

21<sup>ème</sup> année

REVUE DE METALLURGIE

N°11. Novembre 1924

## MEMOIRES

Du damassé et des lames de damas

Par M. le Professeur B. ZSCHOKKE

Traduction française de M. Louis DESCROIX

Préface de M. Charles BUTTIN

### PREFACE

*Tous ceux qui ont approché Henri Moser et ont pu s'entretenir familièrement avec lui, savent quelle somme de connaissances cet intrépide explorateur avait rapportée de ses voyages dans l'Asie Centrale. Très modeste, et un peu froid au premier abord, il ne se livrait pas facilement ; mais quand il rencontrait un interlocuteur de mêmes goûts que lui, animé de la même passion pour **l'étude des Arts de l'Orient**, une communion intime s'établissait bien vite, et volontiers il déroulait, pour son auditeur enchanté, le kaléidoscope de ses anecdotes de voyage. C'était alors un exposé vraiment documentaire, parce que puisé à même la source, des procédés et des secrets des artistes de l'Asie.*

*De tous les sujets si variés qu'il abordait en pareille circonstance, celui qui lui tenait le plus au cœur était le **damas de l'Inde et de la Perse**. Les qualités des lames forgées par les armuriers orientaux avec cette merveilleuse étoffe, les procédés employés pour la mettre en œuvre c'était là une question sur laquelle il ne se lassait jamais. Dans une publication parue il y a douze ans, sur son Arménie (Les ARTS, n° 121, p. 12 et suiv. – Paris, Manzi et Joyant, 1912), j'avais signalé déjà sa préférence pour les lames de damas dans l'étude desquelles il fut un peu mon initiateur, et l'extraordinaire richesse de sa collection sur ce point particulier. Que de fois, dans nos longues promenades, autour de son Charlottenfels, nous sommes partis en discutant à ce propos, et rentrés sans que le sujet de la conversation eût changé !*

*Il avait rapporté d'Orient, et aussi fait copier dans les fonds de manuscrits orientaux des grandes bibliothèques de l'Europe, toute une série de documents relatifs au damas ; il les avait fait traduire, et très aimablement il m'avait communiqué ce dossier d'un si grand intérêt.*

*Mais l'impossibilité de trouver un traducteur connaissant à fond les finesses du Persan et de l'Arabe des hautes époques, et, en même temps, versé dans la connaissance des armes et de la métallurgie de l'Orient, avait été un obstacle insurmontable. Les meilleurs traducteurs n'avaient pas su rendre le sens de termes techniques qu'ils ne connaissaient pas et avaient répandu sur des textes, peut-être très clairs dans leur langue primitive, une profonde obscurité. Aussi, l'interprétation de certaines phrases énigmatiques donnait lieu entre nous à d'interminables discussions d'où ne jaillissait pas toujours la lumière. Elles finissaient cependant quelquefois par éclairer certains points demeurés obscurs dans nos connaissances communes.*

*Nous n'arrivions d'ailleurs pas toujours à nous entendre, surtout lorsque la conversation tombait sur **les mérites comparés des damas de cristallisation et les damas de corroyage** pour lesquels il avait le plus profond mépris ; mépris naturel chez un voyageur qui, comme lui, avait visité la Perse, y avait séjourné, et s'était imbu des idées persanes ; qui, de plus, n'avait jamais mis les pieds en Malaisie, dont les lames auraient peut-être modifié quelque peu sa manière de voir. Sur ce point, il était irréductible.*

*En vain j'invoquais l'intérêt que présentent, pour nous, Européens, les damas corroyés qui sont décrits dans nos anciens textes depuis le sixième siècle, qui ont fourni les lames de la plupart des épées carolingiennes, et qui ont formé plus tard les meilleures armes blanches de Solingen, puis du Klingenthal ; il ne voulait rien entendre.*

*-« Pourtant, lui disais-je, les Persans ont bien été forcés d'admettre le damas corroyé pour les canons de leurs armes à feu, et les damas de cristallisation se sont montrés là très inférieurs en ténacité ».*

*-« Pour les armes à feu, c'est possible, répondait-il ; mais, pour les lames de sabre, c'est une autre affaire, et là, le damas des boulates reprend tous ses avantages »*

*-« Enfin, il est cassant, reprenais-je, et les traces de rupture de quelques-unes de vos plus belles lames sont là pour le prouver »*

*-« Il n'est cassant qu'entre les mains d'un maladroit qui ne sait pas donner le coup de sabre, et se sert de son arme comme d'un bâton, rétorquait Moser, et les ruptures dont vous parlez ont fourni aux armuriers incomparables de la Perse l'occasion de montrer les merveilleuses qualités de ce métal. Voyez cette lame, " signée de Kalb-Ali, fils du célèbre Assad-Oullah, d'Ispahan. Elle a été rompue par un coup porté à faux ; la soudure a été si parfaitement exécutée qu'il est impossible de la constater au toucher. Seule l'application du zag l'a révélée par un changement de teinte qui indique, sur chaque face, l'extrémité des lèvres de la cassure amincies en biseau. Aussi l'artiste qui a forgé cette soudure au XVIIIème, siècle, a-t-il mis, à côté de la signature du fils de l'armurier de Schah-Abbas sa propre signature et la date de sa réparation, dont il pouvait être justement fier. Quelle est la lame de damas corroyé que l'on pourrait réparer ainsi ? »*

*Et il concluait toujours à la supériorité du damas de cristallisation. En étudiant avec lui sa collection de lames forgées de cette étoffe, j'étais forcé d'ailleurs d'admirer leur beauté, leur fini, et surtout leur aptitude à recevoir ce tranchant merveilleux qui permet aux sabreurs émérites de couper en deux, d'un seul coup, un foulard de soie jeté en l'air.*

*Moser au courant de mes recherches, sachant que je travaillais depuis longtemps à une étude sur «**la Forge des lames** », tant européennes qu'orientales, me proposa un jour d'y incorporer son dossier sur les damas. Mais ses documents, assemblés au hasard, au fur et à mesure de leur découverte, portaient presque tous beaucoup plus sur la métallurgie des damas que sur leur utilisation en armurerie. Je n'avais pas les connaissances nécessaires pour en tirer parti à ce point de vue ; **M. le Professeur Zschokke**, au contraire, **spécialisé dans l'étude de la métallurgie** qui n'a plus de secrets pour lui, était merveilleusement armé pour cela. Il avait déjà étudié au microscope et photographié à des agrandissements considérables les coupes de quelques lames persanes que Moser avait généreusement sacrifiées dans l'intérêt de la science, et la série de photographies ainsi obtenues n'était pas la partie la moins intéressante du dossier de Moser. Je pressai donc ce dernier de s'adresser plutôt à lui, ce à quoi il se résolut d'autant plus volontiers que telle avait été sa première inspiration. Le mémoire qui suit, résultat de l'étude faite en conséquence de celle décision fera faire un grand pas à la connaissance des damas orientaux ; M. Zschokke a pu déterminer, de façon précise, des points que ses devanciers n'avaient fait qu'entrevoir.*

***Ses conclusions sont que les lames de damas, tout en étant très remarquables, sont inférieures aux aciers que peuvent produire aujourd'hui les grandes aciéries.** Les usines de Solingen ont fourni à M. Zschokke deux lames de comparaison, l'une en damas corroyé, l'autre en acier pur, et leur étude comparative avec les lames de Moser a pu fournir des renseignements précieux.*

*Il est regrettable que les expériences de M. Zschokke n'aient pas porté en même temps sur des lames de criss malais, presque toujours corroyées avec un mélange d'acier et de fer météorique ; car c'est à ces lames, et non aux lames persanes, que s'appliquent les récits auxquels il fait allusion au sujet de lames forgées avec du fer météorique. La comparaison eut donné sans doute des résultats de haut intérêt, étant donnés les moyens puissants dont disposait l'auteur pour l'analyse et l'étude comparative des aciers et sa parfaite connaissance du sujet.*

*Une de ses conclusions, indiquant que la composition chimique du damas ne lui permet pas de recevoir une trempe très brusque qui le rendrait aigre et cassant rappelle une curieuse tradition orientale, celle de la trempe à l'air de certaines lames de damas. Sitôt après leur achèvement et quand elles étaient rouges encore, elles étaient, dit-on, emportées dans un galop furieux par un cavalier monté sur un cheval rapide. Ce mode de trempe très douce par un courant d'air, convenait probablement mieux pour les lames très riches en carbone et phosphore, qu'une trempe brusque dans de l'eau froide.*

*M. Zschokke conclut trop modestement que l'on ne sait pas tout sur le damas et qu'il reste encore des questions à élucider. Du moins sur les points qu'il a traités, analyse, étude microscopique, résistance à la rupture et à la flexion, plus ou moins grande tendance à s'érousser ou à s'ébrécher, **on peut dire qu'il a fait la lumière complète et définitive.***

*Si, sur d'autres points, le damas présente encore quelques particularités à signaler, c'est qu'on ne saurait l'étudier sans envisager le point de vue « arme » un peu laissé de côté par l'auteur. C'est comme étoffe à faire des lames de sabre que le damas a conquis sa réputation. Appliqué à tout autre chose il peut perdre sa supériorité, mais on ne peut séparer l'étude du damas de l'étude des lames et surtout de l'étude de la propriété qu'il présente de prendre **un tranchant extraordinaire**, supérieur à celui que peuvent recevoir d'autres aciers, fussent-ils meilleurs aux points de vue résistance, homogénéité, dureté, etc.*

*Cette propriété provient sans doute de l'inégalité de dureté des parcelles de métal qui se succèdent sur le fil du tranchant, inégalité qui produit un effet de scie imperceptible à l'œil et au toucher, mais qui à mon avis, constitue la principale qualité des aciers damassés au point de vue tout spécial de leur utilisation pour les lames de sabre.*

*Bien que M. Zschokke n'ait pas envisagé le point de vue particulier auquel nous nous plaçons, la propriété de recevoir un tranchant merveilleux, celle particularité de la structure du damas ne lui a pas échappé et il dit, en étudiant la plus ou moins grande tendance des lames de damas à s'ébrécher :*

*« On peut donc concevoir que, sur ce dernier point, les lames damassées grâce à la structure particulière de leur acier (enrobement de grains durs de métal dans une masse plus tendre), possèdent moins de tendance à s'ébrécher et ont l'avantage sur un acier trempé homogène ».*

*Mais la conséquence de cette structure particulière constatée par M. le Professeur Zschokke n'est pas seulement, comme il le dit, une moins grande tendance à s'ébrécher ; c'est encore, c'est surtout l'aptitude à recevoir ce tranchant si remarquable qui n'est comparable à aucun autre.*

**Le véritable secret du damas**, le voilà, et il est très remarquable que M. Zschokke l'ait trouvé, pour ainsi dire, sans le chercher, puisqu'il n'a pas étudié celle question du tranchant et n'a pas eu, par conséquent, à déduire les effets les plus importants de celle structure qu'il a cependant signalée. Cela prouve à quel point il a poussé ses recherches consciencieuses, et s'il avait étudié le damas non seulement dans sa contexture, mais dans son utilisation, il n'aurait rien laissé à dire à ceux qui voudront encore s'occuper de celle question.

