

## Traitement direct des lésions nerveuses dans les paralysies traumatiques du plexus brachial chez l'adulte

A propos d'une série de 100 cas opérés

J. Y. Alnot, A. Jolly, et B. Frot

Service de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique, Département de Chirurgie du Membre Supérieur, Hôpital Bichat, 46, rue Henri Huchard, F-75018 Paris, France

### Direct Treatment of Nerve Lesions in Brachial Plexus Injuries by Adult – A Series of 100 Operated Cases

**Summary.** *The authors report a series of 100 brachial plexus injuries between April 1974 and January 1979. The frequency of these lesions, knowledge of the anatomy and pathology, and trends in prognosis are correlated to give the surgical indications for nerve graft repair. Correlation between preoperative myelography and the anatomy and type of pathology demonstrated at the time of operation, have been of special interest and have consolidated the operative indications.*

*Out of the 100 cases operated on between April 1974 and January 1979, neurolysis without plexus repair was performed in 25, nerve grafts for one, two or five roots in 64, and in nine cases, intercostal nerve or spinal accessory nerve transplantation was carried out.*

*Forty-eight cases with a follow up of more than two years have been specially studied to give some indication of the therapeutic choice depending on the number of usable nerve roots. If only one usable root is present, it is clearly impossible to graft the whole plexus and the supra-scapular nerve and lateral cord (musculo-cutaneous nerve, lateral pectoral nerve and lateral head of median nerve) are given priority. If two roots can be grafted, we also bridge the radial nerve in the posterior cord.*

*Our statistics confirm that the direct repair of these nerve lesions gives hopeful results and the functional improvements justify this type of surgery. The best results come from repair of the C5 and C6*

*nerve roots with re-innervation of the shoulder and elbow. In a complete palsy, when there are only one or two usable roots, loss of innervation of the hand will persist but the return of some function to the shoulder and elbow will allow a limited use of functional recovery. Our results prompt us to persist with methods founded on the precise and early indications for surgical treatment.*

**Résumé.** *Les auteurs étudient une statistique de 100 premiers cas de paralysies traumatiques du plexus brachial opérés par l'un d'eux (J. Y. Alnot) d'avril 1974 à janvier 1979. La connaissance des lésions anatomo-pathologiques et les éléments d'appréciation clinique et para-clinique du pronostic aboutissent à des indications chirurgicales permettant une réparation par greffe nerveuse en fonction des lésions. Deux chapitres sont particulièrement étudiés:*

- 1. L'intérêt de la myélographie en pré-opératoire pour faire un plan thérapeutique. La confrontation des lésions anatomo-pathologiques découvertes lors de l'exploration peut être faite avec la myélographie pré-opératoire. Les images radiologiques sont analysées isolément mais surtout en association et en fonction de l'examen clinique. On peut en déduire les diverses lésions anatomo-pathologiques qui permettent d'établir un plan opératoire.*
- 2. Nous avons réalisé:*
  - 25 neurolyses isolées sans réparation du plexus;*
  - 64 greffes nerveuses à partir d'une, deux, trois ou cinq racines;*
  - 9 neurotisations par les nerfs intercostaux et une par le spinal.*

Adresse pour demandes de tirés à part: J. Y. Alnot

Les résultats sont analysés de façon critique, car l'on ne peut considérer qu'une récupération est due à la réparation nerveuse que s'il n'existe aucune autre voie possible.

L'étude des résultats porte sur les 48 cas ayant un recul supérieur à 2 ans. En fonction du nombre de racines utilisables, il importe de faire un choix thérapeutique car, si l'on ne dispose que d'une seule racine, on ne peut à l'évidence ponter l'ensemble du plexus. Les résultats doivent donc être étudiés en fonction des racines greffées, du choix des éléments à réparer et donc du but à atteindre.

Notre statistique confirme que la réparation directe des lésions nerveuses permet de donner un espoir et, dans des cas de plus en plus nombreux, d'obtenir des résultats fonctionnels qui justifient ce type de chirurgie. La chirurgie nerveuse permet d'obtenir le meilleur résultat dans les paralysies radiculaires supérieures C5-C6 avec réinnervation des muscles proximaux de l'épaule et du coude. Dans les paralysies totales, lorsqu'il n'existe qu'une ou deux racines utilisables, il persistera certes une paralysie définitive de la main, mais la réinnervation des muscles proximaux de l'épaule et du coude permettra une certaine utilisation du membre. Ces résultats fonctionnels doivent inciter à poursuivre dans cette voie avec des indications précises et précoces.

**Key words:** Nerve lesions, Brachial plexis injuries

De très nombreux chirurgiens [5, 6, 9, 12, 20] se sont intéressés aux lésions du plexus brachial et, en dehors de quelques expériences isolées portant sur l'action directe, l'attitude classique consistait à suivre l'évolution et à n'intervenir qu'au stade de séquelles.

L'exploration du plexus brachial n'avait pour but que d'établir un pronostic car la réparation directe paraissait impossible devant des lésions d'arrachement avec des solutions de continuité importantes. Ce sont les progrès de la micro-chirurgie, confirmés par les premiers résultats, et une meilleure connaissance des lésions anatomo-pathologiques qui ont fait reconsidérer le problème. Le symposium de la Société Française de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique en 1975 a fait le point des connaissances actuelles [1, 2, 3, 16, 19].

Les lésions, secondaires à un mécanisme d'étiement-arrachement, peuvent siéger à tous les niveaux, depuis l'origine médullaire jusqu'à la divi-

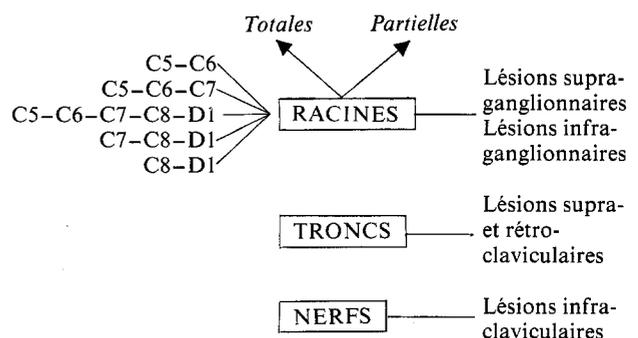
sion axillaire. La classification de Sunderland (Tableau 1) permet de compléter la classique entre neurapraxie, axonotmésis et neurotmésis. L'a-

**Tableau 1.** Classification des lésions anatomo-pathologiques selon Sunderland

* Lésions degré 1 La continuité des axones est intacte – compression simple	→	NEURAPRAXIE
* Lésions degré 2 – La continuité des axones est interrompue – Les tubes endoneuraux sont intacts		AXONOTMESIS
* Lésions degré 3 – La continuité des axones est interrompue – Les tubes endoneuraux sont détruits – Le périnèvre et une certaine disposition fasciculaire sont conservés		
* Lésions degré 4 – Seul l'épinèvre est intact – Périnèvre et disposition fasciculaire détruits		
* Lésions degré 5 Perte complète de la continuité	→	NEUROTMESSIS
* Avulsion radiculaire		

vulsion radiculaire définie par un arrachement des radicelles au niveau de la moelle s'ajoute à cette classification. Il en existe des équivalents avec des ruptures très proximales qui constituent également des lésions très particulières du plexus brachial. Ces atteintes doivent être définies non seulement selon leur importance mais aussi selon leur siège. Les lésions proximales sont supra-ou infra-ganglionnaires, en amont ou en aval du

**Tableau 2.** Classification anatomo-clinique des lésions du plexus brachial



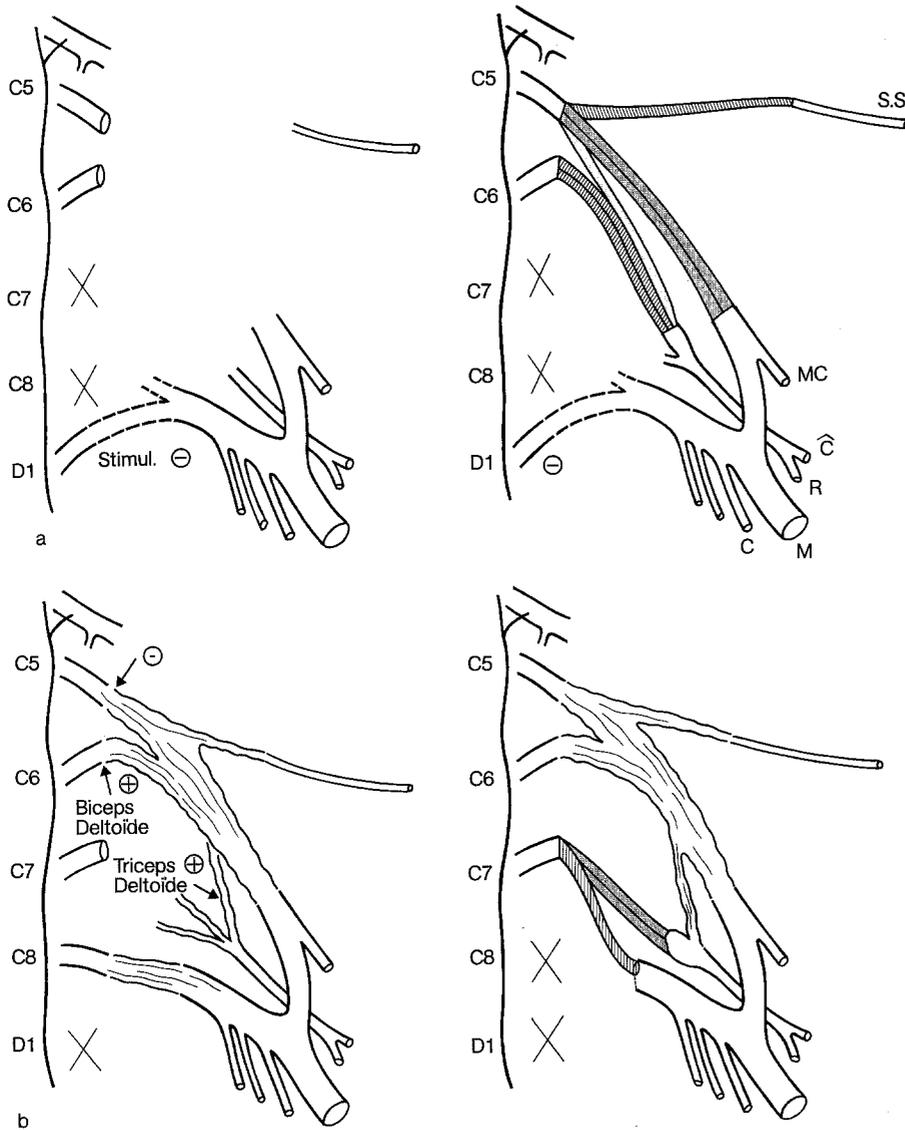


Fig. 1 a et b. Schéma des lésions constatées en per-opératoire et de la réparation par greffe ou de la neurolyse

ganglion de la racine postérieure. Plus distales, elles sont supra ou rétro-claviculaires puis infra-claviculaires. Les classifications qui serviront de base à l'interprétation des résultats découlent directement de la connaissance des lésions anatomo-pathologiques.

