire et crâniométrie. Détermination des axes vestibulaires et coordonnées
vestibulaires. Bull. Soc. Anthr. Paris. 4 ; 10° Sér.;543-549.
- 76 - DELATTRE A. et FENART R. - 1954
Rotation occipitale positive et négative. C.R. Ac. Sc. 239 ; 676-678.
- 77 - DELATTRE A. et FENART R. - 1956
Etude de l'ontogénèse du crâne des Anthropoïdes du Congo belge. Ann. Mus. roy. du
Congo belge. Sc. zool. 47 ; 1-121.
- 78 - DELATTRE A. - 1958
La formation du crâne humain. (Les processus de l'hominisation. Coll. Int. du C.N.R.S.)
37-57.
- 79 - DELATTRE A. et FENART R. - 1960
L'hominisation du crâne, étudiée par la méthode vestibulaire. éd. du C.N.R.S. Paris. 1-418.
- 80 - DELATTRE A. et FENART R. - 1960
L'évolution du crâne et le cosmos. Cah. d'études biologiques. Lyon. 6 et 7 ; 47-59.
- 81 - DELATTRE A. et FENART R. - 1963 et 1964
Etude des projections horizontale et vertico-frontale du crâne au cours de l'hominisation.
L'Anthropologie. 67 ; 1 et 2 ; 85-114. 3 et 4 ; 301-346. 5 et 6 ; 525-562. 68 ; 1 et 2 ; 95-132.
- 82 - DELATTRE A. et FENART R. - 1965
Etude comparée du déplacement ontogénique du basion des mammifères dans les axes
vestibulaires. C.R. Ass. Anat. 125 ; 522-526.
- 83 - DELMAS A. - 1958
L'acquisition de la station érigée. (Les processus de l'hominisation : Colloque Int. du
C.N.R.S.) 9-35.

84 - DE RIBET - 1941

Travaux du labo. d'Anatomie de la Fac. de Méd. d'Alger. p. 71.

85 - DESTOMBES P. et FENART R. - 1968

Production expérimentale de l'hydrocéphalie chez les mammifères. Etude de la tête dans les axes vestibulaires. C.R. Ass. Anat. 141 ; 813-817.

86 - DESTOMBES P. - 1968

Contribution à la production expérimentale de l'hydrocéphalie chez quelques mammifères. D.E.A. Fac. des Sc. Lille. 64 p.

87 - DESTOMBES P., FENART R. et LIEFOOGHE J. - 1969

La production expérimentale de l'hydrocéphalie chez les mammifères. J. Sc. Méd. de Lille. T. 87 ; n° 5. 377-382.

88 - DESTOMBES P. et FENART R. - 1970

Modifications crâniennes chez le rat rendu hydrocéphale. C.R. Ass. Anat. 147 ; 235-241.

89 - DESTOMBES P., FENART R. et DEBLOCK R.

Trajets ontogéniques des points du crâne chez le rat hydrocéphale. Comparaison avec les témoins. C.R. Ass. Anat. (A paraître). 57ème Congrès. Lisbonne. 1972.

90 - DESTOMBES P. et FENART R.

A la recherche des divers types d'hydrocéphales, par la méthode anatomique expérimentale. Soc. Anat. de Paris (A paraître).

91 - DOKLADAL M. - 1964

Experimentelle Untersuchung über den Einfluss der kaumuskulatur auf die Schadelform bei der ratte. (ein beitrag zur problematik der brachykephalisation bei menschen) C.R. du 7ème Congrès Internat. des Sc. Anthropol. et Ethnol. Moscou (12 p.).

92 - DONALDSON H.H. - 1919

Growth of the skeleton of the albino rat. Am. J. Anat. 26 ; 237-314.

93 - DUBREUIL G. et LACOSTE A. - 1922

Les phénomènes de résorption dans les os de la voûte crânienne ; leur importance ; leurs conséquences. C.R. Ass. Anat. 17 ; 123-129.

94 - EDWARDS J.H., NORMAN R.M. and ROBERTS J.M. - 1961

Sex-linked hydrocephalus : report of a family with 15 affected members. Arch. Dis. Child. 36 ; 481-485.

95 - EDWARDS J.H. - 1961

The syndrome of sex-linked hydrocephalus. Arch. Dis. Child. 36 ; 486-493.

96 - EGOSCUE H.J. - 1967

Hydrocephalus in the Western Harvest Mouse. J. Heredity 58 ; 101-102.

97 - EL-ALFI O.S., BIESELE J.J. and SMITH P.M. - 1964

Trisomy 18 in a hydrocephalic fetus. J. Pediat. 65 ; 67-70.

- 98 - EMPEREUR-BUISSON R., FENART R. et DARDENNE J. - 1969
Influence des facteurs externes sur la morphogénèse crânienne chez les jumeaux univitellins.
J. de Radiologie et d'Electrologie. 50 ; 12 ; 893-896.
- 99 - EVELETH D.F., BOLIN D.W. et GOLDSBY A.I. - 1949
Experimental avitaminosis A in sheep. Amer. J. Vet. Res., 10 ; 250-255.
- 100 - FAICOURT R. - 1964
L'air, facteur de contagion dans l'élevage du chien, du chat et du lapin. Recueil de Méd.
Vét. 140 ; 1172-1176.
- 101 - FAICOURT R. - 1966
Les unités d'élevage mixtes dans la production du lapin, du cobaye et du chat. Bull. Acad.
Vét. 39 ; 115-118.
- 102 - FARRIS E.J. et GRIFFITH J.Q. - 1949
The rat in laboratory investigation. J.B. Lippincott Co. Philadelphia.
- 103 - FENART R. - 1962
Modifications de la forme céphalique consécutives à des variations expérimentales dans
le mode postural. C.R. Ac. Sc. 255 ; 2281-2282.
- 104 - FENART R. - 1966
Influence des modifications : expérimentales et tératologiques de la station et de la loco-
motion, sur la morphologie céphalique des Mammifères quadrupèdes. Etude par la méthode
vestibulaire. Thèse Doctorat ès Sciences. Lille. N° 138.
- 105 - FENART R. - 1966
Changements morphologiques de l'encéphale, chez le rat amputé des membres antérieurs.
J. für Hirnforschung, Bd 8, Heft 5/6 ; 493-501.
- 106 - FENART R., DESTOMBES P. et EMPEREUR-BUISSON R. - 1967
Etude du crâne d'un chimpanzé hydrocéphale par la méthode vestibulaire. C.R. Ass. Anat.
139 ; 1245.
- 107 - FENART R. et DESTOMBES P. - 1967
Hydrocéphalie expérimentale chez quelques Mammifères, avec orientation "vestibulaire"
de la tête. C.R. Ac. Sc. 265 ; 924-927.
- 108 - FENART R. - 1970
L'homínisation du crâne. B. de Acad. Dent. 14 ; 34-43.
- 109 - FENART R. - 1971
Evolution des Primates, à la lumière de l'anatomie fonctionnelle. 4ème Congrès Intern. de
génétique humaine. Paris (A paraître).
- 110 - FENART R., DESTOMBES P. - 1972
Analyse de la forme du crâne du rat hydrocéphale : processus de type "lent". C.R. Ass. Anat.
154 ; 1021-1026.