*Il a d'ailleurs fait observer l'habileté des Orientaux dans la façon de scier en portant un coup de taille, habileté qui permet d'expliquer certains exploits qui paraissent fabuleux et sont cependant attestés de la façon la plus sérieuse. Il n'y a qu'un mot à ajouter à cette judicieuse observation, c'est que précisément, les Orientaux, en sciant dans le coup de taille, utilisent au maximum le tranchant tout spécial que le damas donne à leurs armes, tranchant dont, au reste, ils ne connaissent les propriétés que par empirisme, et sans s'être rendu compte de leur cause.*



## Du damassé et des lames de Damas

PAR M. LE PROFESSEUR B. ZSCHOKKE

Dans l'histoire du fer forgé, spécialement des qualités d'acier employées à la fabrication des armes blanches, il est un produit qui a joui d'une faveur particulièrement grande dès l'antiquité, puis pendant tout le moyen âge et jusqu'à ces derniers siècles, qui jouit même encore de cette faveur, c'est **l'acier dit damassé**.

Chaque fois qu'on rencontre une collection réputée armes historiques, l'attention est toujours spécialement attirée sur les armes dites damassées, production de plus en plus rare de l'art ancien de l'armurerie orientale. Celles-ci en effet, représentent un produit particulier de l'industrie de l'acier, non seulement par leur aspect extérieur, notamment un **dessin reconnaissable** à l'œil nu à la surface de l'acier et la **coloration bronzée** du métal, mais aussi, de l'avis presque unanime des amateurs et connaisseurs anciens et modernes d'armes, par l'extrême flexibilité et la grande résistance de ce métal à l'usure. Caractéristique qui lui confèrent des **propriétés élastiques incomparables** et impossibles à atteindre actuellement, de l'avis des spécialistes, dans l'armurerie moderne. Il ne faut donc pas s'étonner que le **secret** de fabrication de ces armes au sujet des propriétés desquelles une légende s'est formée au cours des siècles, a occupé à un haut degré, et depuis longtemps, les amateurs d'Orient comme les amateurs d'armes. De nombreuses recettes orientales, de même que les recettes des explorateurs européens, des Anglais notamment sur la fabrication de l'acier de Damas et des épées damassées ont été maintes fois relatées (*Histoire du fer au point de vue de la technique par le docteur Ludwig Beck, 2<sup>ème</sup> édition, pages 203 à 269*). Cependant, la plupart du temps, comme cela est souvent le cas, la question a été traitée de façon si inexacte et erronée du point de vue de nos connaissances techniques et scientifiques modernes, qu'il est souvent impossible d'en acquérir une idée absolument claire tant sur la nature des méthodes métallurgiques employées à la fabrication de l'acier damassé que sur les manipulations en usage pour transformer ce métal en lames fines par travail mécanique ultérieur. La plupart du temps les explorateurs qui ont rencontré l'occasion rare d'assister sur place à la fabrication des lames de Damas, ont manqué des connaissances chimiques et métallurgiques nécessaires pour suivre avec compétence les différentes phases de la préparation de l'acier de Damas et pour pouvoir tirer des conclusions fondées de leurs constatations et observations.

Ce n'est qu'au commencement et dans le cours du siècle dernier que nous rencontrons des hommes qualifiés par leur formation technique, leurs connaissances de spécialistes et leur renommée, pour élucider, du moins jusqu'à un certain point, **le secret de fabrication du vieil acier damassé oriental**. Ces hommes étaient également en situation de faire connaître les résultats de leurs recherches souvent pénibles et de très longue haleine, sous forme de rapports scientifiques à un large cercle d'intéressés. Le mérite principal des recherches de ce genre appartient sans conteste aux **savants russes** ; ceux-ci ont pu ouvrir la voie grâce à leur voisinage immédiat de l'Orient et à leur contact plus intime que celui des savants de l'Europe occidentale avec ce pays et ses populations (*Description of Indian and Oriental Armour par le Right Hon. Lord Egerton de Tatton M. A., Londres 1896.*). Avant tout autre, nous devons citer **l'ingénieur des Mines Major Général P. P. Anossow (1797-1851)**, qui dirigea longtemps les Forges et Manufactures d'Armes de Slatoust dans le Cau case ; il fit de l'étude de l'acier damassé le but de sa vie entière, principalement en vue d'obtenir un produit équivalent aux marques commerciales des Indes et de la Perse en utilisant les minerais sibériens et d'introduire en Europe l'acier damassé. Ses travaux dans ce domaine, poursuivis de 1828 à 1837, parurent traduits en allemand en l'année 1843, dans les «archives d'Erdmann pour les Sciences en Russie».

Quelques dizaines d'années plus tard, l'étude de l'acier damassé a été reprise, mais davantage du point de vue théorique et scientifique, par d'autres chercheurs russes, avant tout par le conseiller impérial professeur Dr Tschernoff (*Tschernoff. Du damassé, The Metallographist, 1899, n° 3.*), qui a rendu de si précieux services à la science métallurgique et plus tard par son élève **le capitaine d'artillerie de la Garde Russe N. T. Belaïew** (*N. T. Belaïew Du damassé, Saint-Pétersbourg, 1906*).

Les résultats de ces recherches sont consignés dans une série de publications remarquables parmi lesquelles il faut mentionner comme la plus importante et la plus complète le travail publié en 1909 par Belaïew (*N. T. Belaïew, répétiteur à l'Académie Michel d'Artillerie : « Cristallisation, structure et propriétés de l'acier refroidi lentement » Saint-Pétersbourg 1909 ; en outre « cristallisation des métaux » Londres 1923.*). Cette étude met à profit toutes les théories et recherches nouvelles du domaine de la métallographie microscopique, utilisables dans l'examen de la question de l'acier damassé.

En dehors des savants déjà nommés, nous devons rappeler également le sidérurgiste autrichien bien connu Cécil Chevalier von Schwarz ; celui-ci, dans le poste de directeur des Forges du Gouvernement britannique dans les Indes orientales, charge qu'il occupa plusieurs années, eut l'occasion d'étudier sur place l'industrie du fer encore pratiquée dans quelques localités des Indes à cette époque par les indigènes. Sur cette question ainsi que sur les gisements de minerais et l'industrie moderne du fer dans les Indes orientales, il a publié des communications de caractère technique et de lecture attrayante (*Sur l'industrie du fer et de l'acier dans les Indes Orientales par C. Chevalier de Schwarz, directeur des Forges du Gouvernement des Indes Britanniques. « Stahl and Eisen », année 1921, pages 209, 277, 337 et 391.*).

Si nous résumons les observations et les résultats expérimentaux des chercheurs ci-dessus mentionnés et d'une série d'autres, en tant qu'ils touchent au mode de fabrication et aux propriétés extérieures de l'acier damassé ; nous pouvons dire ce qui suit : Avant tout, il faut bien préciser que le vieil acier damassé véritable des Indes nommé « pulat » (en russe « **bulat** ») n'est aucunement de l'acier soudé, comme le fait supposé sa dénomination primitive et comme on l'admet encore fréquemment en Europe ; ce n'est donc pas un produit obtenu par mise en paquets ou enchevêtrement et soudage ultérieur de barres ou de fils d'acier doux et dur et dont les dessins sont produits par la coloration provenant de l'attaque des différents constituants du fer. Nous avons plutôt affaire, au contraire, à un acier fondu au creuset, régulier et dont la structure particulière résulte de phénomènes de cristallisation et de ségrégation.

#### **Anossov et Belaïew distinguent trois méthodes de préparation de l'acier damassé :**

1° La **méthode indienne** ou directe par laquelle l'acier est obtenu directement dans les creusets à partir des minerais réduits par addition de substances organiques (plantes) ;

2° La **méthode persane**, sorte de cémentation et de fusion simultanées ; du fer doux indien appelé « métal wootz » est forgé en barreaux qu'on coupe en morceaux, fondu ensuite et carburé dans des creusets par addition de graphite ou de composés végétaux ;

3° La **méthode par recuit**, dans laquelle un recuit prolongé au-dessous du rouge et à l'abri de l'air détermine toujours des modifications de structure qui donnent à l'acier l'aspect analogue au damassé.

Dans leurs expériences, Anossov et Belaïew ont opéré la plupart du temps d'après la seconde méthode ; pour l'obtention d'un produit irréprochable, ils ont posé les conditions suivantes d'expérience :

- a) Maximum de pureté du fer, du graphite et du fondant ;
- b) Emploi de types de fours permettant de maintenir constamment des températures élevées.
- c) Emploi de très hautes températures pour lesquelles la charge des creusets est complètement liquide.
- d) Longue durée de fusion et par-dessus tout très lent refroidissement du produit fondu dans le creuset même.

Comme on l'a déjà dit, on possède de très nombreuses données sur les moyens techniques extrêmement primitifs employés par les anciens Indiens dans la fabrication de l'acier fondu, ainsi que sur **les méthodes de travail** mêmes. C'est ainsi que Willinson écrit (*D'après Egerton page 57*) :

« Le minerai de fer, grossièrement pulvérisé, est chargé en couches alternant avec du charbon de bois dans des fours ou des creusets d'argile. Le charbon de bambou est préféré en raison de sa teneur en silice qui agit comme fondant. Le vent nécessaire est fourni par des soufflets en peau de chevreau ; la scorie commence à couler au bout d'une heure environ ; il n'est pas fait d'addition de fondants. L'opération est terminée en six heures environ. Le fer brut ainsi obtenu n'est jamais complètement fondu, il tombe cependant par son propre poids au fond du four ou les grains isolés s'agglomèrent. Dans cet état il est souvent forgeable ; on brise le four, on en retire la masse incandescente qu'on broie en petits morceaux pour la vendre sous cette forme au forgeron »

Le Dr Malcolmson (*D'après Egerton page 58.*) attribue l'excellente qualité du fer de Nirmal à un minerai qui est presque de l'oxyde noir (peroxyde) pur ; et il décrit dans les termes suivants la **fabrication de l'acier damassé** :

« Le minerai de fer est broyé, lavé et les plus gros morceaux sont fondus avec du charbon de bois dans de petits fours de 4 à 5 pieds de haut (1 m. 20 à 1 m. 50), 5 pieds de diamètre (1 m. 50), se réduisant à deux pieds (60 centimètres) au fond. Pour produire la température de fusion nécessaire, il existe aux quatre angles du four des soufflets en peau de bœuf, actionnés à la main. Par cette méthode, le fer est obtenu à l'état forgeable puis cassé en morceaux pesant environ une livre. Suivant sa destination, le fer pour être transformé en acier est placé dans des creusets de dimensions diverses, en y ajoutant des branches sèches de teck ou du charbon de bambou, ainsi que quelques feuilles vertes de diverses plantes (par exemple, *cassia auriculata*) ; dans la pensée des indigènes, cette dernière addition aurait une influence favorable sur la qualité de l'acier. Dans les fours à creusets chauffés au charbon de bois, le feu est entretenu pendant 25 heures ; les creusets sont ensuite refroidis très lentement dans le four afin que puissent se développer les phénomènes de cristallisation nécessaires à l'apparition du damassé («jauhar »). Après refroidissement, on trouve dans le creuset un culot dur d'environ 1 livre et demie (680 grammes). Ce culot est recouvert d'argile et recuit au four durant 12 à 16 heures, puis retiré, refroidi, et la même série d'opérations est répétée trois à quatre fois jusqu'à ce que le métal soit suffisamment doux pour pouvoir se travailler. Une épée est ordinairement faite de deux lames forgées en barres puis soudées ensemble. Les dessins du damassé («jauhar ») sont généralement régulièrement distribués sur toute la lame ; cependant, sur les lames de grand prix, on trouve une bande horizontale ou oblique s'étendant transversalement à intervalles de 1 à 2 pouces (25 à 50 mm.) et désignée sous le nom «d'échelle de Mahomet ».