- a) La classification de H. Millesi [13, 14] définit les diverses éventualités en fonction du niveau, de l'extension transversale et de l'importance de la lésion.
- b) La classification que nous utilisons est plus clinique et insiste sur la notion de paralysie totale ou partielle (Tableau 2). Les lésions partielles, avec dilacération longitudinale, sont à l'origine de tableaux cliniques tout à fait particuliers et il faut, lors de l'évolution spontanée, faire

une différence essentielle entre la récupération dans tout le territoire théorique d'une racine ou seulement sur un ou deux muscles de ce territoire.

Ces classifications sont indispensables pour l'étude des résultats, surtout après intervention chirurgicale, et la pratique de schémas, exposant les différentes lésions et la réparation nerveuse, facilite grandement les examens ultérieurs (Fig. 1 a, b).

Notre étude porte sur les 100 premiers cas opérés par l'un de nous (J. Y. Alnot) d'avril 1974 à janvier 1979. Les accidents de motos ou de mobylette sont les étiologies plus fréquentes. Les conducteurs de véhicules à deux roues sont particulièrement exposés et la vogue de ce moyen de loco-

les jeunes, surtout de sexe masculin, explique la répartition sexe-âge (Tableau 3). L'examen clinique et les examens para-cliniques doivent permettre d'apprécier les lésions nerveuses en fonction des racines intéressées. Dans un esprit didactique, mais ne méconnaissant pas les variations anatomiques et les diverses lésions anatomo-pathologiques (Tableaux 4 et 6), nous distinguerons:

- les paralysies radiculaires supérieures C5-C6 ± C7, fréquentes, 20 à 25% dans la littérature mondiale (22% dans la série),
- les paralysies radiculaires inférieures C8-D1, rares, 2 à 3% (0% dans notre série),
- les paralysies radiculaires moyennes (C7), jamais isolées mais toujours associées aux paralysies inférieures ou supérieures,
- les paralysies totales, C5-C6-C7-C8-D1, les plus fréquentes, 75 à 80% dans la littérature mondiale (75% dans la série). Elles associent une atteinte motrice de tout le membre supérieur, respectant très fréquemment le grand dentelé (7 atteintes sur 100) à des troubles sensitifs d'importance variable et à des troubles sympathiques souvent marqués.

L'atteinte peut être massive ou prédominer sur les racines inférieures ou supérieures. Sur le plan anatomo-pathologique, dans la majorité des cas, nous retrouvons un tableau stéréotypé avec avul-

sions ou atteintes graves irréparables de D1, C8 et C7, accompagnées d'élongation avec rupture de C5 et C6 dans la région scalénique ou plus distalement supra ou infra-claviculaire, accessibles à la réparation par greffe (Tableau 5).

Au cours des paralysies du plexus brachial d'origine traumatique, les questions les plus importantes sont celles du pronostic et de l'avenir du malade. Il est, bien entendu, très difficile d'y ré-

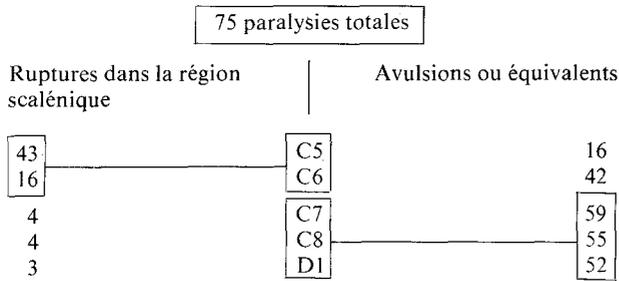
**Tableau 3.** Statistique en fonction de l'étiologie, du sexe et de l'âge sur 100 cas opérés de 1974 à 1979

ETIOLOGIE	
Accidents de la voie publique 94 cas sur 100 dont 69 accidents de moto et mobylette	
SEXE	
93 Hommes	- 7 Femmes
AGE	
Avant 15 ans:	5 cas
de 15 à 25 ans:	71 cas
de 25 à 40 ans:	18 cas
après 40 ans:	6 cas

**Tableau 4.** Les lésions anatomo-pathologiques et leur répartition chiffrée en fonction des racines atteintes dans 75 paralysies totales

		75 paralysies totales						
Lésion	Définition	Possibilité thérapeutique	Topographie					
			C5	C6	TPS	C7	C8	D1
Avulsion	Avulsion radiculaire typique ou rupture dans canal transversaire	Directe = 0	13	35		47	39	37
Equivalent d'avulsion	Rupture juste à la sortie du canal transversaire avec dilacération étendue	Directe = 0	3	7		12	16	15
Rupture distale	Rupture avec dilacération longitudinale en dehors du canal transversaire dans le défilé scalénique	Greffes nerveuses	43	16	5	4	4	3
Elongation distale	Elongation longitudinale dans le défilé scalénique avec lésions en continuité	Neurolyse	6	6		5	4	6
Continuité électro-négative	Aspect subnormal. Continuité fibreuse mais pas de réponse à la stimulation électrique	?	4	5		6	10	11
Aspect normal	Aspect normal Stimulation +	Abstention	1	1		1	2	3

**Tableau 5.** Pourcentage très important d'avulsions ou d'équivalents par rupture très proximale dans le canal transversaire pour les racines C7, C8 et D1 et inversement, pour les racines C5 et C6, fréquence des ruptures dans la région scalénique, accessibles alors à la réparation par greffe



**Tableau 6.** Les lésions anatomo-pathologiques et leur répartition chiffrée en fonction des racines atteintes dans 25 paralysies partielles

25 paralysies partielles							
Lésion	Topographie						
	C5	C6	TPS	C7	C8	D1	TSP
Avulsion	2	8		7			
Equivalent d'avulsion	1	1		1			
Rupture distale	9	3	1	1			1
Elongation distale	7	8	1	8			
Continuité électro-négative	2	1		5			
Aspect normal	2	2		3			

pondre à un stade précoce mais certains éléments permettent d'envisager ce pronostic:

- l'examen clinique
- les examens para-cliniques
- les critères évolutifs.

**Sur le plan clinique**

Il est un certain nombre d'éléments que l'on peut considérer comme favorables ou péjoratifs.

- Parmi les *éléments cliniques favorables*:  
Une paralysie du plexus brachial survenant après une luxation de l'épaule a 90% de chance

de récupérer complètement et ceci est important à savoir pour rassurer le malade.

Le caractère incomplet de la paralysie, avec par exemple un muscle présent coté à 1 ou 2 dans chaque territoire radriculaire.

L'absence ou la discrétion des troubles sensitifs objectifs sont encore des facteurs considérés comme favorables.

- A l'opposé, les *éléments péjoratifs* sont:

- l'importance du traumatisme, la gravité de l'atteinte plexuelle étant directement proportionnelle à la violence du traumatisme initial. Sur 100 cas, nous relevons 58 lésions osseuses et 22 ruptures artérielles au niveau du membre supérieur;
- l'atteinte du grand dentelé, en raison de son innervation étagée avec naissance des branches dès la sortie du canal transversaire ce qui témoigne de lésions très proximales souvent étendues (7 fois sur 100);
- l'existence d'un syndrome de Claude Bernard-Horner (31 fois sur 100) qui traduit de même des lésions graves proximales des racines inférieures C8 et D1;
- l'existence de douleurs ou de signes médullaires également de pronostic défavorable.

Les éléments de pronostic dépendent aussi de *critères évolutifs précoces*. Ils sont appréciés sur des examens répétés et sur le signe de Tinel recherché dans la région supra-claviculaire, puis dans la région axillaire, et enfin au niveau des nerfs du membre supérieur. En cas d'atteinte étagée associant des lésions complètes et partielles, son interprétation est souvent difficile et ne permet pas de préjuger d'un niveau précis. A l'opposé, la persistance d'un syndrome d'irritation nerveuse fixe dans la région supra-claviculaire traduit le névrome et l'interruption des racines.

Parmi les *examens para-cliniques*, la myélographie et l'électromyogramme vont permettre de se faire une idée aussi précise que possible des lésions anatomo-pathologiques. Nous avons, avec B. Frot, défini diverses anomalies radiologiques et réalisé 160 myélographies, en confrontant les observations des 100 cas opérés qui avaient tous eu une myélographie en pré-opératoire. L'étude porte sur l'aspect des gaines méningées et celui des racines. Dans la myélographie normale (Fig. 2), on voit parfaitement un fin liseré correspondant à la juxtaposition des deux radicules antérieure et postérieure, qui sépare l'espace radriculaire en deux.