- 111 - FENART R., DESTOMBES P. - 1972
Tentative d'analyse expérimentale de la station debout. Acta Anat. 81 ; 337-348.
- 112 - FEREMBACH D. - 1956
Constantes crâniennes, brachycrânie et architecture crânienne. Masson Ed. Th. Dr. ès Sc.
Nat. Série A. n° 2917. n° d'ordre 3788.
- 113 - FEW A.B. - 1966
The diagnosis and surgical treatment of canine hydrocephalus. J. Am. Vét. Méd. Ass.
149 ; 286-293.
- 114 - FISHMAN R.A. and GREER M. - 1963
Experimentale obstructive hydrocephalus. Arch. Neurol. 8 ; 156-161.
- 115 - FONCIN J.F. - 1959
Hydrocéphalie. Hémosidérose des plexus choroïdes. In : Malformations congénitales du
cerveau. Masson éd. Colloque Intern. des Malform. congén. de l'Encéph.
- 116 - FOX J.L. and LUESSENHOP A.J. - 1967
Hydrocephalus secondary to hemorrhage from a basilar artery aneurysm. With a note on
embolization technique. Acta Neurochir. 17 ; 228-235.
- 117 - FRAZIER C.H., PEET M.M. - 1914
Factors of influence in the origin and circulation of the cerebrospinal fluid. Am. J. Physiol.
35 ; 268-282.
- 118 - FRAZIER C.H. - 1916
Les types de l'hydrocéphalie : différenciation et traitement. Am. J. Dis. Child. 11 ; 95.
- 119 - FRECHKOP S. - 1954
Le port de la tête et la forme du crâne chez les singes. B. de Inst. roy. des Sc. Nat. de
Belgique. 30 ; 12 ; 1-11.
- 120 - GARRO F. and PENTSCHEW A. - 1964
Neonatal hydrocephalus in the offspring of rats fed during pregnancy non toxic amounts
of tellurium. Arch. Psychiat. Nervenkr. 206 ; 272-280.
- 121 - GELLMAN V. - 1959
Congenital hydrocephalus in monovular twins. Arch. Dis. Child. 34 ; 274-276.
- 122 - GEOFFROY SAINT HILAIRE Is. - 1836
Histoire générale et particulière des anomalies de l'organisation chez l'Homme et les animaux.
2 ; Baillièrè éd. Paris.
- 123 - GIBSON J.E. and BECKER B.A. - 1968
The teratogenicity of cyclophosphamide in mice. Cancer Res. 28 ; 475-480.
- 124 - GILMAN J.P.W. - 1956
Congenital hydrocephalus in domestics animals. Cornell Vét. 46 ; 3 ; 487-499.

- 125 - GIRARD L. - 1923
Le plan des canaux semi-circulaires horizontaux, considéré comme plan horizontal de la tête. Bull. Soc. Anthr. Paris. 7ème Sér. ; 4 ; 14-23.
- 126 - GIRARD L. - 1947
Port habituel de la tête et fonction vestibulaire. Mammalia. 10 ; 1 et 2; 1-17.
- 127 - GIRGIS F.G. and PRITCHARD J.J. - 1958
Effects of skull damage on the development of sutural patterns in the rat. J. Anat. 92 ; 39-51.
- 128 - GIROUD A. et MARTINET M. - 1955
Hypervitaminose A et anomalies chez le foetus de rat. Rev. Int. de Vitaminol. 26 ; 1 ; 10-18.
- 129 - GIROUD A., DELMAS A. et MARTINET M. - 1959
Etude morphogénétique sur des embryons anencéphales. Arch. d'Anat. Hist. et Embryol. norm. et expérim. T. 42 ; F 5/8 ; 201-230.
- 130 - GOMEZ OLIVEROS L. - 1960
Lecciones de anatomia humana. I ; 2. Osteologia.
- 131 - GRASSE P.P. - 1955
Traité de zoologie. T. 17 ; 1 et 2. Masson et Cie éd. Paris.
- 132 - GRIFFITH J.Q., JEFFERS W.A. and LINDAUER M.A. - 1935
A study of the mechanism of hypertension following intracisternal kaolin injection in rats ; leucocytic reaction and effect on lymphatic absorption. Am. J. Physiol. 113 ; 285-290.
- 133 - GRIFFITH J.Q., JEFFERS W.A. and LINDAUER M.A. - 1937
Transient hypertension in rats following the extravascular administration of fluid. Am. J. Physiol. 118 ; 1-7.
- 134 - GRUNEBERG H. - 1943
Two new mutant genes in the house mouse. J. Genet. 45 ; 22-28.
- 135 - GULEKE N. - 1930
Über die entstehung des hydrocephalus internus. Arch. Klin. Chir. 162 ; 553-550.
- 136 - HADZISELIMOVIC H. et SAVKOVIC L.J. - 1964
On the position of labyrinth in some mammals. Anat. Anz. 114 ; 389-399.
- 137 - HAGENEAU - 1935
In Traité de Physiologie de ROGER et BINET. T. 10.
- 138 - HALSTEAD J.R. and KIEL F.W. - 1962
Hydrocephalus in a bear. J. Amer. Vét. Méd. Ass. 140 ; 367-368.
- 139 - HAMBURG M. - 1954
Embryology of trypan blue induced abnormalities in mice. Anat. Rec. 119 ; 409-427.