Il semble donc, d'après la dernière description, que la fabrication de l'acier damassé comporte un procédé de soudage ; remarquons accessoirement que, d'après diverses sources, de l'acier damassé réellement soudé a été également fabriqué aux Indes pour la manufacture de canons de fusils notamment ; cependant il semble également résulter des expériences déjà citées d'Anossow et de Belaïew, et cela avec une sûreté indubitable, **que le véritable damassé oriental soit obtenu simplement par fusion**. Le métal obtenu, par ce procédé lentement solidifié et refroidi sous une couche de scorie, présente, suivant les conditions, de fabrication, un dessin superficiel radial, plus ou moins fortement marqué et provenant de la cristallisation primaire (octaédrique) du métal (Belaïew, qui a fait 10 coulées d'essai de ce genre pour ses études a toujours obtenu ces dessins - voir son second ouvrage). Suivant les localités, c'est-à-dire suivant les minerais et les méthodes particulières de travail, les régules ainsi obtenus (métal Wootz) jouissent d'une renommée très différente. Les principaux districts dans lesquels on produit encore partiellement aujourd'hui de l'acier wootz sont, suivant les indications de Beck, Salem, sur la côte de Coromandel, et la région montagneuse de ?outsch sur la côte ouest. Schwartz cite comme localité particulièrement réputée, Kona Samunnum près de Nirmal province de Heyderabad et en second lieu, Mysore. Chose particulièrement remarquable, les lingots d'acier wootz fabriqués dans les localités les plus diverses des Indes, n'étaient pas transformés dans le pays même ; les objets finis, principalement les poignards, couteaux et lames de sabres, étaient travaillés à l'étranger, pour la plupart en Perse, pays qui tenait le premier rang parmi les peuples orientaux pour son industrie des armes forgées. D'après Schwarz, le métal brut de grand prix était transporté sur des chemins longs et difficiles, par des marchands persans d'Ispahan ; ce transport se faisait à dos de mulets, à travers les Indes centrales, le Punjab, l'Afghanistan, vers les pays de l'Asie Occidentale pour que le métal y soit forgé en armes. Ce métal s'en allait vraisemblablement aussi vers Damas ; d'où la désignation d'acier damassé, apportée soit par les Croisés, soit par les relations commerciales de négociants Européens avec le Levant

Si, d'après ce que nous avons dit jusqu'ici, nous possédons des données assez étendues sur la fabrication du métal brut des lames damassées (les lingots wootz) en revanche, sur la fabrication même des lames, la documentation apparaît assez incomplète. D'après les commentaires écrits d'Anosow, le forgeage des lingots en lames finies s'effectuait lentement et surtout avec précaution sous des martinets de poids relativement faible et en plusieurs chaudes.

Suivant Tschernoff, spécialement pour la fabrication du damassé à échelles identiques à l'échelle de Mahomet mentionnée plus haut, le lingot wootz, percé en son milieu, était ensuite fendu radialement comme l'indique la figure 3 et étiré. Les dessins rayonnants, visibles à la surface du lingot et ramifiés transversalement, se retrouvaient sur la lame finie, pourvu que les conditions de température fussent correctement maintenues, et apparaissaient sous forme de rayures transversales, figure 4.

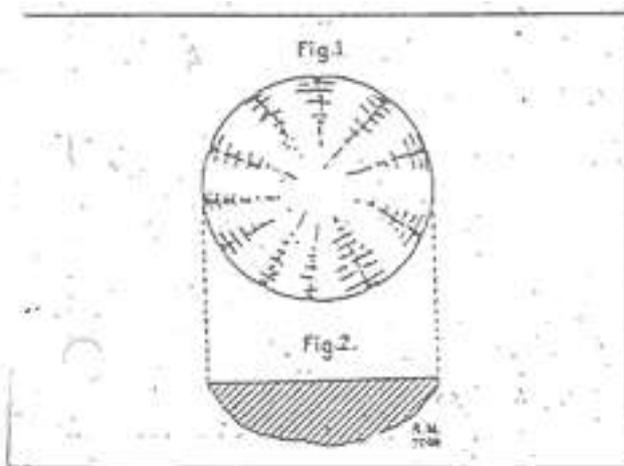


Fig. 1 et 2. — Coupes d'un lingot d'acier Wootz.

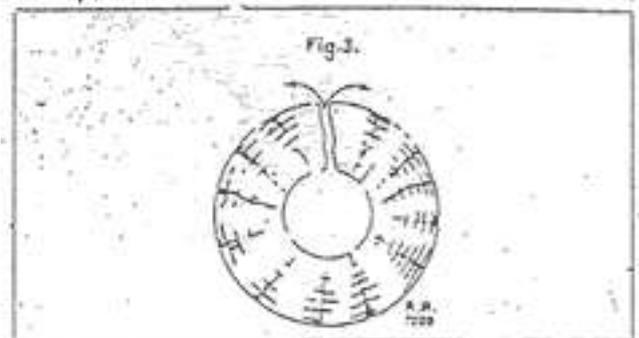


Fig. 3. — Lingot Wootz percé et fendu pour la confection d'une lame.

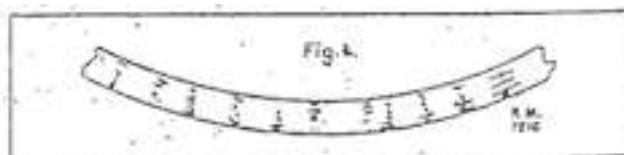


Fig. 4. — Lame montrant les rayures transversales provenant du lingot initial.

De tous les rapports relatifs au forgeage des lames damassées, notamment des rapports d'Anossow qui, sur cette question, doit être considéré comme l'auteur le plus sûr et le plus précis, il ressort unanimement que l'opération du forgeage présente un facteur important pour la production de lames de valeur ; **ce forgeage doit, avant tout, se faire à une température relativement basse**, c'est-à-dire à une température approchant et en tout cas ne dépassant pas le rouge « parce qu'à température plus élevée le métal se brise sous le marteau et surtout le damasquinage disparaît ».

Remarquons en passant que la première partie de cette assertion s'applique également aujourd'hui sans conteste, à tout acier fondu homogène à haute teneur en carbone ; quant à la seconde partie, elle s'explique d'elle-même, comme nous le verrons plus loin, par le diagramme d'équilibre des alliages fer-carbone.

Les lames damassées doivent, au dire de tous les rapports, être également trempées et revenues ; nous reviendrons plus loin sur ce point également. A la forme, aux dimensions et à la disposition du damasquinage à la surface des lames est attachée la plus grande importance et la qualité de la lame en découle ; **le damasquinage est provoqué par attaque de la lame polie au moyen d'acides dilués ou de solutions salines**. On emploie fréquemment pour cela une solution d'un minéral qu'on rencontre aux Indes et dénommé «zag » ; sur la composition et les propriétés de ce minéral, nous nous étendrons davantage plus loin.

En général, un damasquinage est d'autant meilleur et de plus de valeur que le dessin des diverses bandes est plus gros en même temps que plus contourné et entrelacé.

Se basant sur ces signes extérieurs, Anossow a essayé d'établir une **classification des aciers damassés** et les a répartis suivant les groupes ci-après (*De l'acier damassé, rapport sur l'état de la question, par E. von Lenz, conseiller d'état Impérial de Russie à Saint-Pétersbourg. Zeitschr. f. histor. Waffenkunde, t. IV, n° 5, pages 132-142.*) ;

- 1° Damasquinage en bandes dans lequel le dessin se compose principalement de bandes rectilignes ;
- 2° Damasquinage ondé dans lequel les lignes droites sont plus courtes et mélangées de courbures ;
- 3° Damasquinage ondulé à lignes courbes prépondérantes avec apparition de lignes brisées et de points ;
- 4° Damasquinage en réseaux, présentant un dessin ressemblant à un filet divisé par des bandes imitant le tissu qui court dans toutes les directions et en se reliant aux autres, forment en quelque sorte un autre réseau ;
- 5 ° Damasquinage en échelons : la structure en réseau s'étend presque à toute la surface de la lame et la divise en zones à peu près égales assez nettement distinctes.

Il est superflu de dire que toutes ces désignations n'ont qu'une valeur relative, qu'il existe des types de transition entre un groupe et un autre et qu'il est absolument impossible d'établir d'après cette subdivision, une classification rigoureuse et typique de diverses lames.

D'autres chercheurs se sont laissé guider, dans l'appréciation des lames damasquinées, plus par la couleur ou par les désignations géographiques. On trouve ainsi des désignations de localités qui souvent caractérisent les lames ; ces localités se sont conquis un nom grâce à des marques de fabrique particulièrement réputées. Je m'abstiendrai ici de reproduire toutes ces nombreuses expressions persanes, d'autant plus que leur importance est encore assez obscure, pour partie, et qu'elles sont d'intérêt secondaire pour les considérations qui vont suivre.

Lorsqu'on parcourt la littérature aussi bien ancienne que moderne sur l'acier damassé, on constate avec étonnement l'oubli d'un point qui me paraît être le nœud de la question. **Les propriétés techniques du véritable acier de Damas ancien sont-elles réellement si remarquables et surpassent-elles tout ce qu'est en état de produire aujourd'hui dans ce domaine la technique de la métallurgie de l'acier et de l'armurerie ?**

Je n'ai trouvé nulle part une réponse à cette question qui fût basée sur des expériences scientifiques.

Quand Anossov écrit qu'une lame en bon acier damassé, correctement affilée et trempée de façon experte, ne peut être ni brisée, ni pliée au point de perdre son élasticité, qu'elle ne casse pas quand on la plie à 90° et même qu'elle conserve son élasticité lorsqu'on la redresse ensuite, ce sont là des données très incomplètes et générales qui pouvaient peut-être suffire il y a 70 ans à l'appréciation d'une arme ; mais, à une époque où les essais de matériaux et spécialement la connaissance de la constitution chimique, de la microstructure et des propriétés physiques et mécaniques des métaux ont atteint un si haut degré de perfection, ces données primitives ne sauraient plus être considérées comme suffisantes, et de beaucoup, pour caractériser les propriétés techniques d'un métal.

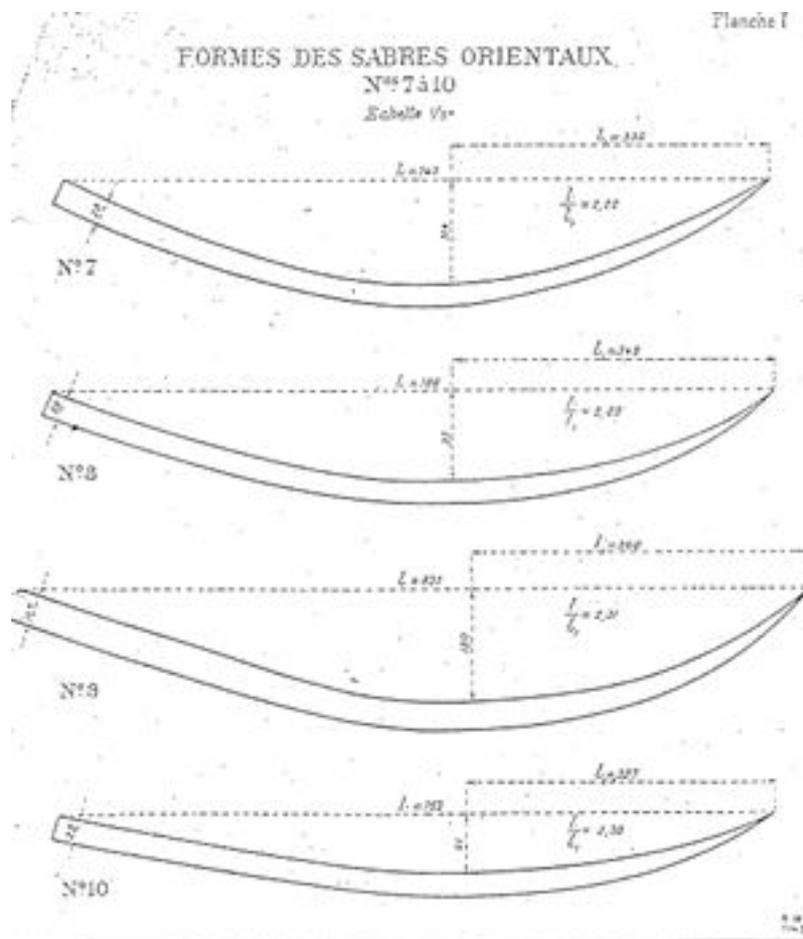
Il faut donc s'étonner du manque total de données sur des essais modernes de véritables lames de Damas. Vraisemblablement, ce phénomène s'explique si l'on considère que les lames damassées sont précisément des articles relativement rares et coûteux et que les heureux possesseurs de ces objets ou même de collections entières, ne témoignent d'aucune joie à la pensée de sacrifier à des expériences techniques, leurs pièces de musée acquises souvent à prix d'or.