Les lésions pathologiques ont ainsi été classées en deux chapitres.:

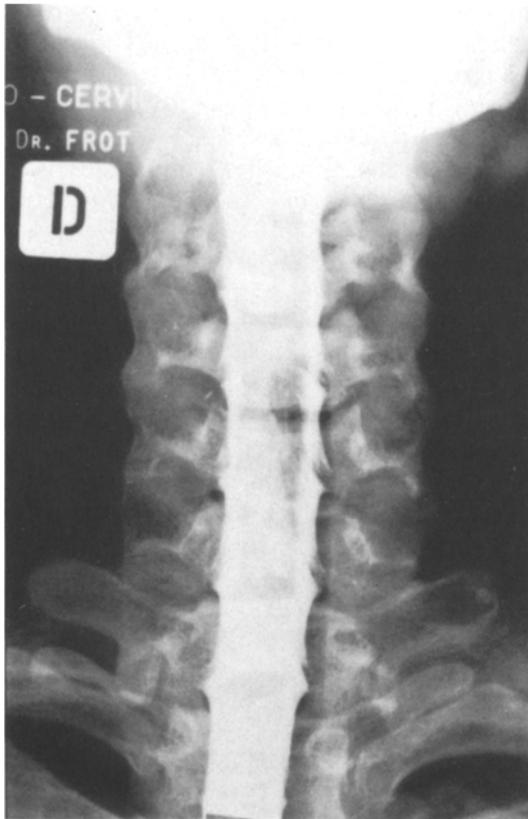


Fig. 2. Myélographie normale

a) Les lésions des gaines (Fig. 3)

– Le pseudo-méningocèle, qu'il soit de grande (M) ou de petite taille (m), correspond toujours pour nous à une avulsion radiculaire ou à une lésion très proximale à l'entrée du canal transversaire, c'est-à-dire à des lésions ne permettant aucune réparation chirurgicale. L'exploration chirurgicale avec confrontation anatomo-radio- logique permet de confirmer cette notion et sur les 100 cas opérés nous avons trouvé :

- 88 lésions d'arrachement total;
- 11 racines apparemment continues ne répondant pas à la stimulation;  
Dans ces cas, nous n'avons jamais observé de récupération clinique ultérieure et l'arrachement se situait vraisemblablement au niveau des radicelles;
- Dans un cas, un grand pseudo-méningocèle de C7 se projetait sur les racines C8 et D1 et a fait porter à tort le diagnostic de pseudo-méningocèle sur ces dernières racines. C'est un des rares cas où les constatations opératoires et les prévisions myélographiques ne coïncidaient pas et cette cause d'erreur doit être connue.

– Les images lacunaires étendues (L) et les images de défaut (d) ont la même signification et coïnci-

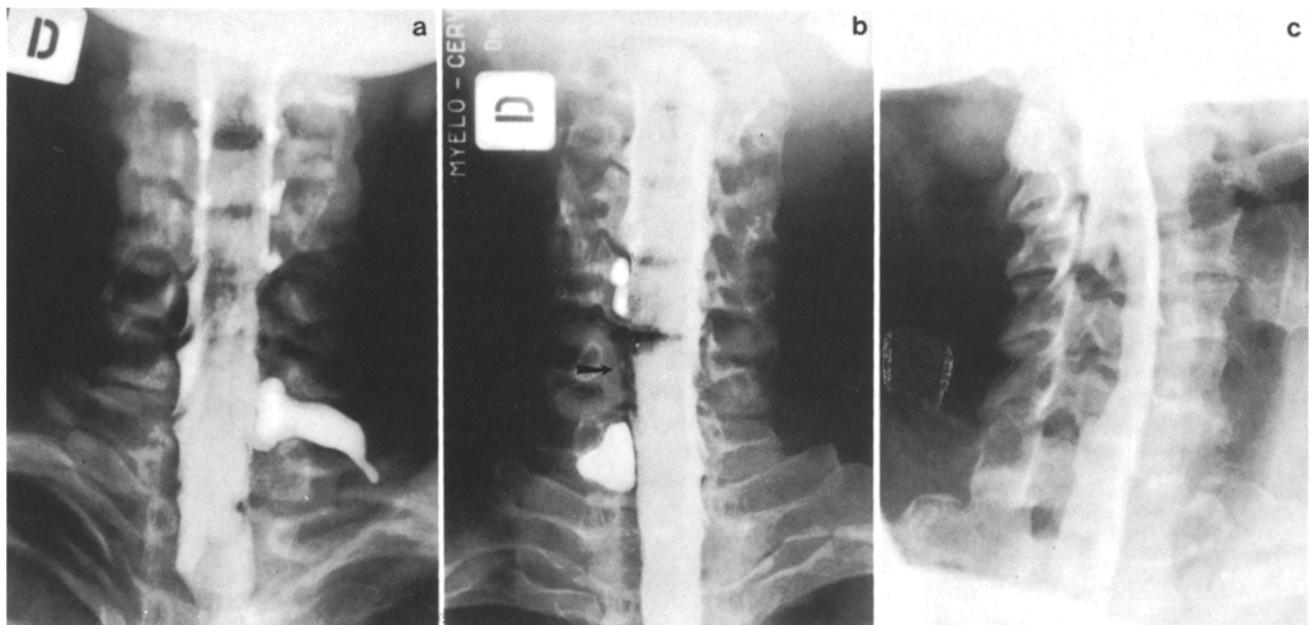
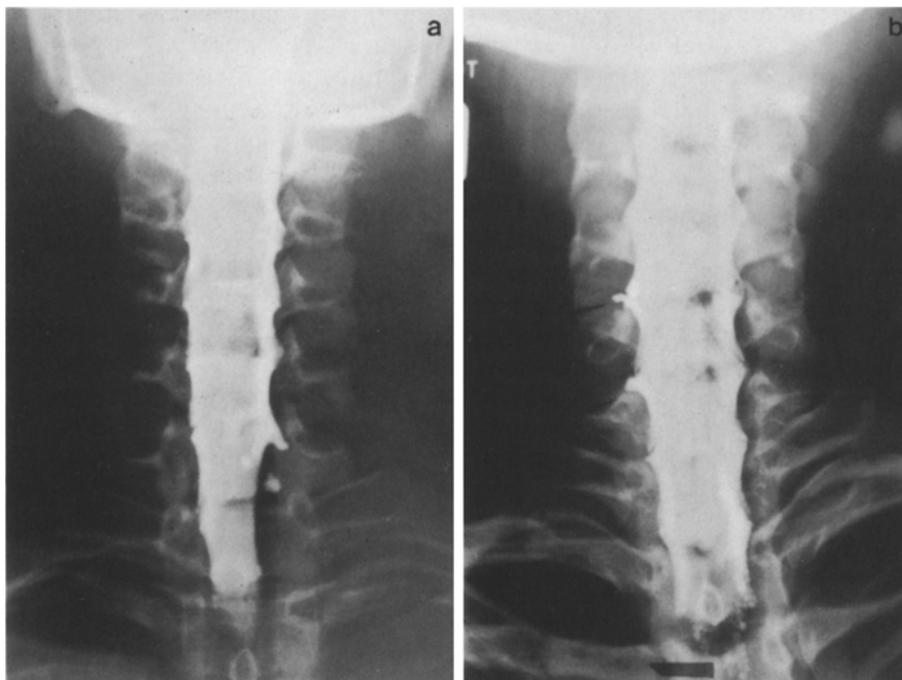


Fig. 3a-c. a Grande méningocèle C8 et image de défaut C7 gauche. b Méningocèle C6 et C8 avec image de défaut de C7 droite. D1 n'est pas visible. c Image lacunaire étendue droite



**Fig. 4.** a Bille lipiodolée C8 et étirement C7 gauche. b Racine boudeuse C6 et racine opaque étirée C5 droite

dent souvent avec un pseudo-méningocèle sur une racine adjacente. Dans 2 cas de lacunes étendues, la laminectomie a confirmé l'avulsion des racines et l'existence d'adhérences entre la moelle et la duremère.

#### b) Les lésions des racines (Fig. 4)

Ces lésions ne sont interprétables et visibles que s'il n'existe pas d'atteintes des gaines telles que nous venons de le voir. Les deux lèvres méningées entourant la racine sont cependant modifiées; elles perdent leur parallélisme et ont tendance à se rejoindre (racines boudeuses B).

Sur la racine elle-même, il s'agit d'anomalies diverses: simple bille lipiodolée (G), étirement d'une racine avec disparition du liseré central (E), racine opaque voire absente (O). Ces anomalies font suspecter une lésion radiculaire mais ne permettent absolument pas de préjuger de sa gravité. Il s'agit en règle de lésions partielles d'étirement qui pourront faire l'objet d'une neurolyse si la lésion est en continuité. Cependant, dans un certain nombre de cas, il existe une rupture complète par dilacération longitudinale. La recoupe proximale va se faire sur une racine fibreuse ne possédant que la moitié ou le quart de son potentiel de fibres nerveuses; il est alors difficile d'apprécier la valeur du capital axonique et la repousse ultérieure.

La myélographie exécutée avec une technique

parfaite est pour nous un examen extrêmement fiable et fait partie du bilan pré-opératoire. Les images sur les gaines et les racines ne doivent pas être interprétées isolément. Les associations sont fréquentes, peuvent s'additionner et par exemple une racine opaque située entre deux pseudo-méningocèles témoigne d'une lésion de même gravité. Enfin, les images radiologiques correspondent à une lésion radiculaire donnée, sans correspondance clinique stricte, en raison des variations anatomiques. La myélographie, si l'on considère les lésions racine par racine va finalement nous apporter des éléments essentiels:

- a) un aspect anormal myélographique témoigne d'une lésion radiculaire. Sa gravité doit être appréciée en fonction des éléments que nous venons de voir et les pseudo-méningocèles sont synonymes d'avulsion radiculaire. Ils siègent dans la majorité des cas sur C7-C8-D1.
- b) un aspect radiologique normal des gaines et de la racine, dans le contexte d'une paralysie totale, est la seule situation qui permet d'espérer soit une récupération spontanée, soit la découverte de lésions plus distales, accessibles à la réparation directe.