- 140 - HASSIN G.B., OLDBERG E. and TINSLEY M. - 1937
Changes in the brain in plexectomized. With comments on the cerebrospinal fluid. Arch. Neurol. Psychiat. Chicago. 38 ; 1224-1239.
- 141 - HATAI S. - 1907
Studies on the variation and correlation of skull measurements in both sexes of mature albino rats. Am. J. Anat. 7 ; 423-441.
- 142 - HENTGES J.F., GRUMMER R.H., PHILLIPS P.H., BOHSTEDT G. and SORENSEN D.K. - 1952
Experimental avitaminosis A in young pigs. J. Amer. Vét. Méd. Ass. 120 ; 213-216.
- 143 - HOSOBUCHI Y. and ISCHII S. - 1967
New approach to hydro-carbon-induced brains tumors. Arch. Neurol. 16 ; 664-675.
- 144 - HUBER W. - 1957
Analyse expérimentale des facteurs topogénétiques qui régissent la formation de l'encéphale et de la tête chez l'embryon de poulet. Arch. Anat. micr. et de morph. expér. 46 ; 3 ; 325-405.
- 145 - HUGHES P.C.R. et TANNER J.M. - 1970
Une étude longitudinale de la croissance du rat à tête noire : méthodes de mesure et rythme de croissance du crâne, des membres, du pelvis, de la longueur museau-naissance de la queue et de la longueur de la queue. J. of Anatomy. Londres. 106 ; 2 ; 349-370.
- 146 - HURLEY L.S. and SWENERTON H. - 1966
Congenital malformations resulting from zinc deficiency in rats. Proc. Soc. Exper. Biol. and méd. 123 ; 692-696.
- 147 - INGRAHAM F.D., ALEXANDER F. et MATSON D.D. - 1947
Hydrocéphalie expérimentale. J. Neurosurg. 4; 2 ; 164-176.
- 148 - JARVIK E. - 1960
Théories de l'évolution des vertébrés, reconsidérées à la lumière des récentes découvertes sur les Vertébrés inférieurs. Masson éd. 1-104.
- 149 - JDANOV D.A. - 1964
Functional morphological principles of skeleton formation. C.R. du 7ème Congrès internat. des Sc. Anthr. et Ethnol. Moscou (12 p.).
- 150 - JEFFERS W.A., GRIFFITH J.Q.Jr., FRY W.E. and FEWELL A.G. - 1937
An experimental study of choked disk in the rat. Am. J. Ophtalm. 20 ; 881.
- 151 - JIMENEZ O. - 1959
Le crâne dans les malformations de l'encéphale. C.R. Ass. Anat. 103 ; 446-451.
- 152 - JOHNSON R.T., JOHNSON K.P. - 1968
Hydrocephalus as a sequela of experimental mumps virus infection in the hamster. J. Neuropath. Exp. Neurol. 27 ; 136-137.
- 153 - JOHNSON R.T., JOHNSON K.P. - 1968
Hydrocephalus following viral infection : the pathology of aqueductal stenosis developing after experimental mumps virus infection. J. Neuropath. Exp. Neurol. 27 ; 591-606.

- 154 - KALTER H. - 1963
Experimental mammalian teratogenesis : a study of Galactoflavin-induced hydrocephalus in mice. *J. of Morphol.* 112 ; 303-317.
- 155 - KAPPERS A. - 1947
Anatomie comparée du système nerveux, particulièrement de celui des mammifères et de l'Homme. Masson éd. Paris.
- 156 - KISELIEVA Z.N. and VOLZHINA N.S. - 1957
Experimental hydrocephalus in young animals. *Arkhiv. Patologii (Moskva)* 19 ; 44-52.
- 157 - KLAAUW C.J. van der - 1946
Cerebral skull and facial skull. *Arch. Neerl. Zool.* 7 ; 16-37.
- 158 - KNUDSEN P.A. - 1966
Incisor germs in mouse embryos with exencephaly induced by riboflavin deficiency. *Acta. Odont. Scandinav.* 24 ; 555-562.
- 159 - KOBOZIEFF N., POMRIASKINSKY-KOBOZIEFF N.A. and MIGNE P. - 1955
De l'hydrocéphalie héréditaire chez la souris. Contribution à l'étude de l'hydrocéphalie chez les animaux domestiques et de laboratoire. *Bull. Biol.* 89 ; 189-209.
- 160 - KOLB E. - 1965
Physiologie des animaux domestiques. Vigot frères éd. Paris.
- 161 - KORNDER L.H. - 1919
Hydrocephalus and choked disk in dogs. *Arch. int. méd.* 23 ; 197.
- 162 - LACOSTE A. - 1923
La croissance du crâne chez le mouton. Etude anatomique et histologique. Th. Sc. Paris.
- 163 - LAMOTTE M. - 1948
Introduction à la biologie quantitative. Masson. Paris.
- 164 - LAMOTTE M. - 1967
Initiation aux méthodes statistiques en biologie. 2ème édit. Masson. Paris.
- 165 - LARSON S.L. - 1969
Monoamniotic hydrocephalic twins with survival. Report of a case with cytogenetic study. *Obstét. Gynéc.* 34 ; 419-421.
- 166 - LASHLEY K.S., Mc DONALD W.T. and PETERS H.N. - 1933
Studies of cerebral function in learning. *Amer. J. Phys.* 104 ; 51-61.
- 167 - LASSARTESSE - 1894
Un cas de dystocie par hydrocéphalie anencéphalique congénitale. *Rév. Vét.* 79-82.
- 168 - LAURENCE K.M. and COATES S. - 1962
The natural history of hydrocephalus. Detailed analysis of 182 unoperated cases. *Arch. Dis. Child.* 37 ; 345-362.