C'est donc un grand bonheur que M. Henri Moser, châtelain de Charlottenfels, près Schaffouse (Suisse), à qui son long séjour en Asie Centrale et en Perse a permis de rassembler une collection d'armes orientales comptant plus de **2000 lames damassées** et pouvant rivaliser par la richesse et la rareté des pièces avec la collection du British Museum de Londres, que M. Moser, disons-nous, se soit décidé dans l'intérêt de la science, à sacrifier un certain nombre de ces lames pour qu'elles fussent étudiées des points de vue les plus variés, quant à leurs propriétés. Les résultats de ces recherches, exposés en détail ci-après sont si originaux et intéressants que les spécialistes les accueilleront certainement comme une contribution heureuse à la connaissance de l'acier damassé quoiqu'ils leur offriront bien des surprises sous beaucoup d'égards.

Pour mes expériences, six pièces au total, m'ont été confiées ; notamment deux poignards et quatre lames de sabres, sur le mode de fabrication et l'origine desquels il n'existe aucune donnée certaine. Il est clair que les résultats des essais de résistance et des analyses chimiques effectués sur ces lames ne peuvent être judicieusement appréciés que si on les rapproche des résultats analogues obtenus sur des sabres de fabrication moderne. Pour cette raison, on a adjoint à la présente étude, un acier fondu pour épée de fabrication moderne, homogène et de première qualité, ainsi qu'un acier damassé moderne (acier soudé doublé). Ces deux derniers spécimens ont été spécialement fabriqués dans ce but, sous forme de deux barres plates de 60 x 20 x 5 mm. par une manufacture d'armes bien connue de Solingen ; elles ont été mises très aimablement à la disposition de l'auteur pour ses expériences.

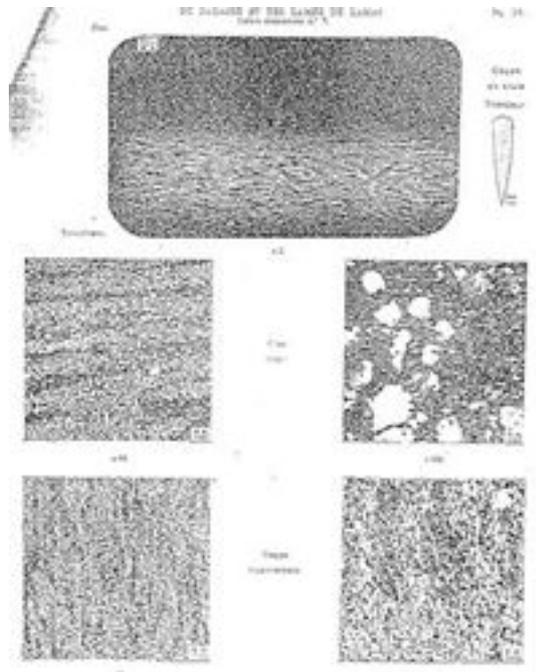
Avant d'aborder la discussion des résultats d'analyses chimiques et d'essais technologiques, nous devons brièvement exposer les caractéristiques extérieures des lames essayées. Les deux poignards (n° de référence 3 et 5), dont l'un était pourvu d'une poignée blanche en ivoire de morse, ne présentait rien de particulièrement caractéristique dans leur forme extérieure ; les lames sont larges, droites, les côtés complètement plats, sans gouttière, le dos bombé, les deux lames présentaient un damasquinage fort joli ; la lame n° 3, un damassé ondulé, très marqué, le numéro 5, un damasquinage en réseau ou en échelons. Les deux lames présentaient en outre la coloration brune, bronzée, commune à de nombreuses lames damassées.

Les quatre lames de sabres (n° de référence 7, 8, 9 et 10) présentaient toutes la forme typique du sabre oriental très courbe (planche I). Elles ne variaient pas dans de bien grandes limites comme longueur ni comme largeur ; la longueur en était comprise entre 747 et 837 mm., la largeur entre 28 et 34 mm. La forme de la courbure est caractéristique ; dans les numéros 7, 8 et 9, elle a une allure remarquablement régulière, son maximum étant, non pas au milieu, mais vers la pointe. Le rapport  $L/L_1$  de la longueur totale à la distance de la pointe à la base de la flèche maximum  $f$  est presque constant (2,22 à 2,31). Il ressort, de ce fait, que cette forme de courbure n'est nullement accidentelle, mais qu'au cours du temps et par la pratique on a élaboré une courbe d'allure parfaitement définie comme étant la plus judicieuse pour obtenir le maximum d'effet utile.

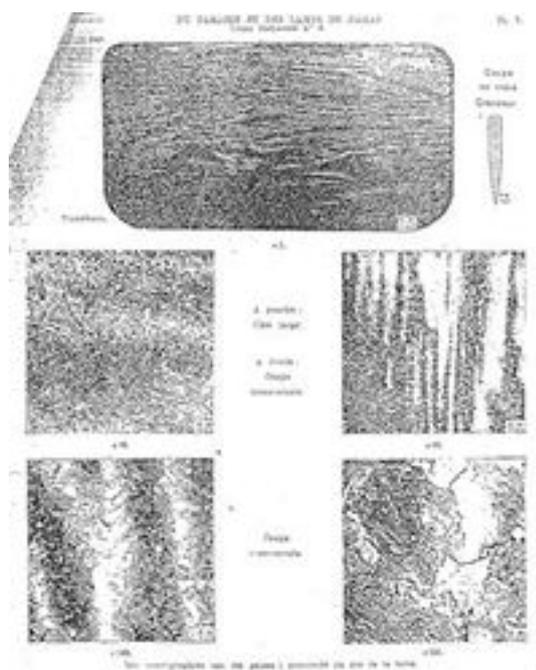


Dans leurs détails les quatre lames présentent encore les particularités suivantes :

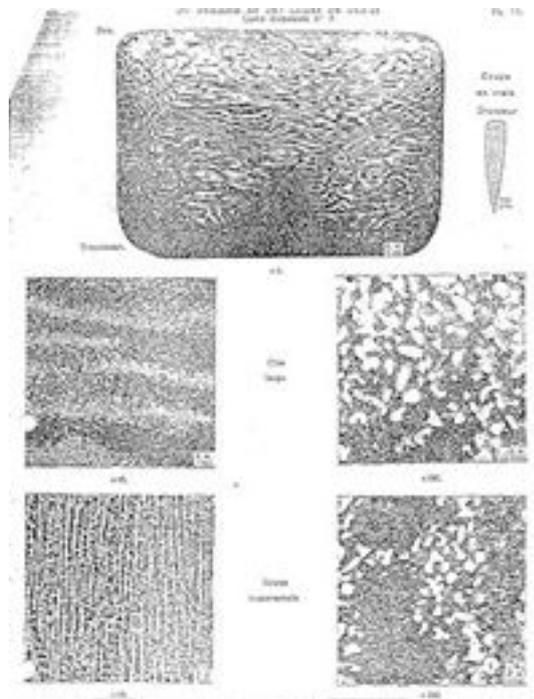
Le n° 7 offre un damasquinage relativement moins beau, qu'on peut classer d'après Anossow, dans la catégorie des damasquinages ondés (planche IV). Au choc du marteau d'acier, la lame rend un son très sourd.



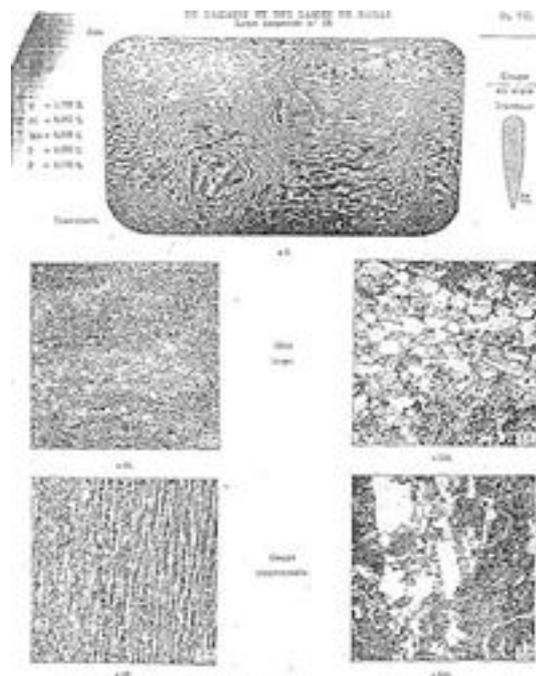
La lame n° 8 appartient au groupe du damasquinage ondé ou faiblement ondulé ; elle présente cependant, même à l'œil nu, sur le dos et le tranchant, une différence de coloration surprenante du dessin ; vers le dos, celui-ci est fondu et blanchâtre ; près du tranchant, il est noir (planche V). Sous le choc du marteau d'acier, la lame rend un son très beau et clair. Le côté large montre en gravure assez creuse, la signature d' « Assad Ullah », l'un des armuriers les plus réputés de son époque.



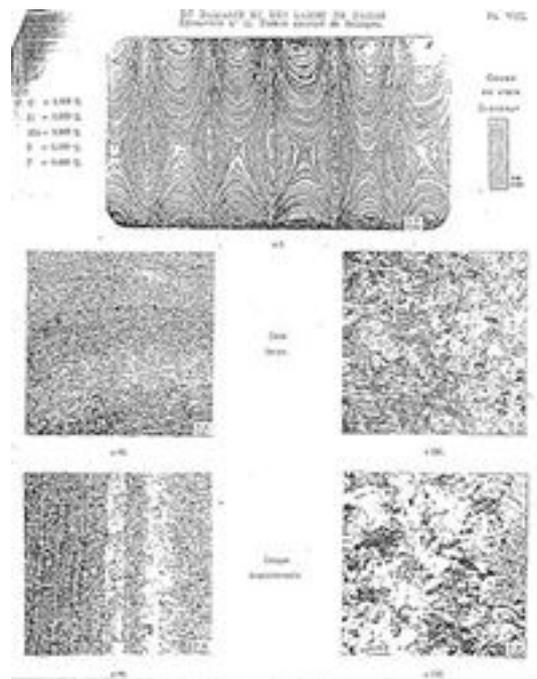
La lame n° 9, au contraire des deux précédentes, présente un damasquinage très vif avec de nombreux contours et volutes ; elle appartient toutefois au groupe du damasquinage en réseau ou en échelons (planche VI). Au dos de la lame, on peut voir plusieurs cavités d'environ quelques centimètres de longueur. Cette lame montre également d'une façon encore plus belle et plus nette, la signature d'Assad Ullah en lettres d'or ; le son est clair.