Dans notre expérience, nous avons en effet trouvé dans la majorité des cas:

- une racine continue (lésion de degré 2 ou 3) avec récupération progressive;
- une rupture dans la région scalénique ou de si-

ge plus distal. La réparation par greffe est alors effectuée sur des extrémités nerveuses d'aspect satisfaisant et propice à la régénération.

Cependant, un aspect radiologique normal peut correspondre à une lésion complète irréversible:

- dans quelques cas rares, la racine avait disparu avec rupture dans le canal transversaire;
- dans 3 cas, la racine D1 était apparemment continue sans lésion, mais aucune récupération clinique ultérieure n'a été observée. Ces faits sont en faveur d'une rupture par mécanisme central et ils ne pourraient être confirmés que par laminectomie ou peut-être par le scanner couplé à l'injection d'amipaque.

Un plan opératoire peut ainsi être établi en confrontant les examens cliniques et para-cliniques.

*L'électromyogramme* fait partie du bilan. Il précise, sur deux examens successifs, la présence ou non d'une réinnervation infraclinique qui témoigne de l'existence de lésions du degré 1, notamment sur les racines supérieures (muscles proximaux) dans les trois à quatre mois après l'accident.

Il faut également aborder le *problème psychologique* posé par ces blessés et essayer de répondre à un certain état d'angoisse légitime. La récupération est-elle possible? Qu'envisagez-vous maintenant? Quand pourra-t-on opérer si cela est nécessaire? Quels résultats peut-on espérer et quel travail pourrons-nous faire?

Les premiers mois après l'accident sont une phase de récupération possible et il n'y a pas, dans notre expérience, d'indication chirurgicale d'emblée en dehors des lésions vasculaires associées qui doivent être traitées le plus tôt possible. Dans les cas d'ischémie aiguë, l'intervention d'urgence s'impose pour réparer les dégâts vasculaires et le bilan des lésions nerveuses sera fait lors de ce temps opératoire. La réparation nerveuse ne sera envisagée que secondairement car il nous paraît impossible de préciser le niveau où doivent être faites les greffes dans ces lésions par dilacération longitudinale. En dehors de ces cas bien précis, il faut mettre en place un traitement initial qui va, à côté du traitement des lésions ostéoarticulaires associées, viser à prévenir les troubles trophiques et les raideurs articulaires. Il faut éviter toute traction du membre supérieur sur les racines et immobiliser dans un appareillage simple le bras en abduction et en antépulsion, s'opposant ainsi à l'é-

paule paralytique. Il faut commencer la mobilisation active, lorsque ceci est possible, et passive, pour prévenir les raideurs articulaires. L'évolution sera suivie sur les examens cliniques répétés, moteurs et sensitifs, sur le signe de Tinel et, au 30ème jour, le bilan sera complété par un électromyogramme et dans certains cas par une myélographie.

*Les indications chirurgicales* vont dépendre de cet évolution. Si un certain nombre de blessés ( $2/3$  environ dans la littérature mondiale [15, 19]) récupère spontanément dans les premiers mois, dans les autres cas, la décision d'une intervention chirurgicale peut être envisagée à la lumière de tous les éléments que nous venons de voir et qui doivent être appréciés et confrontés.

L'exploration chirurgicale par voie cervico-axillaire doit être envisagée dans un délai de 2 à 4 mois si aucune récupération clinique ou électromyographie ne survient dans un ou plusieurs territoires radiculaires. Ce délai est, bien entendu, fonction de la date où le blessé a été vu. Dans notre série de 100 cas opérés, il se situe entre le 6ème et le 8ème mois (extrêmes: 30ème jour, 18ème mois) avec une tendance actuelle vers le 4ème mois.

a) Dans les paralysies totales et radiculaires supérieures C5-C6 ± C7, il faudra prendre une décision au 2ème-4ème mois. Il est inutile d'attendre 7 à 8 mois, délai normal de la réinnervation proximale, en l'absence de signe de Tinel et de réinnervation infra-clinique à l'électromyogramme.

- Le tableau le plus fréquent est celui de la paralysie totale sans aucune récupération au 3ème, 4ème mois avec des méningocèles sur C8-D1 et souvent sur C7. C6 peut avoir un aspect anormal et C5 est en règle normal sur le plan radiologique. Ce schéma stéréotypé correspond à la quasi totalité des paralysies complètes. En pré-opératoire, on peut dire que l'intervention permettra une greffe à partir de C5 et parfois de C6, en espérant une récupération au niveau de l'épaule et du coude mais une main paralytique définitive.

- A côté de ces paralysies sans aucune récupération on peut observer une évolution apparemment favorable:

- soit de proximale à distale: certains faits doivent alors attirer l'attention et un signe de Tinel qui ne progresse plus correspond soit à un obstacle par fibrose, soit à une lésion à double étage;

- soit de distale à proximale: certaines paralysies totales récupèrent très rapidement en C8–D1, à un moindre degré en C7 et pas du tout en C5–C6. L'exploration doit être faite précocément car il s'agit alors de lésions réparables extrascaléniques des racines supérieures ou du premier tronc primaire dans une proportion importante de cas.
- b) Dans les paralysies basses, C7–C8–D1, la décision sera prise en fonction des examens cliniques et surtout para-cliniques. La myélographie va préciser l'existence ou non de pseudo-méningocèle et, en fonction de la certitude d'avulsion de telle ou telle racine, l'interprétation du tableau clinique sera réexaminée et une exploration sera décidée, quitte à ce qu'elle soit inutile. A. Narakas [16] est convaincu qu'une intervention blanche est préférable à une intervention tardive car, si l'on attend le long délai de récupération clinique, les conditions seront moins bonnes pour une réparation nerveuse.
- c) Dans les paralysies anciennes, plusieurs années après l'accident, seuls les états douloureux cliniques sont des indications à une neurolyse.

Nous avons exploré chirurgicalement de 1974 à 1981. Deux-cent-dix paralysies du plexus brachial ce qui nous permet de souligner que l'intérêt de la chirurgie nerveuse est:

- de préciser les lésions anatomo-pathologiques sans les aggraver;
- de permettre la neurolyse;
- de permettre l'ablation des névromes, ce qui a un rôle essentiel sur la disparition ou l'atténuation des douleurs;
- de permettre enfin la réparation nerveuse par greffe.

Sur le plan de la technique chirurgicale, il faut envisager deux volets:

- le premier est celui de l'abord chirurgical, de la dissection et de la reconnaissance des lésions anatomo-pathologiques;
- le deuxième est celui de la réparation nerveuse.

### L'abord chirurgical

L'exploration par voie cervico-axillaire permet de préciser les lésions anatomiques par une dissection qui doit aller du canal transversaire à la région axillaire et parfois atteindre la région brachiale. On peut ainsi reconnaître des lésions dont la gravité s'échelonne depuis l'avulsion radiculai-

re jusqu'à la simple élévation, en insistant sur les lésions intermédiaires par dilacération longitudinale, au niveau desquelles il est souvent difficile d'apprécier l'importance des lésions (Fig. 5). Par ailleurs, ces lésions peuvent siéger à la fois dans la région supra-claviculaire et sur les nerfs, essentiellement sur le musculo-cutané, le circonflexe ou le scapulaire supérieur. Ces lésions à double étage (18 cas sur 100 : 7 scapulaire supérieur, 4 circonflexe et 7 musculo-cutané) doivent être bien connues et recherchées systématiquement par une exploration complète.

Enfin, une apparence de continuité au niveau de racines théoriquement avulsées (méningocèle à la myélographie) doit évoquer une avulsion radiculaire par mécanisme central, hypothèse qui ne pouvait être confirmée que par laminectomie (5 fois au début de notre expérience). Les lésions artérielles confirmées par l'artériographie seront réparées par greffe veineuse pour améliorer la trophicité du membre (18 fois sur 22).

L'ostéotomie de la clavicule (8 fois sur 100 cas) enfin n'est nécessaire que si la dissection est difficile ou si l'on désire aborder les racines

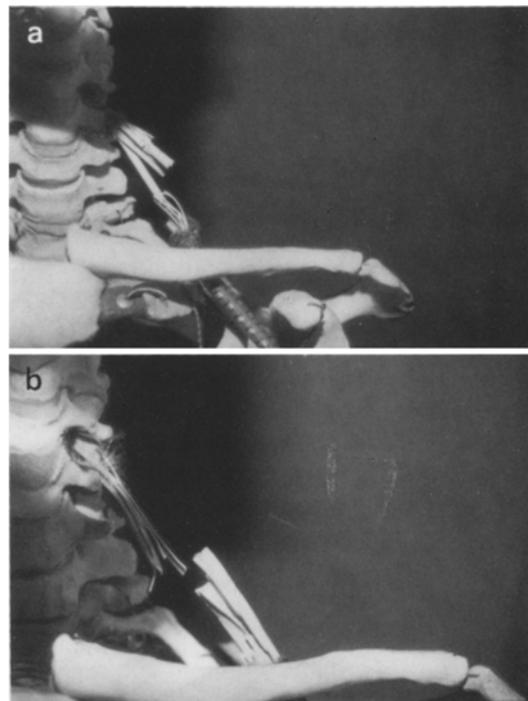


Fig. 5 a et b. Lésions par dilacération longitudinale. a Rupture quasi totale mais persistance de quelques fascicules. b Rupture totale par dilacération avec, pour certains groupes fasciculaires, une rupture très proximale et, pour d'autres, une rupture plus distale

C8–D1 rompues dans la région rétro-claviculaire. Une ostéosynthèse par plaque permet une réparation simple; il faut prendre la précaution de mouler la plaque avant l'ostéotomie et de préparer les trous de fixation pour les vis. Après réparation nerveuse, l'intervention se termine par la reinsertion du grand pectoral et la fermeture du sillon delto-pectoral. Le bras est ensuite immobilisé dans un Dujarier avec coussin d'abduction pour 15 jours puis reprise de la rééducation.