- 169 - LAUVERGNE J.J. et PAVAUX C. - 1969
Hydrocéphalie et cardiopathie héréditaires en race bovine limousine. Ann. Génét. Sél. Anim. 1 ; 2 ; 109-117.
- 170 - LEBLANC E. - 1924
La toile choroïdienne inférieure et la communication ventriculo-sous arachnoïdienne. Travaux du Labo. d'Anatomie de la Fac. de M. d'Alger. 23-31.
- 171 - LEFEBVRE J., FAURE C., METZGER J. et Melle METTIER - 1955
Action du cerveau sur le crâne au cours des premières années de la vie. J. Radiol. d'Electrol. Arch. Electr. Medic. 36 ; 5-6 ; 297-307.
- 172 - LEPOIRE J. - 1968
Mécanisme, Etiologie, Anatomie pathologique de l'hydrocéphalie. R. du Pratic. 18 ; n° 10; 1513-1523.
- 173 - LESBRE et FORGEOT - 1905
Etude d'un veau mort-né affecté d'hydrocéphalie, d'ectrodactylie et de nombreuses autres anomalies. Journ. M. vét. et zoot. 449-460.
- 174 - LESBRE F.X. - 1927
Traité de tératologie de l'Homme et des animaux domestiques. Vigot éd. Paris; 152-153.
- 175 - LESSERTISSEUR J. - 1968
Du bipède animal au bipède humain. Bull. de la Soc. Zool. de France. 93 ; n° 4 ; 505-534.
- 176 - LESSONA C. - 1827
Observations sur l'hydrocéphalie chez le cheval. J. de M. vét. et comp. 4 ; 614-637.
- 177 - LHERMITTE J., MASQUIN P. et TRELLES J.O. - 1942
Précis d'anatomo-physiologie normale et pathologique du système nerveux central. 2ème éd. G. Doin et Cie. éd. Paris.
- 178 - LI C.P. and JAHNES W.G. - 1959
Hydrocephalus in suckling mice inoculated with S.E. Polyoma Virus. Virology. 9 ; 489-492.
- 179 - LOESCHCKE H. and WEINNOLDT H. - 1922
Über den Einfluss von Druck und Entspannung auf das Knochenwachstum des Hirnschädels. Z. path. anat. 70 ; 406-439.
- 180 - LORBER J., DE N.C. - 1970
Family history of congenital hydrocephalus. Dev. Med. child. Neurol. ; Supplem. 22 ; 94-110.
- 181 - LUSHBAUGH C.C., SPALDING J.F. - 1962
A possible mutation causing internal hydrocephaly in offspring of an irradiated line of male mice. Univ. Calif. Los Alamos Sci. Lab. LAMS. 2780 ; 203-208.
- 182 - Mc CONNELL A. et PARKER H.L. - 1938
Différence du cerveau postérieur associée à l'hydrocéphalie interne, ses rapports avec la différence d'Arnold-Chiari. Brain. 61 ; 415-429.

- 183 - MARGOLIS G. and KILHAM L. - 1969
Hydrocephalus in hamsters, ferrets, rats and mice, following inoculations with reovirus type 1. *Lab. Invest.* 21 ; 3 : 189-198.
- 184 - MARIE J., SEE G. et SAUVANT R. - 1955
Hypervitaminose A aigüe du nourrisson. *Ann. de Pédiat.* n° 5 ; 1 ; 251-254.
- 185 - MASSLER M. et SCHOUR I. - 1951
The growth pattern of the cranial vault in the albino rat as measured by vital staining with alizarine red "S". *Anat. Rec.* 110 ; 83-101.
- 186 - MELLANBY E. - 1938
The experimental production of deafness in young animals by diet. *J. Physiol.* 94 ; 380-398.
- 187 - MILHORAT T.H. - 1970
Experimental hydrocephalus : a technique for producing obstructive hydrocephalus in the monkey. *J. Neurosurg.* 32 : 385-389.
- 188 - MILLEN J.W. and WOOLLAM D.H.M. - 1956
The effect of the duration of vitamin A deficiency in female rabbits upon the incidence of hydrocephalus in their young. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.* 19 ; 17-20.
- 189 - MILLEN J.W. and WOOLLAM D.H.M. - 1958
Vitamins and the cerebrospinal fluid. *Ciba. Found. Symp. on the cerebrospinal fluid. Production, Circulation and Absorption.* Churchill J. et A. éd. London ; 168-188.
- 190 - MIRIBEL J., NIETO M. et FAVEL P. - 1965
La radiographie simple du crâne dans les séquelles des atrophies rétractiles et expansives de la petite enfance. *L'Expansion éd. Paris.*
- 191 - MONIE I.W., NELSON M.M. and EVANS H.M. - 1954
Abnormalities of the urinary system of rat embryos resulting from maternal pteroylglutamic acid deficiency. *Anat. Rec.* 120 ; 119-136.
- 192 - MONIE I.W., BAIRD C.D.C., NELSON M.M. and EVANS H.M. - 1955
Cardiovascular malformations in rat fetuses from mothers suffering transitory pteroylglutamic acid deficiency during pregnancy. *Anat. Rec.* 121 ; 409 (abst).
- 193 - MOORE L.A. and SYKES J.F. - 1940
Cerebrospinal fluid pressure and vitamin A deficiency. *Amer. J. Physiol.* 130 ; 684-689.
- 194 - MOORE L.A., SYKES J.F. - 1941
Terminal cerebrospinal fluid pressure values in vitamin A deficiency. *Amer. J. Physiol.* 134 ; 436-439.
- 195 - MOORE W.J., SPENCE T.F. - 1969
Modifications de la base du crâne chez le lapin (*Oryctolagus cuniculus*) en fonction de l'âge. *Anatomical record.* Philadelphia. 165 ; 3 ; 355-362.