La lame n° 10 montre un magnifique damasquinage, le plus beau et le plus précieux des quatre. Au dos de la lame, sont visibles quelques coutures (cavités). Le son de la lame est étonnamment mat (planche VII).

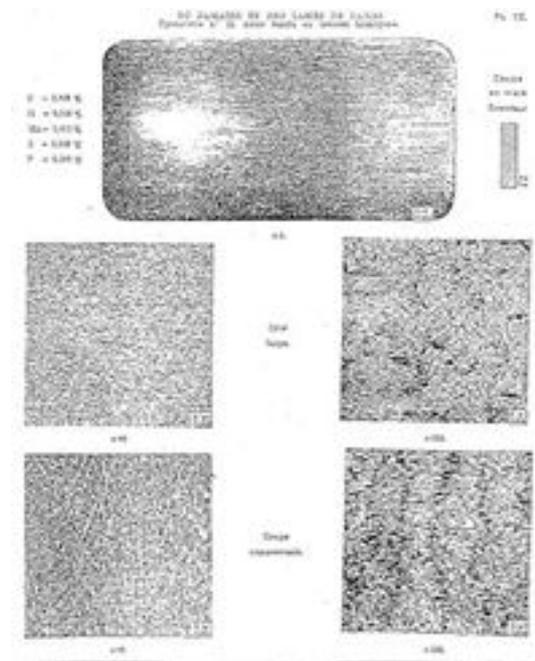


L'éprouvette n° 11, en damassé de Solingen, montre les dessins caractéristiques du damassé soudé. Les damassés ainsi produits par soudure de diverses sortes de fer, doublage et attaque se différencient cependant des damassés fondus indiens au premier coup d'œil (planche VIII). Les premiers possèdent un damasquinage qui, s'il varie d'une lame à l'autre, offre pour une même lame le même dessin se répétant à de courts intervalles avec une régularité géométrique ; au contraire, dans les damassés fondus, l'œil d'un connaisseur un tant soit peu exercé distingue immédiatement que le dessin a été produit naturellement par des phénomènes de cristallisation et de ségrégation et que l'originalité naturelle de ce dessin n'a subi aucune altération notable par le forgeage ultérieur du lingot brut d'acier «wootz».



Les lames de sabre en damassé soudé ne sont d'ailleurs demandées aujourd'hui encore que très rarement par des amateurs, pour des sabres de luxe, des épées d'honneur, etc. ; elles sont fabriquées de façon très soignée dans quelques centres d'armurerie par des spécialistes particulièrement artistes. C'est ainsi qu'à Solingen et dans les environs, par exemple ; siège le plus réputé de toute ancienneté de l'industrie allemande pour la coutellerie et les armes blanches, il existe encore quelques fabriques d'armes qui, à titre privé et sur commande confectionnent de telles lames dans les dessins les plus variés sur catalogues spéciaux. L'art de la fabrication du damassé soudé se transmet dans ces familles de génération en génération ; le travail s'effectue à la maison en gardant jalousement les secrets de fabrication et en s'abstenant complètement de publicité ; ainsi, rien de certain ne parvient au public sur les particularités de cette fabrication. L'éprouvette n° 11 est un produit de ce genre.

L'éprouvette n° 12 ne présente naturellement aucune particularité extérieure puisqu'il s'agit d'une éprouvette d'essais en acier fondu au creuset homogène (planche IX)



Pour l'étude technique des lames ci-dessus énumérées, ainsi que des éprouvettes, on a adopté les méthodes d'essais suivantes :

- 1° Analyse chimique complète, qualitative et quantitative ;
- 2° Essais de Pliage et de dureté ;
- 3° Examen micrographique sur la face et en coupe dans l'état initial et après recuit.

Dans l'établissement du programme d'essais à mettre en œuvre, il fallait naturellement tenir compte quantités minimales de métal dont on disposait et la forme particulière sous laquelle elles se présentaient. Le métal des deux poignards a juste suffi aux analyses chimiques. Avec les quatre lames de sabres, il a été possible, en outre des analyses chimiques, d'effectuer encore des essais de pliage mais non des essais de traction ; la forte courbure des lames n'a pas permis le prélèvement d'éprouvettes suffisamment longues pour la détermination de la limite élastique, de la résistance à la traction, de la striction et de l'allongement. En conséquence, de chaque lame, on a prélevé sur le dos, d'abord trois éprouvettes de 75 mm. de longueur et 6 x 3,5 mm. de section ; ce qui a été un travail assez pénible étant donné qu'on avait affaire à un métal relativement dur dont les propriétés mécaniques ne devaient pas être modifiées par un recuit préalable Il s'agissait ensuite de déterminer si, pour ces petites éprouvettes on pourrait plus avantageusement adopter un essai au choc sur barreaux entaillés ou un essai de pliage statique, éventuellement aussi, un essai d'usure.

Dans leur emploi pratique, les lames travaillent tantôt au choc, mais tantôt aussi à l'usure dans le travail de coupe.

Pour l'exécution de l'essai au choc qui donne simplement une mesure de la plus ou moins grande fragilité d'un métal, on pouvait envisager les méthodes suivantes :

D'une part, la détermination du chiffre de pliage suivant Heyn (dans cet essai, l'éprouvette entaillée au milieu est serrée dans un étai, pliée à 90° par de légers et réguliers coups de marteau, puis redressée par serrage entre les mâchoires de l'étai, pliée à nouveau à 90° de la même manière qui vient d'être décrite, etc... Le nombre de pliages simples à 90° réalisés jusqu'à la rupture est le chiffre de résistance au pliage) (fig. 5).

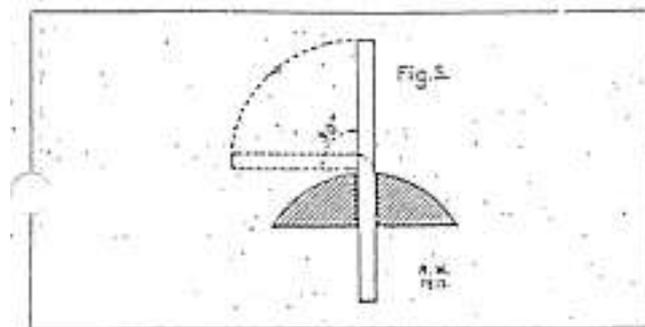


Fig. 5. — Essai de pliage suivant Heyn.

Cette méthode convient parfaitement à des métaux doux et ductiles, mais non pas à l'acier dur, ainsi que l'on montré quelques essais. Avec ce métal, les éprouvettes se brisent violemment sans qu'il se produise auparavant de flexion permanente appréciable.

Une seconde méthode consiste à mesurer le travail au choc nécessaire à la rupture des éprouvettes (Par exemple, avec le mouton Guillery, un petit pendule Charpy, etc ... ). Ces deux méthodes ne nous auraient également donné de renseignements que sur la fragilité du métal essayé. C'est pourquoi nous avons préféré effectuer sur les éprouvettes mentionnées non entaillées, le simple essai statique à la flexion. Les essais ont été effectués sur la machine Amsler d'essais de la fonte à la flexion, au Laboratoire Fédéral d'Essais des Matériaux ; les éprouvettes, reposant sur des appuis à l'écartement de 5 centimètres, ont été chargées jusqu'à rupture à l'aide d'un couteau à tranchant arrondi au rayon de 3 mm. Le diagramme d'essai a été enregistré automatiquement (fi. 6).

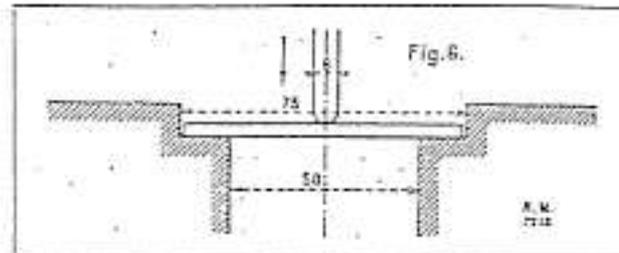


Fig. 6. — Essai au choc.

Une fois l'essai de flexion opéré, les extrémités de chaque éprouvette ont été polies sur une face et soumises à l'essai de dureté Brinell. Si désirable qu'il eut été de déterminer également la résistance à l'usure des divers aciers et spécialement des tranchants, on a dû s'abstenir de cette détermination, car il n'existe pas à l'heure actuelle de méthode scientifique irréprochable pour déterminer la résistance à l'usure des métaux en général et des couteaux ou tranchants de sabres en particulier.

Les résultats des analyses chimiques effectués par le chimiste en chef du Laboratoire Fédéral d'Essais des Matériaux, ainsi que les résultats d'essais de flexion et de dureté sont résumés dans les tableaux ci-après. Les planches X, XI et XII reproduisent en outre les diagrammes correspondant aux essais de pliage.

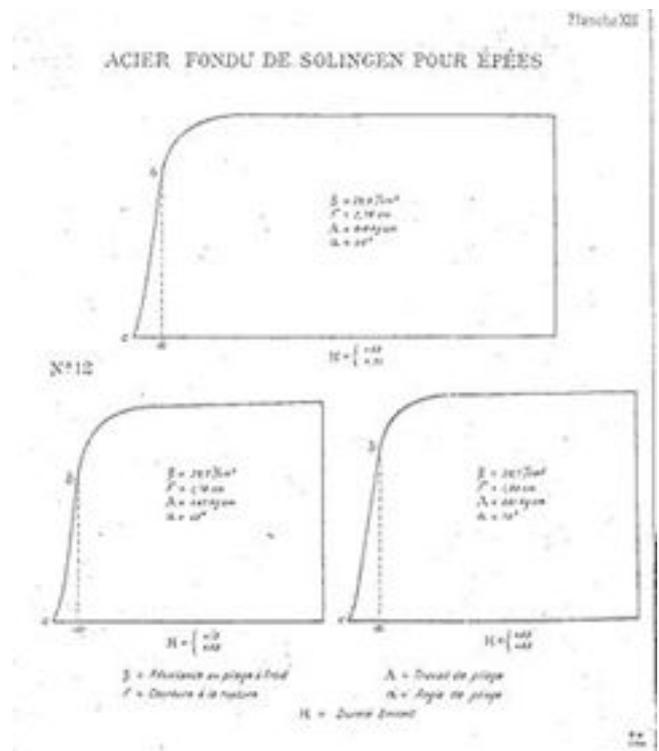
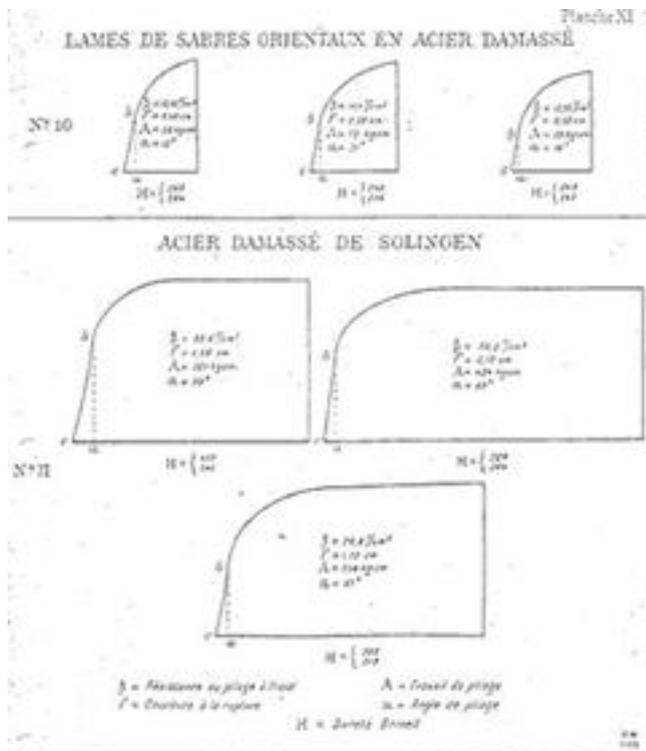
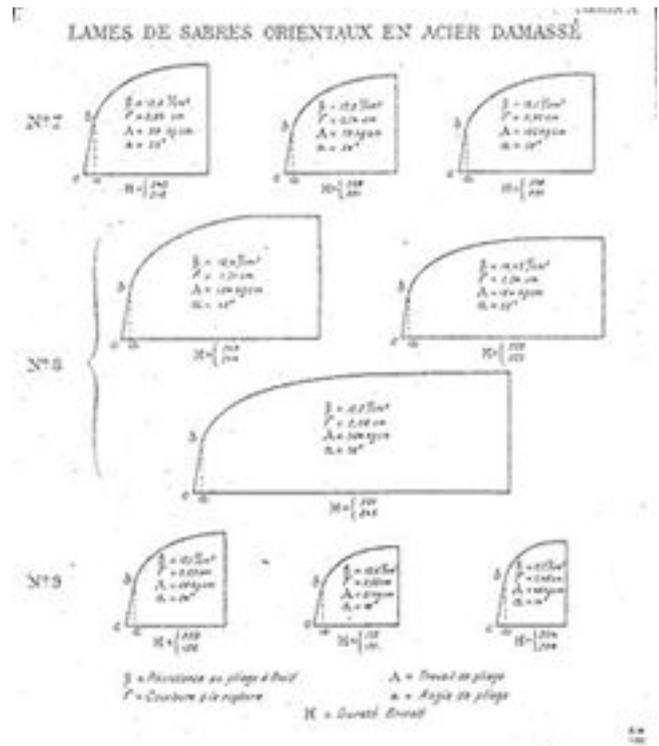
Tableau 2. — Essai à la flexion à froid