La réparation des éléments nerveux fait suite au bilan anatomo-pathologique et doit être envisagée selon un plan précis.

a) *L'exoneurolyse* suivie ou non d'endoneurolyse est un des premiers temps de l'abord du plexus. Les lésions partielles doivent, dans tous les cas, être respectées et le repérage des fascicules intacts est souvent d'une difficulté considérable si l'on ne veut pas aggraver les lésions. Les endoneurolyses exposent aux risques majeurs d'aggravation par dévascularisation. Nous avons réalisé 25 neurolyses isolées sans réparation associée du plexus. Nous avons observé un cas d'aggravation post-opératoire avec récupération en 6 mois dans les neurolyses tardives (2 cas). Ces neurolyses tardives (deux ans ou plus après l'accident), en dehors des cas où elles sont justifiées par l'existence de douleurs, doivent être rejetées car elles n'ont jamais amélioré le malade sur le plan moteur ou sensitif. Dans les 21 autres cas, la neurolyse a toujours entraîné une atténuation importante des douleurs. Nous considérons que la neurolyse, outre son rôle certain sur les douleurs, permet d'améliorer et d'obtenir une récupération de meilleure qualité dans des territoires moteurs et sensitifs qui ont déjà récupéré. Dans 5 cas cependant la neurolyse a permis une récupération qui n'existait pas initialement.

b) *La réparation directe des lésions par greffe nerveuse* en microchirurgie dépend du bilan des lésions. Les greffons utilisés seront prélevés sur les deux nerfs saphènes externes et parfois sur le brachial cutané interne. L'utilisation du nerf cubital comme greffon, licite lorsqu'il existe une avulsion de C7, C8 et D1, a été pratiquée 17 fois sur 100 dans cette série avant 1977, puis fut totalement abandonnée en raison des résultats médiocres en comparaison des greffes utilisant des nerfs paucifasciculaires non dégénérés. L'usage d'une greffe tronculaire pose en effet le problème de sa revascularisation qui expérimentalement est moins bonne que pour les greffes fines paucifasciculaires.

L'incision longitudinale de l'épinièvre pour faciliter la revascularisation n'améliore que peu les résultats. Cette technique sera peut-être reprise en utilisant une greffe libre vascularisée.

En fonction de la perte de substance nerveuse, entre les éléments proximaux et distaux, il est possible d'envisager la réparation selon divers modes:

- Dans la majorité des cas (97 fois sur 100), la greffe nerveuse est indispensable et permet de ponter les éléments interrompus avec une tactique qui dépend du nombre utilisable de racines ou de troncs nerveux (Tableau 7);
- La suture directe est possible dans certains cas exceptionnels, lorsqu'il existe par exemple une avulsion de C7–C8 et D1 et que l'ensemble du plexus peut monter vers le tronc primaire supérieur ou les racines C5–C6 rompues dans la région supra-claviculaire à la sortie du défilé scalénaire. Cette suture est alors préférable à une longue greffe avec deux sutures et nous l'avons réalisée trois fois.

Trois problèmes dominent cette réparation:

### 1. *L'appréciation de la valeur du bout proximal*

Il faut insister sur la différence essentielle entre les ruptures avec constatation d'un névrome et les ruptures avec un aspect atone, effilé.

Dans le premier cas, les greffes se feront sur un bout proximal richement habité par des axones avec de bonnes chances de réinnervation (Fig. 6 a, b, c).

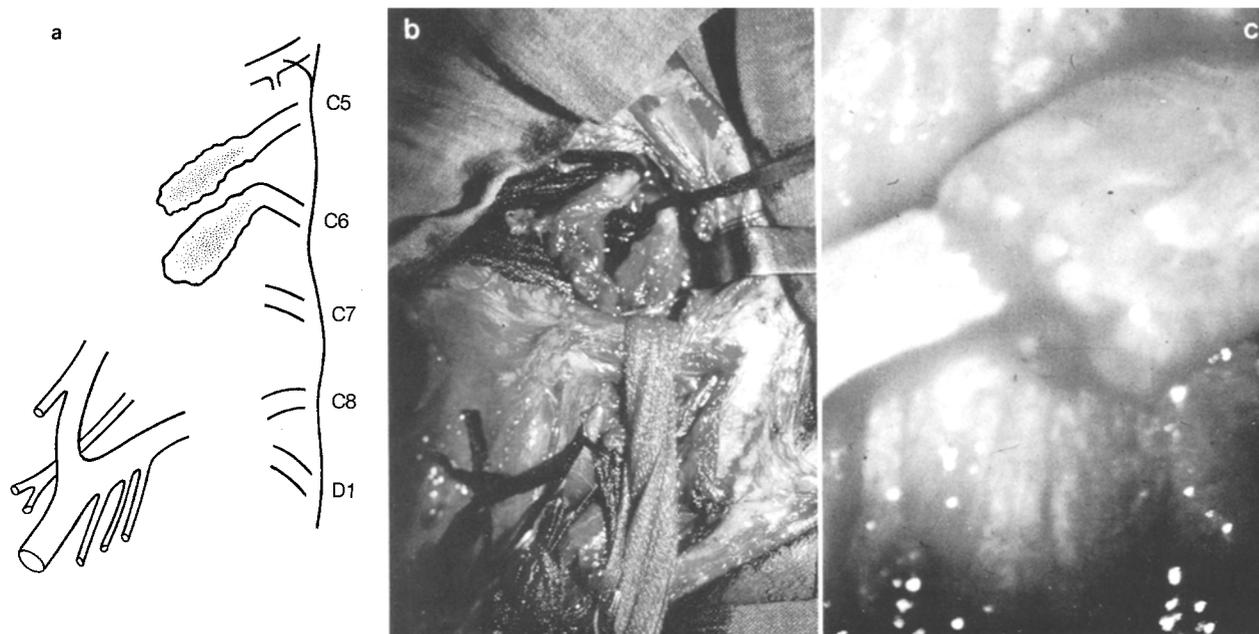
Dans le deuxième cas, le potentiel de repousse nerveuse est limité (Fig. 7 a, b, c):

- par la dilacération longitudinale avec une partie des fibres rompues en position distale et l'autre proximale dans le canal près de l'émergence médullaire;
- par la dégénérescence rétrograde et
- par la fibrose réactionnelle.

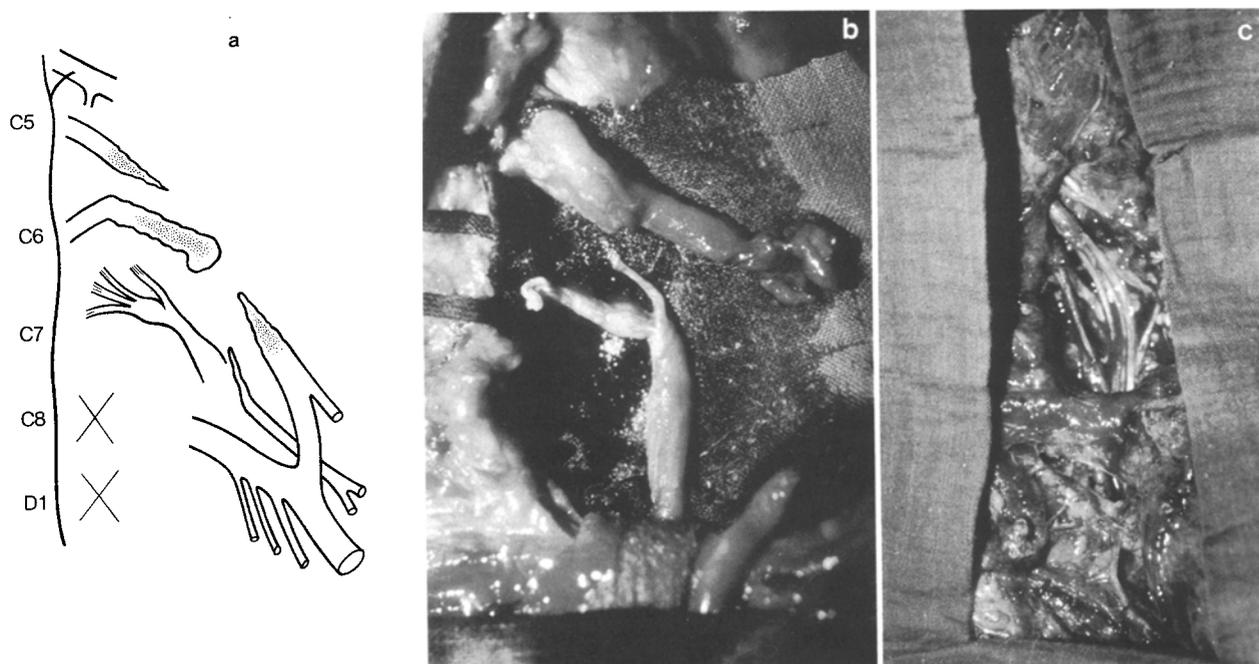
La greffe nerveuse va alors se faire sur une racine qui a perdu 40 à 60% de ses fibres et certains de nos mauvais résultats sont ainsi expliqués par l'étude anatomo-pathologique de la recoupe proximale.