- 196 - MOORE W.J. - 1970
Modifications de la base crânienne des mammifères avec la croissance et leur association avec le port de la tête. *J. of Anat. Londres.* 107 ; 1 ; p. 183.
- 197 - MORI ATSUYOSHI - 1968
Hereditary hydrocephalus in C₅₇ BL mouse. *Brain and Nerve Tokyo.* 20 ; 695-700.
- 198 - MOSS M.L. - 1954
Growth of the calvaria in the rat. The determination of osseous morphology. *Amer. J. Anat.* 94 ; 3 ; 333-362.
- 199 - MOSS M.L. - 1955
Morphological changes in the growing rat skull following administration of cortisone acetate. *Proc. Soc. Exper. Biol. and Méd.* 89 ; 648-650.
- 200 - MOSS M.L. - 1955
Corrélation of cranial base angulation with cephalic malformations and growth disharmonies of dental interest. *The N.Y. State Dental. J.* 21 ; 9 ; 452-454.
- 201 - MOSS M.L. - 1956
Malformations of the skull base associated with cleft palate deformity. *Plastic and reconstructive Surgery* ; 17 ; n° 3 ; 226-234.
- 202 - MOSS M.L. - 1957
Experimental alteration of sutural area morphology. *Anat. Rec.* 127 ; 569-589.
- 203 - MOSS M.L. - 1958
Fusion of the frontal suture in the rat. *Amer. J. Anat.* 102 ; 141-165.
- 204 - MOSS M.L. - 1958
The pathogenesis of artificial cranial deformation. *Amer. J. Phys. Anthrop. n.s.* 16 ; 3 ; 269-286.
- 205 - MOSS M.L. - 1958
Rotation of the cranial components in the growing rat and their experimental alteration. *Acta Anat.* 32 ; 65-86.
- 206 - MOSS M.L. - 1959
Inhibition and stimulation of sutural fusion in the rat calvaria. *Anat. Rec.* 133 ; 313 (abstract).
- 207 - MOSS M.L. and YOUNG R.W. - 1960
A functional approach to craniology. *Amer. J. Phys. Anthrop.* 18 ; 281-292.
- 208 - MOSS M.L. - 1961
Rotation of the otic capsule in bipedal rats. *Amer. J. of Phys. Anthrop.* 19 ; n° 3 ; 301-307.
- 209 - MOSS M.L. - 1961
Extrinsic determination of sutural area morphology. *Acta Anat.* 44 ; 263-272.
- 210 - MOSS M.L. - 1962
The functional matrix. In Kraus B. and Riedel R. (editors) : *Vistas in orthodontics.* Philadelphia, Lea and Febiger ; 85-98.

- 211 - MOSS M.L. - 1971
Functional cranial analysis and the functional matrix. *Am. Speech Hear. Assoc. Rep.* 6 ; 578.
- 212 - MOSS M.L. - 1972
Twenty years of functional cranial analysis. *Am. J. of Orthod.* May 72 ; 479-485.
- 213 - MURAKAMI U. and KAMEYAMA Y. - 1965
Malformations of the mouse fetus caused by hypervitaminosis A of the mother during pregnancy. *Arch. Environ. Health.* 10 ; 732-741.
- 214 - MURAKAMI U., KAMEYAMA Y. and KATO T. - 1967
Pathologic process in the initial phase of maldevelopments of the central nervous system. Annual report of the Research Institute of environmental Medicine. Nagoya University. Japan ; 67-86.
- 215 - NAÑAGAS J.C. - 1925
Hydrocephalus artificially produced and its importance to research. *J. Phil. Isl. Med. Ass.* 5 ; 251-262.
- 216 - NEEDLEMAN H.L., ROOT A.W. - 1963
Sex-linked hydrocephalus : A report of two families with chromosomal study of twocases. *Pediatrics.* 31 ; 396-399.
- 217 - NELSON M.M., BAIRD C.D.C., WRIGHT H.V. and EVANS H.M. - 1956
Multiple congenital abnormalities in the rat resulting from riboflavin deficiency induced by the antimetabolite galactoflavin. *J. nutrition.* 58 ; 125-134.
- 218 - O'DELL B.L., WHITLEY J.R. and HOGAN A.G. - 1948
Relation of folic acid and vitamin A to incidence of hydrocephalus in infant rats. *Proc. Soc. Exper. Biol. and Med.* 69 ; 272-275.
- 219 - OECONOMOS D. - 1964
Système nerveux - Méninges. Hydrocéphalies : examens complémentaires, diagnostic, traitement. *Encyclopédie Médico-chirurgicale.* 17154 A20 ; 1-8.
- 220 - OECONOMOS D. - 1966
Système nerveux - Méninges. Hydrocéphalies : généralités et aspects cliniques. *Encyclopédie médico-chirurgicale.* 17154 A10 ; 1-6.
- 221 - OLIVIER G. - 1960
Pratique anthropologique. Vigot éd. Paris.
- 222 - OLIVIER G. et PINEAU H. - 1960
Considérations sur la biométrie de la croissance. *Z. Morph. Anthrop.* 50 ; 3 ; 349-368.
- 223 - OLIVIER G. - 1965
Anatomie anthropologique. Vigot éd. Paris.
- 224 - OULÈS - 1909
Sur un cas d'hydrocéphalie chez un chien. *Revue vét.* 752-757.