N° de l'échantillon	Dimensions de l'éprouvette		Moment Maximal W (kg-cm)	Déformations à la flexion			Flèche finale (mm)	Travail de flexion à la rupture		Angle de flexion à la rupture	
	Largeur (cm)	Épaisseur (cm)		à l'origine	à 1/2	Maximal		Observé	Maximal	Observé	Maximal
1	4,50	0,30	0,012	0,05	12,5	11,4	0,25	90	90	10°	10°
	4,50	0,30	0,012	0,05	13,5	11,4	0,25	90	90	10°	10°
	4,50	0,30	0,012	0,05	13,5	11,4	0,25	90	90	10°	10°
2	4,50	0,30	0,012	0,05	12,5	11,4	0,25	90	90	10°	10°
	4,50	0,30	0,012	0,05	13,5	11,4	0,25	90	90	10°	10°
	4,50	0,30	0,012	0,05	13,5	11,4	0,25	90	90	10°	10°
3	4,50	0,30	0,012	0,05	12,5	11,4	0,25	90	90	10°	10°
	4,50	0,30	0,012	0,05	13,5	11,4	0,25	90	90	10°	10°
	4,50	0,30	0,012	0,05	13,5	11,4	0,25	90	90	10°	10°
4	4,50	0,30	0,012	0,05	12,5	11,4	0,25	90	90	10°	10°
	4,50	0,30	0,012	0,05	13,5	11,4	0,25	90	90	10°	10°
	4,50	0,30	0,012	0,05	13,5	11,4	0,25	90	90	10°	10°
5	4,50	0,30	0,012	0,05	12,5	11,4	0,25	90	90	10°	10°
	4,50	0,30	0,012	0,05	13,5	11,4	0,25	90	90	10°	10°
	4,50	0,30	0,012	0,05	13,5	11,4	0,25	90	90	10°	10°

TABLEAU C. - ÉLÉMENTS DE L'ÉPÉE EN ACIER DAMASSÉ

Dimensions de la lame en mm. Choix de la taille de la lame

N° de lame	N° de lame	Dimensions		Surface de la lame en cm <sup>2</sup>	Surface de la pointe en cm <sup>2</sup>
		Longueur	Largeur		
1	1	1.00	0.10	0.10	0.01
	2	1.20	0.12	0.144	0.0144
	3	1.40	0.14	0.196	0.0196
2	4	1.60	0.16	0.256	0.0256
	5	1.80	0.18	0.324	0.0324
	6	2.00	0.20	0.400	0.0400
3	7	2.20	0.22	0.484	0.0484
	8	2.40	0.24	0.576	0.0576
	9	2.60	0.26	0.676	0.0676
4	10	2.80	0.28	0.784	0.0784
	11	3.00	0.30	0.900	0.0900
	12	3.20	0.32	1.024	0.1024
5	13	3.40	0.34	1.156	0.1156
	14	3.60	0.36	1.296	0.1296
	15	3.80	0.38	1.444	0.1444
6	16	4.00	0.40	1.600	0.1600
	17	4.20	0.42	1.764	0.1764
	18	4.40	0.44	1.936	0.1936
7	19	4.60	0.46	2.116	0.2116
	20	4.80	0.48	2.304	0.2304
	21	5.00	0.50	2.500	0.2500
8	22	5.20	0.52	2.704	0.2704
	23	5.40	0.54	2.916	0.2916
	24	5.60	0.56	3.136	0.3136
9	25	5.80	0.58	3.364	0.3364
	26	6.00	0.60	3.600	0.3600
	27	6.20	0.62	3.844	0.3844
10	28	6.40	0.64	4.096	0.4096
	29	6.60	0.66	4.356	0.4356
	30	6.80	0.68	4.624	0.4624



Si nous considérons d'abord les résultats, des essais mécaniques, notamment des essais de flexion à froid et de dureté, nous sommes immédiatement frappés par les valeurs relativement très élevées fournies par les lames 11 et 12 comparativement aux lames 7, 8, 9 et 10. La différence est surprenante et porte absolument sur tous les chiffres : résistance à la flexion, angle de flexion, travail de flexion et dureté. Les d'eux lames 11 et 12 sont donc, non seulement plus flexibles, mais en même temps, plus résistantes (plus dures) que les vieilles lames de Damas, en un mot, notablement plus tenaces. Cette constatation concorde d'ailleurs avec une remarque d' Egerton, qui écrit dans son ouvrage (page 57) :

« ...par conséquent, l'acier indien n'a jamais atteint l'acier européen au point de vue de la résistance et de la flexibilité ; il est soit trop cassant, comme les lames fortement trempées, soit trop doux et trop flexible comme quelques lames employées dans le sud des Indes ».

Bien que les limites d'allongement proportionnel et d'élasticité des matériaux essayés n'aient pu être exactement chiffrées à l'aide de l'appareil employé aux essais de flexion, elles sont mises en évidence de façon suffisamment nette sur les diagrammes (planches n : X, XI et XII) par les points des courbes marqués b. Les ordonnées a b qui représentent approximativement les valeurs de la limite de proportionnalité ainsi que les abscisses a c, qui correspondent à la flexion élastique, montrent de toute évidence que les lames 11 et 12 sont encore sensiblement supérieures aux vieilles lames damassées au point de vue de l'élasticité.

Comparons les valeurs des quatre lames damassées (n° 7, 8, 9, 10) entre elles ; le n° 8 fait nettement exception et se montre sensiblement supérieur aux trois autres lames, notamment au point de vue du travail à la flexion et de l'angle de flexion ; au contraire, les lames n° 7, 9 et 10 accusent entre elles relativement peu de différence. Comparons, d'autre part, les résultats des deux lames n° 11 et 12 ; la lame n° 12, acier fondu homogène, se montre de nouveau notablement meilleure en tous points que la lame n° 11 et cela de façon frappante.

Ces résultats très différents de l'opinion généralement régnante sur les propriétés mécaniques des aciers damassés ne peuvent nullement nous surprendre si nous en analysons les causes. Les propriétés mécaniques d'un métal dépendent, comme on sait, de sa composition chimique, d'une part, et, ensuite, de son traitement mécanique et thermique.

Considérons dans le tableau A les résultats de l'analyse chimique ; ils nous apparaissent assez étonnants, surtout au point de vue de la teneur en carbone des divers aciers.

Tableau A. - Analyses chimiques.

N° de référence de la lame	Désignation de la lame	Teneur % :					Teneur en % Cr et Ni	Ses teneurs par la lame
		C	Si	Mn	S	P		
7	Polpairet damassé	1,577	0,043	0,055	0,005	0,006	Trace	—
8	—	1,273	0,051	0,050	0,018	0,004	—	—
9	Sabre Oriental damassé	1,874	0,046	0,063	0,015	0,007	—	—
10	—	0,790	0,116	0,139	0,017	0,011	—	clair et beau
11	—	1,241	0,060	0,013	0,003	0,003	—	clair
12	Damas de Salanga (Indes, trempé)	0,768	0,080	0,010	0,000	0,000	—	clair
13	Acier fondu pour épée de Salanga	0,699	0,111	0,013	0,010	0,002	—	—

En général, on donne aujourd'hui aux aciers à outils et aux aciers d'armurerie, une teneur en carbone ne s'écartant pas beaucoup de la teneur eutectique de l'alliage fer-carbone (de 0,85 à 0,90 % C). On choisit cette proportion parce que, même avant trempe, le métal présente le maximum d'homogénéité avec une dureté moyenne, c'est-à-dire qu'il n'est constitué que par un seul élément, la perlite. Cependant, nous constatons que toutes les lames en acier damassé présentent une teneur en carbone très différente de celle de l'acier eutectique. Les lames n° 3, 5, 7, 9 et 10 ont une teneur en carbone (1,432 à 1,874 %) notablement plus élevée, la lame n° 8, par contre, une teneur sensiblement moindre (0,596 %). Déjà, la teneur anormalement élevée en carbone des lames 3, 5, 7, 9 et 10 est une raison de leurs propriétés mécaniques médiocres et spécialement de leur fragilité relative; cette propriété désagréable s'explique d'autant mieux par la teneur notable en phosphore qui varie de 0,108 à 0,252 %. Pareille teneur en phosphore, qu'on ne doit rencontrer aujourd'hui dans aucun acier fin, le maximum admis étant de 0,03 %, accroît sensiblement la fragilité d'un acier, notamment lorsqu'elle s'accompagne d'une teneur très élevée en carbone. La plus mauvaise, au point de vue de la teneur en phosphore, est la lame n° 8, avec 0,252 %, en sorte que cette haute teneur qui correspond à la moindre teneur en carbone compense pour une bonne part les propriétés mécaniques relativement meilleures de ce métal.

Par contre, en face des lames damassées, les deux lames n° 11 et 12 ne montrent que des teneurs de 0,02 et 0,045 % de phosphore. En ce qui concerne les autres éléments des lames damassées, leur très faible teneur générale en manganèse (0,005 à 0,159 %) est particulièrement étonnante ; on rencontre d'ailleurs le manganèse dans les aciers modernes, comme élément d'amélioration de la qualité et généralement en assez grande proportion (environ 0,20 à 0,50 %), soit qu'il se trouve déjà comme constituant accidentel des minerais, soit qu'on l'ajoute intentionnellement à l'acier. La teneur en soufre est extraordinairement faible dans toutes les lames damassées ; sous ce rapport, ces dernières sont absolument comparables aux lames modernes. Cet élément doit cependant être en aussi faible proportion parce que, dans le travail répété et intensif du métal au rouge sombre, zone de température la plus sensible pour les phénomènes de fragilité à chaud, une teneur anormale en soufre aurait déterminé irrémédiablement des fissurations.