### 2. *Le lit et la longueur des greffons*

Dans toute chirurgie nerveuse périphérique, il importe d'avoir des tissus avoisinants bien vascularisés et une intervention précoce (3ème, 4ème mois) permet d'opérer dans les meilleures conditions possibles. La longueur des greffes est variable et



**Fig. 6 a-c.** a Rupture avec constatation d'un névrome. b Rupture de C5 et de C6. c Greffe à partir de C5 dont on aperçoit les groupes fasciculaires et le premier toron de nerf saphène externe mis en place



**Fig. 7 a-c.** a Ruptures avec dilacération longitudinale. b Rupture de C5 et de C6. Avulsion de C7 bien visible avec le ganglion postérieur, les radicelles postérieures et les radicelles antérieures. c Greffe à partir de C5 et de C6 avec l'hypothèque sur le potentiel de repousse axonique

dépend de l'étendue des lésions. Elle est en moyenne de 5 à 15 cm et les sutures faites dans une position de longueur maxima (tête inclinée du côté opposé et en légère extension) permettent d'éviter toute traction ultérieure lors des mouve-

ments de la tête et du cou. L'immobilisation post-opératoire de la région cervicale ne paraît pas indispensable si ces conditions techniques sont respectées. Le membre supérieur sera immobilisé dans un Dujarier pour 15 jours.

3. Le choix des éléments à réparer (Tableau 7)

Dans les paralysies totales les plus fréquentes, les lésions d'avulsion siègent sur les racines inférieures C7-C8-D1 et l'on ne dispose que d'une ou deux racines à greffer, en règle C5 ou C5-C6. Il importe alors de faire un choix car l'on ne peut ponter tout le plexus. Notre attitude est maintenant bien codifiée et le but est d'obtenir une réinnervation des territoires proximaux.

- Avec une seule racine à greffer, notre choix des éléments à réparer portera sur:
  - a) le nerf scapulaire supérieur;
  - b) le tronc secondaire antéro-externe en amont de l'anse des pectoraux.

Le but est d'avoir une stabilisation de l'épaule paralytique, un grand pectoral pour tenir les objets contre le thorax, une flexion du coude et une certaine sensibilité palmaire de la main.

- Si cette racine est grosse, ou si l'on dispose de deux racines, on peut, en plus de ces éléments, ponter certaines parties du tronc secondaire postérieur (radial ou circonflexe) et l'on s'efforcera de disposer les greffons, plan antérieur de la racine vers le plan antérieur du plexus, plan postérieur de la racine vers le plan postérieur du plexus. Une neurotisation complémentaire par les intercostaux peut être associée à cette réparation (1 cas).
- Lorsque toutes les racines sont avulsées, la neurotisation peut être envisagée. Cette situation nous paraît cependant exceptionnelle et les sept neurotisations correspondant à des avulsions des cinq racines ont été faites dans les premiers

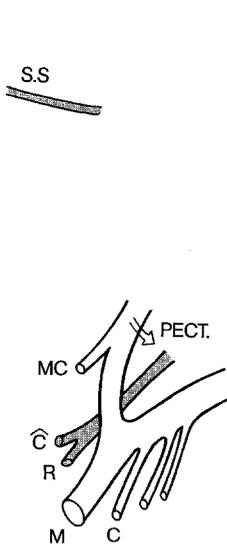
cas en 1976. La qualité de l'exploration nous paraît fondamentale. On retrouve presque toujours une racine C5 très verticale, cachée dans le défilé scalénique et nous pensons qu'un certain nombre de nos neurotisations auraient pu être évitées ou tout au moins associées à une greffe sur une racine utilisable. La neurotisation par les nerfs intercostaux est la plus classique mais il importe de se souvenir qu'un nerf intercostal contient 550 fibres et qu'un nerf musculo-cutané en contient 7900. Certes 30% des fibres sont nécessaires pour retrouver une certaine fonction musculaire mais ceci est toujours aléatoire et il faut donc utiliser 3 ou 4 nerfs intercostaux pour

**Tableau 7.** Choix des éléments à ponter en fonction du nombre de racines utilisables. Les troncs de nerf saphène externe seront disposés dans la mesure du possible du plan postérieur de la racine vers le plan postérieur du plexus et du plan antérieur de la racine vers le plan antérieur du plexus

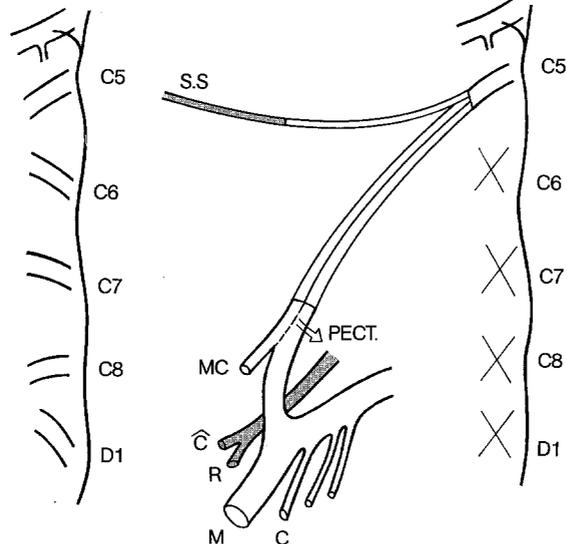
Choix des éléments à ponter  
en fonction du nombre de racines utilisables

- \* *Ponter en premier* (1 racine greffée)
  - Nerf scapulaire supérieur
  - Tronc secondaire antéro-externe (TSAE)
    - ➔ Musculo-cutané (MC)
    - ➔ Anse des pectoraux
    - ➔ Racine externe du Médian
- \* *Si possible* (2 ou 3 racines greffées)
  - Nerf radial
  - Tronc secondaire postérieur (TSP)
- \* *En dernier*
  - Racine interne du Médian
  - Tronc secondaire antéro-interne ?

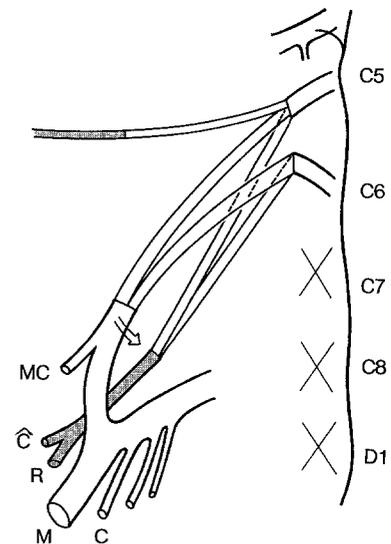
*Schéma des lésions*



*Une racine utilisable*



*Deux racines utilisables*



ponter un nerf musculo-cutané et à fortiori un tronc secondaire antéro-externe.

La voie d'abord peut être un prolongement de la voie initiale delto-pectorale ou une autre voie horizontale, sur la ligne axillaire moyenne, entre les reliefs du grand pectoral et du grand dorsal.

Le repérage du nerf intercostal se fait au bord inférieur de la côte et il faut le sectionner le plus en arrière possible pour avoir le maximum de fibres motrices. Les risque de blessure pleurale existe mais, dans notre expérience, nous n'en relevons aucun cas.

Le pontage est assuré par une greffe intermédiaire, notamment pour les 4ème. 5ème nerfs intercostaux. Dans certains cas, la suture directe est possible si l'on a pu disséquer suffisamment haut le nerf musculo-cutané qui peut alors être amené au contact du 3ème nerf intercostal.

Nous avons réalisé 9 neurotisations par les intercostaux et, dans 5 cas, nous avons ponté le musculo-cutané ou le tronc secondaire antéro-externe. Dans 1 cas, le nerf médian a été neurotisé car le musculo-cutané présentait des lésions irréparables.

Dans 2 cas, le nerf cubital ou le tronc secondaire antéro-interne ont été pontés comme Complément d'une réparation par greffe à partir des racines supérieures.

Enfin, le nerf spinal peut être utilisé mais exceptionnellement à notre avis. Nous avons réalisé cette technique une fois dans une rupture isolée de C5.

## Résultats

Notre statistique fait état des 100 premiers cas opérés d'avril 1974 à janvier 1979 (Tableau 8) mais seuls 48 cas, avec un recul supérieur à deux ans, permettent de faire un premier bilan des résultats. Ces 48 cas correspondent aux greffes faites avec le nerf saphène externe, car les greffes tronculaires utilisant le nerf cubital comme greffon ont été éliminées en raison de l'abandon de cette technique comme il a été dit plus haut.

Nos résultats seront analysés de façon critique. Nous admettons une récupération par réparation nerveuse que s'il n'existe aucune autre voie possible. Dans les cas d'avulsion C7-C8-D1 avec C5 ou C5 et C6 greffables, le problème est simple. Par contre, les problèmes sont plus complexes dans les paralysies avec récupération spontanée, de racines ou de troncs avec lésions de degré 2, voire de degré 3, ou des dilacérations lais-

**Tableau 8.** Répartition des divers choix thérapeutiques dans les 100 cas opérés

100 cas de paralysies du plexus brachial opérés	
Avril 1974 – Janvier 1979	
	- 1 racine 34 CAS
	- 2 racines 17 CAS
	- Tronc primaire supérieur 7 CAS
65 greffes	- 3 racines 1 CAS
	- 5 racines 1 CAS
	- Troncs secondaires ou nerfs 5 CAS
	10 neurotisations
25 neurolyses	

sant persister une partie des fibres. Les variations anatomiques sont par ailleurs multiples avec une innervation uni et pluri-radulaire. Certains malades, présentant une avulsion de C7, confirmée par la myélographie et par l'exploration, ont eu une récupération totale dans les muscles théoriquement innervés par C7, c'est-à-dire le triceps et les extenseurs du poignet et des doigts. Nous avons là, par la seule clinique, une erreur inévitable qui est de parler de récupération C7 alors que l'innervation de ces muscles se faisait par C8 et D1; ce sont les confrontations de la clinique, de la myélographie et de l'électromyographie et enfin de l'exploration chirurgicale avec stimulation peropératoire qui ont permis de donner une explication à ces faits en apparence paradoxaux. Enfin, les résultats ne pourront être appréciés qu'avec un recul suffisant car les délais de réinnervation après greffe sont toujours longs:

- sur le plan moteur, les délais classiques de huit mois pour l'épaule doivent être allongés à 12-15 mois pour parler de récupération fonctionnellement utile. Certains malades récupèrent cependant une fonction difficile à coter et c'est le cas de ces blessés qui, n'ayant pas de mouvement actif au niveau de l'épaule, voient cependant disparaître la subluxation inférieure de la tête humérale et réduisent activement leur épaule paralytique. Il convient, à côté de la cotation internationale de 0 à 5, de tenir compte de la fatigabilité des muscles réinnervés et de la fonction globale épaule, coude et main.
- Les résultats sensitifs sont difficiles à apprécier mais la récupération, fonction des territoires pontés, assure une sensibilité de protection non négligeable et une amélioration trophique indiscutable.