- 225 - OVERHOLSER M.D., WHITLEY J.R., O'DELL B.L. and HOGAN A.G. - 1954
The ventricular system in hydrocephalic rat brains produced by a deficiency of vitamin B12 or of folic acid in the maternal diet. *Anat. Rec.* 120 ; 917-934.
- 226 - PAILLARD J. - 1963
(In *Traité de physiologie de Kayser*), T. 2 ; Ch. 5 ; Tonus, posture et motricité téléocinétique. p. 441. Flammarion éd. Paris.
- 227 - PÄLLUDAN B. - 1961
Teratogenic effect of Vitamin A deficiency in pigs. *Acta vét. scandinav.* 2 ; 32-59.
- 228 - PARSONS F.G. - 1906
Notes on the coronal suture. *J. Anat. Physiol.* 40 ; 242-243.
- 229 - PASSAPONTI A. - 1956
L'idrocefalia embrionale quale causa dell'anencefalia. *Atti della Soc. Ital. di Anat.* 381-384.
- 230 - PELLERIN C., DARDENNE J. - 1970
Etude crânio-faciale en orientation vestibulaire de triplés monozygotes présentant une béance bilatérale postérieure. *L'orthodontie Française.* 41 ; 191-208.
- 231 - PELLERIN Cl., EMPEREUR-BUISSON R., DARDENNE J. et FENART R. - 1970
Orientation vestibulaire "in vivo" de triplés monozygotes. *Bull. et Mém. de la S. d'Anthr. de Paris.* 6 ; 12 ; 81-95.
- 232 - PELLERIN Cl. et FENART R. - 1971
L'étude des corrélations et la méthode des ellipses équiprobables. *L'orthodontie Française.* 42 ; 485-497.
- 233 - PENFIELD W. et COBURN D.F. - 1938
Malformation d'Arnold-Chiari et son traitement opératoire. *Arch. Neur. Psych.* 40 ; 328-336.
- 234 - PENROSE L.S. - 1960
Genetic causes of malformations. In *Ciba Foundation. Symposium on Congenital Malformations.* Ed. by C.E.W. Wolstenholme and C.M. O'Connor Churchill. London.
- 235 - PETROVIC A. et CHARLIER J.P. - 1967
La synchondrose sphéno-occipitale du jeune rat en culture d'organes : mise en évidence d'un potentiel de croissance indépendant. *C.R. Acad. Sc. Paris.* 265 ; sér. D ; 1511-1513.
- 236 - PETROVIC A. - 1970
Recherches sur les mécanismes histo-physiologiques de la croissance osseuse crânio-faciale. *Ann. Biol. T.* 9 ; n° 5-6. 303-311.
- 237 - PEREZ F. - 1922
Crâniologie vestibienne, ethnique et zoologique. *Bull. Soc. Anthr. Paris.* 7ème Sér. ; 3 ; 16-32.
- 238 - PEREZ F. - 1923
Estudios de anatomia comparada en relacion con la otologia. *Physis* 6. *Zit. Nach. Zool. Ber.* 8 ; 155-219.

- 239 - PHILIPPON J. - 1968
 Formation, circulation et résorption du liquide céphalo-rachidien. R. du Pratic. T. 18. n° 10 ;
 1503-1510.
- 240 - PHILLIPS P.A., ALPERS M.P. and STANLEY N.F. - 1970
 Hydrocephalus in mice inoculated neonatally by the oronasal route with reovirus type 1.
 Science. 168 ; 858-859.
- 241 - PIVETEAU J. - 1963
 Des premiers vertébrés à l'homme. Ed. Albin Michel. Paris. 212 p.
- 242 - PIVETEAU J., DUROUX P.E. - 1972
 L'évolution biologique ou l'anti-chaos. "Encyclopédie universitaire". Editions universitaires.
 186 p.
- 243 - POHL M. and KORNHUBER B. - 1966
 Fruchtschädigung nach antikoagulantienbehandlung in der schwangerschaft. Med. Klin. 61 ;
 564-565.
- 244 - POISSON G. - 1965
 Tératologie ovine. Th. Doct. Vét. Alfort. p. 37.
- 245 - PRICE J.R., HORNE B.M. - 1968
 Family history indicating hereditary factors in hydrocephalus. Ment. Retard. 6 ; oct ; 40-41.
- 246 - PUDENZ R.H., RUSSEL F.E. and AGNEW W.F. - 1960
 Experimental hydrocephalus : a historical summary. Bull. Los Ang. Neurol. Soc. 25 ; 118-129.
- 247 - RAYNE J., CRAWFORD G.N.C. - 1971
 The development of the muscles of mastication in the rat. Ergebnisse der Anatomie und
 Entwickl-ungsgeschichte. Band. 44. Heft 5 ; 1-55.
- 248 - REBOLLO M.A. - 1958
 Rôle des pressions liquidiennes dans la morphogénèse de l'encéphale. C.R. Soc. Biol.
 152 ; 312-314.
- 249 - RICHARDSON L.R. and HOGAN A.G. - 1946
 Diet of mother and hydrocephalus in infants rats. J. Nutrition. 32 ; 459-465.
- 250 - RIESENFELD A. - 1969
 Raccourcissement expérimental de la face chez le rat et ses conséquences. A. J. of Phys.
 Anthropol. Philadelphie. 31 ; 2 ; 257.
- 251 - RIGAUD A., BONJEAN P., RIQUET R., LAULAN J. et STEFANIAK R. - 1967
 Etude comparative de deux procédés de mesure indirecte d'évaluation de la capacité crânienne
 chez l'homme et chez la femme. C.R. Ass. Anat. 136 ; 891-905.
- 252 - RISER - 1929
 Le liquide céphalo-rachidien. Masson éd. Paris. p. 61.
- 253 - RISER - 1935
 Revue critique de certains points de physiopathologie du L.C.R. Encéphale 30 ; 685-736.