La teneur en silicium est partout faible et ne donne lieu à aucune remarque spéciale.

Au contraire des lames damassées, les lames 11 et 12 présentent en général, une composition absolument normale. Leur teneur relativement faible en carbone est un peu étonnante ; dans la lame 12, elle est cependant compensée par une teneur assez élevée en manganèse (0,413 %) notamment aussi par la très haute teneur en silicium (0,518 %). Cette teneur en silicium n'est nullement étonnante et vraisemblablement voulue dans le but formel d'améliorer les qualités élastiques de l'acier. En fait, on fabrique des aciers au silicium spéciaux pour ressorts avec des teneurs de 0,5 à 2,5 % Si.

Il est remarquable, en outre, qu'on n'ait trouvé dans aucun des aciers damassés étudiés trace de métaux rares tels que nickel, chrome, tungstène, vanadium ou cobalt. Il faut donc exclure l'hypothèse de l'emploi à la fabrication de ces lames de fer météorique, comme l'on peut l'entendre dire encore déci, delà. Les lames, 11 et 12 ne présentent non plus aucune trace de métaux rares.

## ETUDES MÉTALLOGRAPHIQUES

Pour la détermination de la microstructure des diverses lames, on a examiné de petits échantillons pris aussi bien sur la face qu'en coupe transversale.

Les surfaces à examiner ont été polies de la façon ordinaire pour l'examen microscopique. Déjà, dans cette opération préparatoire, la dureté différente des divers constituants qui produisent le damasquinage, est nettement mise en évidence, un dessin blanc se formant en relief sur un fond plus sombre. Dans presque toutes les lames damassées examinées, l'absence presque totale de pores et d'inclusions ou scories est très remarquable. A cet égard, les lames étudiées valent les aciers modernes, sauf le numéro xx qui, seul, présente par places des impuretés. Les réactifs d'attaque usuels pour faire apparaître la texture du métal, teinture d'iode, solution alcoolique d'acide picrique, solution ammoniacale de chlorure de cuivre, solution alcoolique d'acide chlorhydrique n'ont pas donné des résultats très satisfaisants, l'échantillon poli se trouvant presque toujours recouvert d'un voile blanchâtre. Au contraire, on a obtenu des images pures et claires à l'aide d'acide nitrique à 1.200 malgré l'a dilution considérable de l'acide, il a suffi d'une attaque de deux à trois secondes seulement. Le même réactif convient très bien pour l'examen microscopique ; les plus gros échantillons de lames traités à cet effet présentaient notamment aussi l'éclat brun bronzé recherché dans les lames damassées.

A cette occasion, on a également étudié de près le **minéral appelé « Zag »** déjà mentionné et fréquemment employé comme corrosif par les armuriers orientaux, minéral dont j'avais 100 grammes environ à ma disposition. Ce corps se présente comme une roche compacte à cassure cristalline, à grain fin lorsqu'elle est fraîche, de couleur jaune citron et de saveur métallique. L'analyse chimique. donne les résultats suivants :

	%
Gangue	14,80
Alumine (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,18
Sulfate de fer (Fe S 04 + 7 H <sub>3</sub> O)	17,67
Oxyde de fer (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1,70
Sulfate ferreux (Fe (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> + 9 H <sub>2</sub> O)	52,32
Sulfite de calcium (CaS 04)	6,45
Magnésie (Mg 0)	2,03
Eau	3,43
Alcalis (par différence)	1,42
	100,00

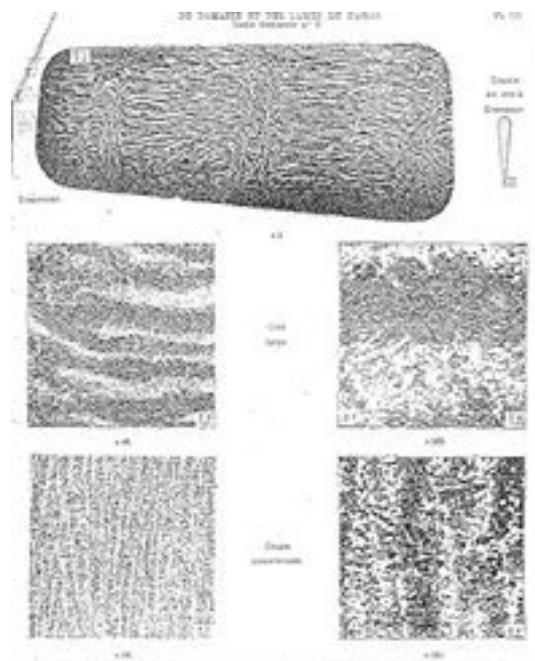
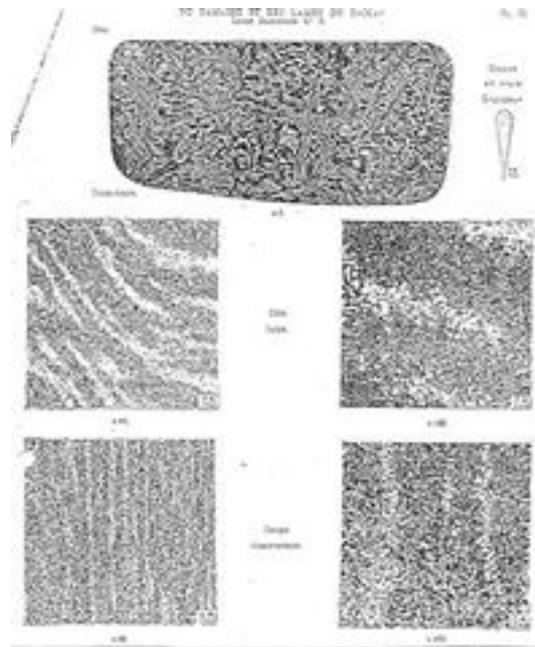
Au point de vue qualitatif, cette analyse concorde avec une autre faite en 1884, à l'Ecole Nationale des Mines de Paris et qui a donné les résultats reproduits dans le tableau ci-après (*Voir Mémoire sur la fabrication de l'acier fondu et damassé, par le duc de Luynes, membre de l'Institut*).

Ainsi qu'on le voit, ce minéral se compose pour une grande partie, de sulfate de fer ; selon toute vraisemblance, c'est le produit de la décomposition d'une roche initiale pyriteuse dans laquelle la pyrite (bisulfure, de fer) s'est oxydée avec le temps en passant à l'état de sulfate ferrique soluble dans l'eau. Etant donné le caractère acide du sulfate de fer, il est compréhensible que les anciennes manufactures d'armes aient employé une solution aqueuse de ce minéral pour l'attaque des lames damassées.

	%
Argile avec grains de quartz	46,60
Oxyde de fer	14,00
Chaux	0,80
Magnésium	2,00
Acide chlorhydrique	0,08
Acide sulfurique	18,90
Eau et traces d'acide carbonique (par différence)	17,56
	100,00

Il faut pourtant remarquer que dans des essais parallèles faits avec l'extrait de « Zag », une solution de sulfate de fer à 10 % dans l'eau et une solution d'acide nitrique à 1/2 % ce dernier réactif a donné également les meilleurs résultats.

Les résultats de l'examen micrographique des divers échantillons de lames concordent parfaitement avec ceux de l'analyse chimique ainsi qu'il fallait s'y attendre. Partout, nous trouvons une masse sombre de caractère perlitique ou sorbitique, à côté d'un second constituant blanc qui, dans les lames 3, 5, 7, 9 et 10 à teneur hypereutectique en carbone, est composée de cémentite et dans la lame 8, au contraire, de ferrite. Cependant, ce qui distingue la microstructure des lames damassées de celles des autres aciers de composition chimique analogue et particulièrement de teneur en carbone équivalente, c'est la structure et la disposition des deux constituants. Tandis que, par ailleurs, dans les aciers hypereutectiques à environ 1,5 % de carbone comme dans nos exemples, la cémentite en excès existe sous forme de longues aiguilles cristallines blanches, noyées dans une masse perlitique grise sans aucune régularité, dans les lames damassées, comme le montrent notamment les micrographies à forts grossissements (x 160 et 550) elle forme des amas plutôt ronds ou des grains (globulites) groupés en amas caractéristiques qui s'étalent en bandes. Ces bandes ne sont cependant pas rectilignes ; elles forment de multiples enroulements et empruntent leur structure à la macrostructure typique, bien connue des vieux aciers damassés authentiques ; cela est nettement visible sur les planches II à VII.



Cette constatation soulevait immédiatement deux questions :

1° Quels phénomènes ont provoqué dans l'acier damassé cette structure grenue anormale de la cémentite libre hypereutectique ?

2° Quels autres phénomènes ou traitements ont déterminé le groupement typique de ces amas de cémentite sous forme de bandes ondulées ?

Tel est le nœud de tout le problème de l'acier damassé, sur lequel malheureusement ni les recherches faites jusqu'ici, ni le présent travail, dirons-nous en anticipant, n'apportent encore, la clarté suffisante.

Sur le premier point, il faut remarquer que pour obtenir à l'état le plus grand possible de division la cémentite hypereutectoïde, il est nécessaire, d'une part, d'opérer très rapidement le refroidissement du lingot d'acier jusqu'au point inférieur de transformation ( $690^{\circ}\text{C}$ ), en outre, par un travail intensif dans la zone comprise entre les points supérieur et inférieur de transformation, de détruire autant que possible l'effet de la cristallisation.

La cémentite en grains peut, en outre, être obtenue par recuit prolongé de l'acier à l'abri de l'air à basse température ( $650$  à  $680^{\circ}$ ), comme l'a établi GOERENS («sur les phénomènes de solidification et de transformation des alliages fer-carbone», Halle-sur-Salle, 1907). Par un recuit suffisamment prolongé, la modification de structure peut être poussée assez loin pour que la transformation de la cémentite en grains s'effectue non seulement sur la portion libre hypereutectique, mais sur la cémentite contenue dans la perlite ; ainsi, finalement, la structure est celle d'une masse de ferrite dans laquelle toute la cémentite est noyée sous forme de globulites plus ou moins gros.

Un coup d'œil sur les micrographies des planches II à VII, montre que dans le métal soumis à l'examen, il n'y a eu, en aucun cas, une séparation aussi marquée des deux constituants.

Au contraire, à côté de la cémentite hypereutectoïde libre (dans le n° 8, ferrite), nous rencontrons exclusivement une masse de fond perlitique allant à la sorbite. Que les lingots d'acier «wootz» aient été forgés à basses températures pour la confection des lames, c'est-à-dire travaillés au rouge sombre, cela résulte d'ailleurs également de diverses descriptions d'anciens explorateurs. Déjà, malgré ce qu'on vient de dire, la formation de la cémentite granulaire dans l'acier damassé présente encore quelques points obscurs pour le métallographe ; de même la formation de bandes ondulées donne lieu à une diversité encore plus grande d'opinions pour être expliquée de façon satisfaisante. L'opinion de Belaïew et de Curtler, suivant laquelle le maximum de pureté de l'acier doit être considéré comme la condition préalable pour l'obtention d'un bon acier damassé ne peut être regardée comme valable, d'après les expériences ci-dessus, tout au moins en ce qui touche à l'appréciation de la qualité par la beauté du damasquinage ; car malgré la teneur très notable en phosphore des six lames ( $0,086$  à  $0,252\%$ ), dans toutes les lames, le dessin typique est très bien développé. Par contre, en se basant sur les expériences de von Oberhoffer (Considérations sur la structure linéaire (Zeilenstruktur), sa formation et son élimination par le traitement thermique ; Stahl und Eisen, 1914, p 1247. Sur la structure de l'acier damassé, Stahl und Eisen 1916, p. 140.) et de Mayer, on pourrait être tenté d'admettre qu'une haute teneur en phosphore de l'acier est précisément la condition préalable de formation du damasquinage, parce que les expérimentateurs en question considéraient la structure linéaire, maintes fois observée dans le fer fondu ou l'acier forgé, comprimé ou laminé, comme le point de départ du damasquinage et parce qu'ils attribuaient cette structure linéaire, soit à des inclusions de scories, soit à une teneur élevée en phosphore.