– Enfin, le problème de la symptomatologie douloureuse doit être abordé et, sur les 100 cas opérés, seul un malade présente des douleurs persistantes nécessitant un traitement antalgique de façon à vrai dire intermittente. Cette symptomatologie s'améliore au cours des années avec la progression de la réinnervation et le recul pour ce malade n'est que de 1 an  $1/2$ . Il importe donc de préciser que l'intervention chirurgicale, avec greffe nerveuse, dans un territoire donné quel qu'il soit, modifie de façon considérable les afférences venant du membre supérieur et que la quasi totalité des malades ne souffre pas ou présente de façon intermittente des phénomènes douloureux localisés surtout au niveau de la main, à type de crampes ou de courant électrique très fugace, ne nécessitant aucun traitement médical. Ceci est un point très important à mettre à l'actif du traitement chirurgical.

Nos résultats, avec un recul de 2 ans à 2 ans  $1/2$ , dépendent des lésions anatomo-pathologiques et ont été étudiés en fonction des racines greffées, du choix des éléments à réparer et donc du but à atteindre.

*I. Dans les paralysies C5–C6–C7–C8–D1 totales, les, avec avulsion de toutes les racines,* le problème est d'envisager l'avenir avec le blessé.

Les indications d'amputation sont pour nous exceptionnelles (2 cas; un par écrasement de l'avant-bras et un secondairement par convenance personnelle) et ne doivent en aucun cas être fonction du syndrome douloureux. L'appareillage fonctionnel est dans l'ensemble inutilisé et les prothèses esthétiques de vie sociale sont toujours inférieures au bras paralysé. La neurotisation par les nerfs intercostaux entraîne une meilleure trophicité du membre supérieur et peut redonner une certaine flexion du coude. Dans nos 4 cas avec un recul supérieur à deux ans, nous avons deux résultats utiles et deux échecs.

Dans les trois neurotisations, sur le musculocutané, nous avons deux échecs dont une demande d'amputation secondaire et 1 récupération avec flexion du coude active contre pesanteur. Dans le cas de neurotisation sur le nerf cubital, le malade a retrouvé une sensibilité au niveau de la main. Il ne faut pas attendre plus des neurotisations et le blessé doit apprendre à vivre avec un membre supérieur paralysé et être orienté vers un reclassement professionnel.

*II. Dans les paralysies C5–C6–C7–C8–D1 avec lésions irréversibles des racines inférieures,* le problème est dominé par l'atteinte de la main.

La réparation par greffe nerveuse à partir des racines C5–C6 et parfois C7 peut entraîner une réinnervation dans les muscles proximaux (épaule, coude) et la réinnervation des muscles longs de la main survient dans certains cas avec possibilité de transplantation ultérieure en fonction de l'état trophique et sensitif. Le résultat doit être étudié en fonction de la réparation nerveuse et du plan thérapeutique que l'on a utilisé (Tableau 7).

a) Lorsqu'une seule racine est utilisable et que les greffes ont porté sur le nerf scapulaire supérieur et le tronc secondaire antéro-externe, (TSAE) en amont de l'anse des pectoraux, le résultat utile que l'on peut attendre de cette réparation associe:

- une réduction active de l'épaule paralytique mais avec peu ou pas de mobilité notamment en abduction-rotation externe. La stabilisation de l'épaule, par récupération des muscles sus et parfois sous épineux, cotés alors à 2, est cependant très utile et améliore la fonction du coude;
- un grand pectoral à 3 ou 4, très utile pour tenir un objet contre le thorax;
- une flexion du coude, active contre pesanteur et souvent contre résistance, cotée alors à 4;
- une certaine sensibilité au niveau de la face palmaire de la main.

b) Si l'on a pu ponter, à partir de deux racines, en plus des éléments précédents, une partie du tronc secondaire postérieur (TSP) et mettre plus de torons sur le tronc secondaire antéro-externe, on peut espérer avoir également une certaine extension du coude et une flexion relative du poignet et parfois des doigts. Le bles-

**Tableau 9.** Résultats dans les 26 cas de greffe nerveuse pour paralysie totale avec un recul supérieur à 2 ans  $1/2$

65 greffes pour paralysies totales	
26 cas – Recul > 2 ans $1/2$	
1 racine greffée	13 cas — 3 échecs complets (rac. fibreuse ?) 2 échecs partiels 8 récupérations utiles
2 racines greffées	9 cas — 3 échecs 1 non revu 5 récupérations utiles
Tronc primaire sup.	2 cas — 2 récupérations utiles
3 racines greffées	1 cas — 1 récupération utile
5 racines greffées	1 cas — 1 membre supérieur utile

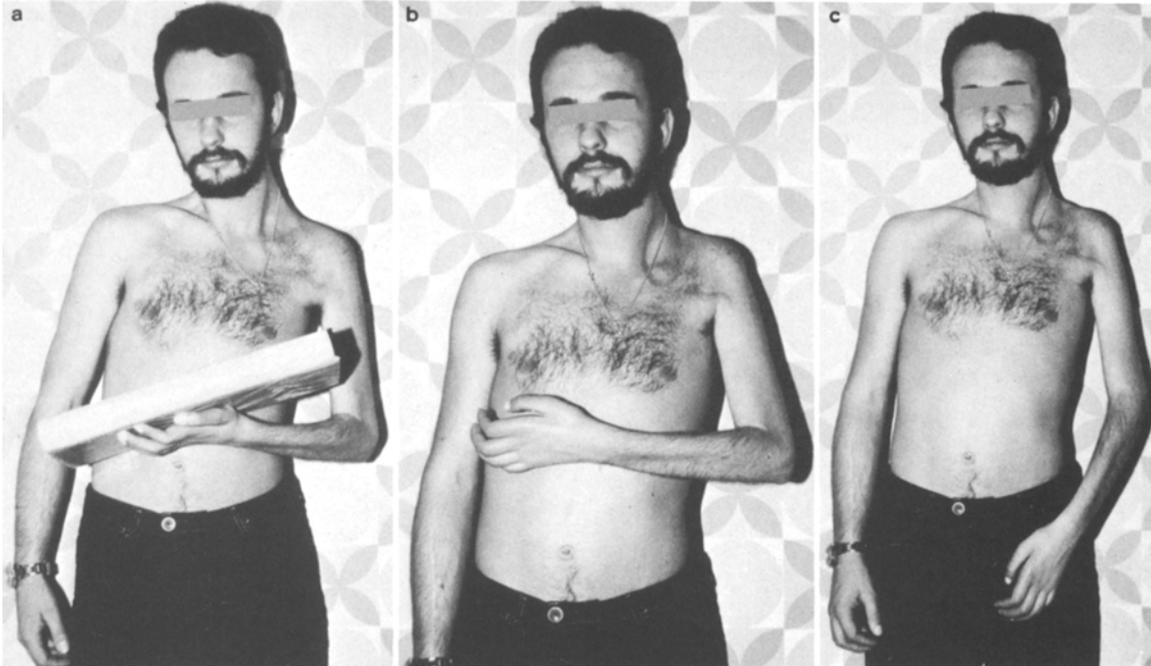


Fig. 8 a-c. Résultat utile dans une paralysie totale avec une seule racine utilisable greffée

se doit être prévenu qu'il conservera une main paralytique.

Dans nos 26 cas, ayant un recul supérieur à 2 ans  $1/2$  (Tableau 9), nous avons 17 récupérations utiles, 8 échecs et 1 malade non revu.

—les 8 échecs, dont 3 complets, sont en rapport avec une greffe faite sur une racine fibreuse dont le potentiel de régénération était nul ou très minime.

Ceci a été confirmé rétrospectivement par l'étude anatomo-pathologique des prélèvements au niveau de la recoupe radiculaire.

—Dans nos 17 récupérations, elles sont fonction du nombre de racines utilisables (Fig. 8 et Fig. 9). Nous avons toujours récupéré la flexion du coude et le grand pectoral.

- Au niveau de l'épaule, nous notons la disparition de l'épaule paralytique avec, dans 2 cas, une abduction active de 20 à 30° mais pas de rotation externe, ce qui constitue une gêne pour la flexion du coude;

- Au niveau du poignet et de la main, dans les cinq récupérations utiles après pontage de deux racines, deux malades ont également récupéré une sensibilité de la main et des muscles fléchisseurs du poignet.

Enfin, dans le seul cas où cinq racines ont été pontées, le membre supérieur est utilisable avec une abduction de l'épaule, une flexion du coude et des doigts permettant une prise globale pollicidigitale.

*III. Dans les paralysies atteignant les racines supérieures*, la chirurgie nerveuse permet d'obtenir les meilleurs résultats. La fréquence de l'atteinte du tronc primaire supérieur ou des racines C5-C6 dans la région inter-scalénique permet la réparation avec le maximum de succès.

La réinnervation en effet va porter sur les muscles proximaux de l'épaule et du coude et les résultats obtenus sur l'épaule sont meilleurs que toutes les transplantations possibles.

La statistique porte sur 18 cas ayant un recul supérieur à 2 ans.

- Les trois neurotisations (deux sur le tronc secondaire antéro-externe, une sur C5) ont donné des résultats décevants;

- Les 4 neurolyses sur C5-C6 n'ont donné que deux améliorations;

- Le problème se centre en réalité sur les greffes à partir des racines ou des troncs (11 cas).