- 254 - ROBERTSON J.M., SAMANKOVA L. and INGALLS T.H. - 1966
Hydrocephalus and cleft palate in an inbred rabbit colony. *J. Heredity* 57 ; 142-148.
- 255 - ROKKONES T. - 1955
Experimental hydrocephalus in young rats. *Int. Z. Vitaminforsch.* 26 ; 1-10.
- 256 - RUCH T.C. and PATTON H.D. - 1966
Physiology and Biophysics. 19ème éd., Saunders W.B. Company. Philadelphia and London.
- 257 - RUSSEL D.S. - 1949
Observations on the pathology of hydrocephalus. *Méd. Res. Council. Spec. Rep. Ser.* n° 265. Her Majesty's Stationery Office. London.
- 258 - RUSSEL D.S. - 1954
Hydrocephalus. *Neur. and Psych. in childhood.* 34 ; 160-175.
- 259 - SALMON J.P. - 1972
Différences sexuelles d'éléments crânio-faciaux osseux et cutanés chez l'enfant et l'adulte jeune en orientation vestibulaire. *Th. Dr. Chir. Dent. Lille.* n° 1.
- 260 - SCHICK R.W. and MATSON D.D. - 1961
What is arrested hydrocephalus ? *J. Pediat.* 58 ; 791-799.
- 261 - SCHLESINGER B. - 1940
The tolerance of the blocked galenic system against artificially increased intravenous pressure. *Brain* 63 ; 178-183.
- 262 - SCHULTZ A.H. - 1942
Conditions for balancing the head in Primates. *Am. J. Phys. Ant.* 29 ; 483-497.
- 263 - SCHURR P.H., Mc LAURIN R.L. and INGRAHAM F.D. - 1953
Experimental studies on the circulation of the cerebrospinal fluid and methods of producing communicating hydrocephalus in the dog. *J. Neurosurg.* 5 ; 415-525.
- 264 - SCHWARTZ D. - 1963
Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes. Ed. Méd. Flammarion. Paris.
- 265 - SENYSZYN J.J., RUGH R. - 1969
Hydrocephaly following fetal X irradiation. *Radiology.* 93 ; 625-634.
- 266 - SERCER A. et KRMPOTIC J. - 1960
La transformation de la base crânienne au cours de la vie. Contribution à l'étude de l'otospongiose. *Revue de Laryng. Bordeaux.* 5-6 ; 323-381.
- 267 - SERCER A. et KRMPOTIC J. - 1964
L'otospongiose expérimentale. *Bull. de l'Ac. Nat. de Méd.* 148 ; 1 et 2 ; 7-12.
- 268 - SERCER A. - 1965
Experimentelle Otoskleroseforschung am Hund. *Acta oto Lar.* 59 ; 2 et 4 ; 389-400.
- 269 - SHANNON M.W., NADLER H.L. - 1968
X-Linked hydrocephalus. *J. Méd. Genet.* 5 ; 326-328.
- 270 - SILSON M. and ROBINSON R. - 1969
Hereditary hydrocephalus in the cat. 84 ; May ; 477.

- 271 - SITSSEN A.E. - 1933
Zur Entwicklung der Nähte der Schädeldaches. Zeit. F. Anat. u. Entwicklungsges. 101 ; 121-152.
- 272 - SORENSEN D.K., KOWALCZYK T. and HENTGES J.F. - 1954
Cerebrospinal fluid pressure of normal and vitamin A deficient swine as determined by a lumbar puncture method. J. Amer. Vet. Res. 15 ; 258-260.
- 273 - STEMPAK J.G. - 1964
Etiology of trypan blue induced antenatal hydrocephalus in the albino rat. Anatom. Rec. 148 ; 561- 571.
- 274 - STEMPAK J.G. - 1965
Etiology of antenatal hydrocephalus induced by folic acid deficiency in the albino rat. Anat. Rec. 151 ; 287-295.
- 275 - STRAUS -DURCKHEIM H. - 1845
Anatomie descriptive et comparative du chat. Paris.
- 276 - SYMONDS E.M. - 1965
Anencephaly and hydrocephaly in a twin pregnancy. Obstet. Gynec. 26 ; 414-416.
- 277 - TEN CATE J. - 1962
Effets d'une anémie ischémique sur le cerveau d'un chat, suivie d'une hydrocéphalie des ventricules latéraux. Arch. Int. Physiol. et Biol. 70 ; 49-66.
- 278 - TERK B., et DESTOMBES P.
Hydrocéphalie expérimentale chez le rat : Etude vestibulaire des déplacements dentaires dans les types dits "rapides". L'Orthodontie Française (à paraître). Congrès de la S.F.O.D.F. Strasbourg. Mai 1972.
- 279 - TESTUT L. - 1911
Traité d'anatomie humaine. T. 2 ; Doin et fils éd. Paris.
- 280 - THIERSCH J.B. and SEATTLE M.D. - 1952
Therapeutic abortions with a folic acid antagonist, 4 aminopteroylglutamic administered by the oral route. Amer. J. Obstet. Gynecol. 63 ; 1298-1304.
- 281 - THOMAS W.S. - 1914
Experimental hydrocephalus. J. Exper. Med. 19 ; 106-127.
- 282 - TOPINARD P. - 1885
Eléments d'anthropologie générale. Delahaye et Legrosnier éd. Paris.
- 283 - VALLOIS H. - 1913
Malformations crâniennes consécutives à l'hydrocéphalie tardive. Bull. de la Soc. des Sc. Méd. de Montpellier. T. 1912-1913.
- 284 - VALLOIS H. - 1925
La sustentation de la tête et le ligament cervical postérieur chez l'homme et les anthropoïdes. L'Anthropologie. 36 ; 191-207.

- 285 - VANDEPUTTE M. - 1961
Lésions cérébrales chez le rat induites par le virus polyome. Rev. Belg. Path. 28 ; 178-183.
- 286 - VEN DER KLAUW C.J. - 1947
Size and position of the functional components of the skull. Arch. Neerl. zool. 8 ; 1-559.
- 287 - VERGER P., POUYANNE H., GUILLARD J.M., SANDLER B. et GUINARD F. - 1968
Hydrocéphalies malformatives du jeune enfant et Syndrome de Dandy-Walker. G.M. de Fr. 75. n° 3 ; 487-497.
- 288 - VILAR FIOL - 1965
Le facteur déterminant de la verticalisation. B. et M. de la Soc. d'Anthropologie de Paris. t. 7. 11 ; 381-406.
- 289 - VOGT C. et YUNG E. - 1894
Traité d'anatomie comparée pratique. T. II ; C. Reinwald et Cie éd. Paris.
- 290 - VON BAER (Traduit par Brescher G.) - 1826
Histoire du développement des animaux.
- 291 - WADDINGTON C.H. and CARTER T.C. - 1953
Abnormalities induced in mouse embryos by trypan blue. J. Embryol. Exp. Morph. 1 ; 167-180.
- 292 - WALBAUM R. - 1969
Anomalie de structure chromosomique (Gp +) dans deux familles d'hydrocéphales. Lille Médical. 14 ; 7 ; 794-798.
- 293 - WALKER B.E. and CRAIN B. Jr - 1961
Abnormal palate morphogenesis in mouse embryos induced by riboflavin deficiency. Proc. Soc. Exp. Biol. Méd. 107 ; 404-406.
- 294 - WARKANY J., WILSON J.G. and GEIGER J.F. - 1958
Myeloschisis and myelomeningocele produced experimentally in the rat. J. Comp. Neur. 109 ; 35-64.
- 295 - WARKANY J. and TAKACS E. - 1968
Changes of endocrine glands produced by teratogenic methods. The pituitary gland. Arch. Path. 85 ; 101-113.
- 296 - WARREN M.C., LU A.T. et ZIERING W.H. - 1963
Hydrocephalus with aqueductal stenosis. J. of Pediatrics. 63 ; 1104-1110.
- 297 - WEED L.H. - 1920
The experimental production of an internal hydrocephalus. Contr. Embryol. Carneg. Inst. Wash. 9 ; 425-446.
- 298 - WEIDENREICH F. - 1941
The brain and its role in the phylogenetic transformation of the human skull. Trans. Am. Philos. Soc., n.s., 31 ; 321-442.

- 299 - WELLER R.O. and WISNIEWSKI H. - 1969
Histological and ultrastructural changes with experimental hydrocephalus in adult rabbits.
Brain. 92 ; 819-828.
- 300 - WESTERGAARD E. - 1969
Les ventricules cérébraux du rat au cours de la croissance. Acta Anat. 74 ; 3 ; 405-423.
- 301 - WHRIGHT H.V. and al. - 1966
Roentgen cephalometric studies on skull development in rats normal and hypophysectomized
males. Sex differences. Amer. J. Phys. Anthrop. 25 ; 103-117.
- 302 - WISLOCKI G.B. and PUTNAM T.J. - 1921
Absorption from the ventricles in experimentally produced internal hydrocephalus.
15 sept. ; 313-320 . Am. J. Anat.
- 303 - WISNIEWSKI H., WELLER R.O. and TERRY R. - 1969
Experimental hydrocephalus produced by the subarachnoid infusion of silicone oil.
J. Neurosurg. 31 ; 10-14.
- 304 - WOOD J.W., KEEHN R.J., KAWAMOTO S. et JOHNSON K.F. - 1965
Croissance et développement des enfants exposés in utero aux radiations atomiques à
Hiroshima et Nagasaki. XIème Congrès Internat. de Pédiat. Tokyo.
- 305 - WOODWARD J.C. et NEWBERNE P.M. - 1966
Relation of Vitamin B₁₂ and one-carbon metabolism to hydrocephalus in the rat.
J. Nutrit. 88 ; 375-381.
- 306 - WOODWARD J.C. et NEWBERNE P.M. - 1967
The pathogenesis of hydrocephalus in newborn rats deficient in vitamin B₁₂. J. Embryol.
exp. Morph. 17 ; 177-187.
- 307 - YOUNG R.W. - 1959
The influence of cranial contents on postnatal growth of the skull in the rat. Doctoral
Dissertation. Columbia University.
- 308 - YOUNG R.W. - 1959
Idem. A. J. of Anat. 105 ; 3 ; 383-415.
- 309 - ZIMMER K. - 1952
Über familiäres auftreten Von Hydrozephalus. Geburtsh. u. Frauenheilk. 12 ; 447.
- 310 - ZIMMERMANN K. - 1933
Eine neue mutation der haus maus : "Hydrocephalus". Z. indukt. Abstamm-und Vererb-
Lehre, 64 ; 176-180.

BIBLIOGRAPHIE RECENTE

- 311 - BARONER., BLIN P.C., CUQ P. et PAVAUX C. - 1973
Atlas d'anatomie du Lapin Masson et Cie Editeurs 219 p.
- 312 - CHALANSET Claudine - épouse TERK - 1973.
Utilisation de la méthode des ellipses équiprobables dans l'étude de la variabilité des points cranio-faciaux, chez l'enfant de race blanche, au cours de la croissance. Orientation vestibulaire sur des projections sagittales. Th. Dr. Sc. Odont. Paris.
- 313 - CHARLES - SEVERE J. - 1972.
Le coefficient (r') d'allongement elliptique. Son application à l'étude des nuages de points craniométriques d'une population de jeunes adultes. Th. Dr. en Méd. Fac. Libre de Lille.
- 314 - COUSIN R.P. et FENART R. - 1972.
La rotation globale de la face infantile envisagée dans sa variabilité. Etude vestibulaire. C.R. de E.O.S. Knocke ; 399 - 409.
- 315 - DUFRESNOY P. - 1973.
Recherche des différences sexuelles du neurocrâne sagittal par la méthode des "droites frontières".
Th. Dr en Méd. Nancy N° 84.
- 316 - FENART R. et DEBLOCK R. - 1973.
Pan paniscus et Pan troglodytes - Craniométrie - Etude comparative et ontogénique selon les méthodes classiques et vestibulaire.
M.Roy. de l'Afrique Centrale - Tervuren, Belgique. Série in 8°. Sciences Zoologiques N° 204.
- 317 - PRUVOST J.M. - 1972.
Introduction de la Méthode Vestibulaire en Zootechnie - Application au crâne de Porc domestique.
Th. Dr en Méd. Vét.;Ec. Nat. Vét. de Toulouse N° 86.
- 318 - ROGER - THOORIS M.O. - 1973.
Relation entre : Croissance et variabilité sur le profil cranien en orientation vestibulaire. Th. Dr. en Méd. Nancy U.E.R. Sc. Méd. A et B.
- 319 - TERK B. - 1973.
Modifications apportées chez le rat, à l'évolution des dents, par l'hydrocéphalie expérimentale.
Etude en orientation vestibulaire. Th. Dr. en Sc. Odont. Université Paris VI N° 48.
- 320 - TERK B., DESTOMBES P. et FENART R.
Hydrocéphalie expérimentale chez le rat - Etude des trajets ontogéniques des points dentaires, par la méthode vestibulaire.
L'orthodontie Française (à paraître). Congrès de la S.F.O.D.F. 1973.

Travail du Laboratoire de Crâniologie Comparée
de la Faculté Libre de Médecine

E.R. 93 du C.N.R.S.

56, rue du Port
59 - Lille - France