- Sur les 4 cas greffés à partir d'une seule racine utilisable, nous avons 4 récupérations utiles;

- Sur les 3 cas à partir de deux racines utilisables, nous avons 1 résultat utile (Fig. 10), un résultat partiel et un non revu;

- Enfin, sur les quatre lésions des troncs secondaires ou des nerfs, les résultats d'ensemble sont utiles.

Il importe de souligner que dans ces paralysies radiculaires supérieures une intervention précoce est toujours préférable et que le problème est bien entendu celui de l'indication.

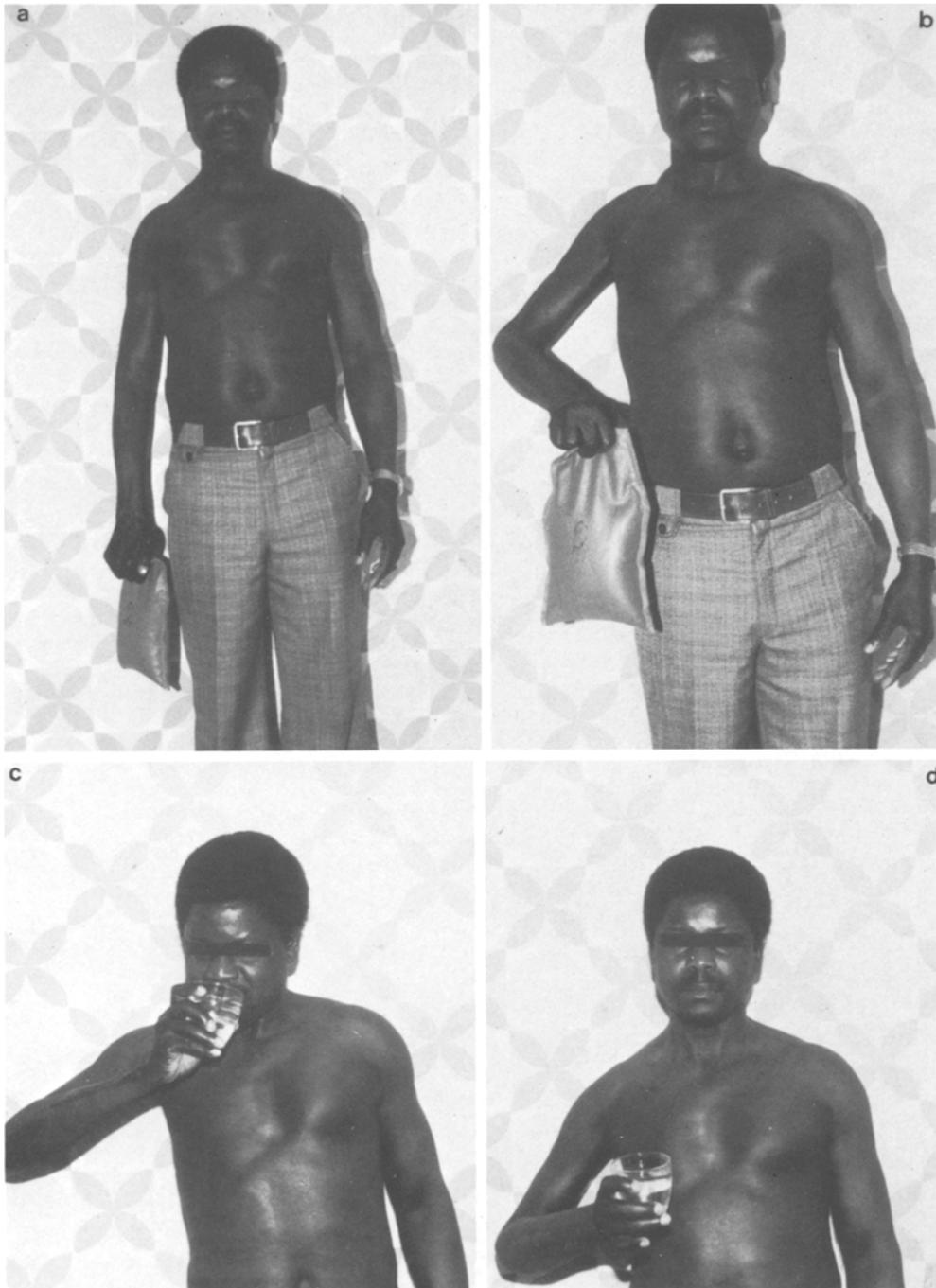


**Fig. 9 a-d.** Résultat utile dans une paralysie totale avec deux racines utilisables greffées

### Conclusion

La connaissance des lésions anatomo-pathologiques et les progrès de la micro-chirurgie légitiment la voie dans laquelle s'est engagé le traitement des lésions du plexus brachial. Les indications précises font intervenir la connaissance de

l'évolution spontanée et l'étude des résultats à long terme (supérieur à deux ans) après réparation directe. Dans notre statistique de 100 cas opérés d'avril 1974 à janvier 1979, les résultats confirment que la réparation directe des lésions nerveu-



**Fig. 10 a–d.** Résultat utile dans une paralysie partielle avec greffe sur C5 et C6 (intégrité de C7–C8–D1)

ses permet de donner un espoir et, dans des cas de plus en plus nombreux, d'obtenir des résultats fonctionnels qui justifient ce type de chirurgie. La chirurgie nerveuse permet d'obtenir les meilleurs résultats dans les paralysies radiculaires supérieu-

res C5–C6 avec réinnervation des muscles proximaux de l'épaule et du coude et ces résultats fonctionnels doivent inciter à poursuivre dans cette voie avec des indications précises et précoces.

## Références

1. Allieu, Y.: Exploration et traitement direct des lésions nerveuses dans les paralysies traumatiques par élongation du plexus brachial chez l'adulte. *Rev. Chir. Orthop.* **63**, 107-122 (1977)
2. Alnot, J. Y., Hutten, D.: La systématisation du plexus brachial. *Rev. Chir. Orthop.* **63**, 27-34 (1977)
3. Alnot, J. Y.: Paralysie traumatique du plexus brachial chez l'adulte. Symposium. Réunion annuelle de la SOFCOT. Paris, Nov. 1975.
  - Les lésions et leur mécanisme. *Rev. Chir. Orthop.* **63**, 39-43 (1977)
  - Classification anatomo-pathologique. *Rev. Chir. Orthop.* **63**, 55-57 (1977)
  - Examen clinique initial. *Rev. Chir. Orthop.* **63**, 58-64 (1977)
  - Technique chirurgicale dans les paralysies du plexus brachial. *Rev. Chir. Orthop.* **63**, 75-80 (1977)
4. Alnot, J. Y., Augereau, B., Frot, B.: Traitement direct des lésions nerveuses dans les paralysies traumatiques par élongation du plexus brachial chez l'adulte. *Chirurgie* **103**, 936-947 (1977)
5. Brooks, D.: Open wounds of the brachial plexus. *J. Bone Joint Surg. [Br.]* **31** (1), 17-33 (1949)
6. Comtet, J. J.: Traitement des paralysies du plexus brachial par traumatisme fermé de l'adulte. Thèse. Lyon, N° 114, 1962
7. Jolly, A.: Traitement chirurgical direct des lésions par élongation du plexus brachial de l'adulte (100 cas opérés, Hôpital Bichat, Paris). Thèse. Paris 1980 (Bibliographie complète)
8. Leffert, R. D., Seddon, H. J.: Infraclavicular brachial plexus injuries. *J. Bone Joint Surg. [Br.]* **47** (1), 9-22 (1965)
9. Leffert, R.: Brachial plexus injuris. *Orthop. Clin. North Am.* **1**, 399-416 (1970)
10. Leffert, R.: Brachial plexus injuris. *N. Engl. J. Med.* pp. 1059-1067 (1974)
11. Mansat, M.: Anatomie topographique chirurgicale du plexus brachial. *Rev. Chir. Orthop.* **63**, 20-26 (1977)
12. Merle d'Aubigné, R., Deburge, A.: Etiologie, évolution et pronostic des paralysies traumatiques du plexus brachial. *Rev. Chir. Orthop.* **53**, 23-42 (1967)
13. Millesi, H.: Indications et résultats des interventions directes; paralysie traumatique du plexus brachial chez l'adulte. 50ème réunion annuelle de la SOFCOT. Paris, Nov. 1975. *Rev. Chir. Orthop.* **63**, 82-87 (1977)
14. Millesi, H.: Surgical management of brachial plexus injuries. *J. Hand Surg.* **2** (5), 367-379 (1977)
15. Narakas, A.: La réparation chirurgicale des paralysies du plexus brachial par abord direct des lésions. Thèse. Lausanne
16. Narakas, A.: Indications et résultats du traitement chirurgical direct dans les lésions par élongation du plexus brachial de l'adulte. *Rev. Chir. Orthop.* **63**, 88-106 (1977)
17. Narakas, A.: Paralysie traumatique du plexus brachial chez l'adulte. Symposium. Lème réunion annuelle de la SOFCOT. Paris, Nov. 1975. Les lésions dans les élongations du plexus brachial. *Rev. Chir. Orthop.* **63**, 44-54 (1977)
18. Narakas, A.: Surgical treatment of traction injuries of the brachial plexus. *Clin. Orthop.*, pp. 71-90 (1978)
19. Sedel, L.: Traitement palliatif d'une série de 103 paralysies par élongation du plexus brachial. Evolution spontanée et résultat. *Rev. Chir. Orthop.* **63**, 651-666 (1977)
20. Seddon, H. J.: *Surgical disorders of the peripheral nerves.* Churchill Livingstone. Edit. Edimbourg 1972
21. Sunderland, S.: *Nerves and nerve injuries.* Churchill Livingstone. 2nd. edition 1978, Edimbourg, London, New York, pp. 854-900
22. Tinel, J.: Le signe du fourmillement dans les lésions des nerfs périphériques. *Presse médicale* **47**, 388 (1915)