Oberhoffer est parvenu, en fait, à obtenir à la de l'acier, la texture damassée nettement marquée, non seulement avec des tôles d'acier doux, mais encore avec des aciers hypereutectiques à  $1,5\%$  de carbone, et cela, par un forgeage convenable à la main ; toutefois, les résultats obtenus ne sauraient encore être comparés, bien entendu, aux véritables aciers de Damas pour la beauté et la netteté du dessin. Par le forgeage répété de l'acier damassé, les armuriers anciens des Indes et de Perse avaient pour but principal, d'ailleurs, beaucoup moins la production du damasquinage et l'effet décoratif en résultant, que l'obtention d'un métal plus tenace. Cette dernière hypothèse concorde également avec une observation de Belaïew suivant laquelle l'étonnante beauté de l'acier indien n'était qu'un but accessoire et un résultat accidentel.

Par contre, il est exact que la nature du damasquinage donnait dans une certaine mesure, un signe extérieur visible de la nature et de l'intensité du travail mécanique, par suite aussi, de la qualité de l'acier. Par le forgeage fréquemment répété, méthodique et habile, à température relativement basse, la cémentite hypereutectique contenue en proportion importante dans l'acier se trouvait, comme on l'a déjà remarqué, sous une forme et une distribution qui abaissaient fortement le degré de fragilité propre aux aciers contenant environ 1,5 % de carbone. Grâce à cette forme particulière et à ce groupement des deux constituants microscopiques de l'acier de Damas, ce métal acquérait en quelque sorte, une structure analogue à celle d'un métal antifriction correctement préparé, où l'on trouve également un constituant dur et cristallin enrobé dans un fond plus tendre. Pour les lames de sabres, une pareille structure offre l'avantage de donner au métal, une dureté considérable tout en évitant qu'à l'usage de petites particules puissent se détacher aussi facilement du tranchant et en ébrèchent prématurément la lame.

Parmi les six lames damassées anciennes qui ont été essayées, le numéro 8 offre une exception ; au contraire des autres, il est constitué de perlite et de ferrite libre. Dans cette lame, dont le dessin est très simple, le tranchant (partie sombre) est constitué d'un métal très enrichi en perlite tandis que vers le dos (partie claire) la ferrite prédomine fortement. Cette distribution des deux constituants n'est guère étonnante ; elle semble plutôt prouver que les anciennes forges d'armes avaient reconnu précisément la plus grande dureté de la perlite, comparativement à la ferrite et tenaient compte de ce fait dans leur travail.

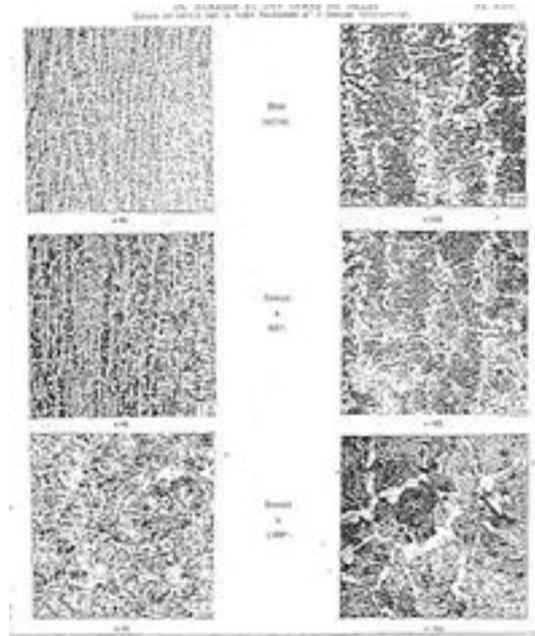
Des deux lames modernes n° 11 et 12, contenant 0,606 et 0,499 % de carbone (planches VIII et IX), la première montre nettement la structure damassée artificielle produite par la soudure de deux nuances d'acier, l'une plus dure, l'autre plus douce ; par contre la lame 12 (en acier fondu) offre une structure absolument homogène ayant un caractère martensitique faiblement accusé, ce qu'il faut attribuer à la trempe et au revenu subséquent.

En considérant la teneur en carbone des six lames anciennes, on arrive aux conclusions suivantes :

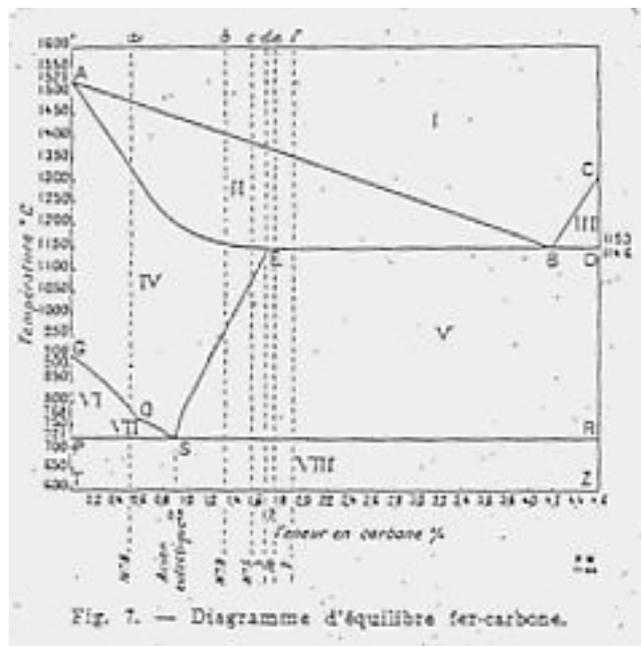
Cinq lames montrent une teneur anormalement élevée en carbone et une seule (n° 8), une teneur normale, d'après les conceptions actuelles relatives aux aciers pour armes blanches. On se demande par suite involontairement si les teneurs en carbone très élevées prédominantes sont simplement accidentelles ou, au contraire, voulues, ou si, finalement, les manufactures d'armes indiennes y ont été obligées par des circonstances spéciales ? Il faut remarquer à ce sujet, que des aciers hypereutectiques très durs ont été choisis manifestement à dessein, parce que seuls, ils permettaient de produire des lames d'une dureté convenable sans avoir recours à une opération de trempe ultérieure

Le choix d'aciers à haute teneur en carbone dont le point de transformation supérieur pour les cinq spécimens étudiés est compris dans une zone de température entre 970 et 1.100 degrés centigrades environ, offrait également cet autre avantage que dans le forgeage, en ce qui concerne le danger de disparition du damasquinage, on n'était pas lié à des températures aussi basses que dans le cas des aciers hypoeutectiques ou même eutectiques. Cela ressort de toute évidence d'essais de recuit effectués sur des éprouvettes provenant des lames n° 5 (à 1,575 % de carbone) et n° 8 à 0,96 % de carbone seulement.

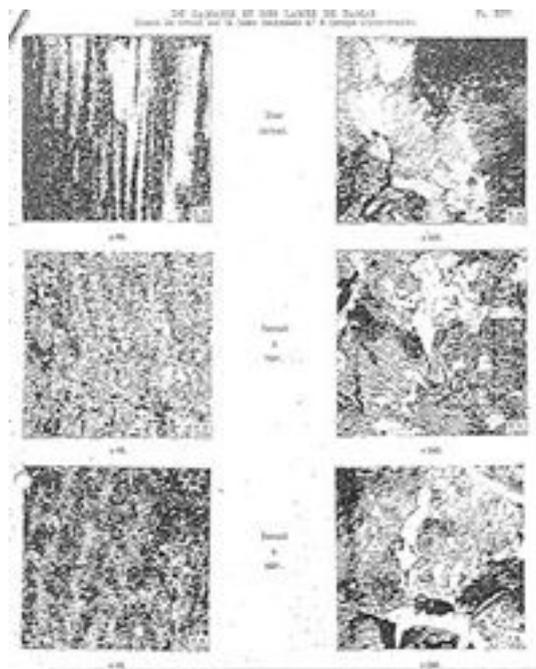
Sur la lame n° 5, après un chauffage à 900°, on ne constate encore aucune modification sensible de structure (planche XIII, grossissement 46),



tandis que, par recuit à 1.000° (correspondant à l'ordonnée C du diagramme d'équilibre, figure 7), le métal a modifié complètement sa texture rubannée initiale et n'est plus constitué que par une masse de fond sombre de sorbite traversée d'aiguilles blanches de cémentite.



D'autre part, le métal de la lame 8, en raison de sa faible teneur en carbone, change de structure pour des températures déjà bien inférieures, comme on peut le voir par l'ordonnée A du diagramme d'équilibre. Déjà, par un recuit doux à 750°, la structure rubannée se modifie fortement tandis qu'un à 850° provoque une transformation complète de texture qui passe à la perlite lamellaire traversée de fines aiguilles de ferrite (planche XIV, C=46 et 50).



Ces expériences démontrent donc, en se basant sur le diagramme d'équilibre, ce que les anciennes forges d'armes n'avaient trouvé que par empirisme ; Anossow également, dans ses travaux, affirme qu'aussi bien durant le forgeage que durant la trempe des lames, il ne fallait pas dépasser une certaine température. Sur ce dernier point, il ressort de toute évidence des micro comme des macrographies des cinq lames que la trempe, s'il y en avait une, n'était que très douce ; en effet, si, comme cela eut dû être le cas dans une trempe régulière, les lames avaient été chauffées un peu au-dessus du point de transformation, puis trempées dans l'eau ou dans un autre liquide, le damasquinage aurait disparu radicalement pour faire place à une structure analogue à une martensite uniforme.

Une trempe aussi brutale des lames no 9, 5, 3, 10 et 7 à haute teneur en carbone et en phosphore aurait, de plus, dû donner nécessairement à ces lames une extrême fragilité.

Les recherches précédentes qui n'ont eu pour but que d'obtenir des indications plus précises sur les propriétés techniques des lames de vieil acier damassé, comparées aux produits analogues de l'industrie moderne de l'armurerie, aboutissent à ce résultat, peut être un peu surprenant au premier abord, que les lames en aciers modernes, non seulement ne le cèdent en rien aux vieilles lames orientales du point de vue de la qualité du métal, mais leur sont notablement supérieures. Néanmoins, il serait prématuré en se basant sur les résultats des présentes expériences de juger en expert l'acier de Damas et les vieilles lames damassées en général ; il ne faut pas, en effet, perdre de vue que les propriétés médiocres des métaux essayés sont en première ligne la conséquence de leur composition chimique défectueuse, spécialement de leur teneur très élevée en phosphore. Un métal de composition chimique irréprochable montrerait probablement des propriétés mécaniques sensiblement meilleures.

Il n'existe cependant pas, à la connaissance de l'auteur, dans la littérature technique, d'analyses chimiques et de chiffres de résistance d'autres vieilles lames orientales authentiques, qui permettraient une comparaison. Il est très vraisemblable d'ailleurs qu'il existe des lames de meilleure composition chimique que celles étudiées ; Schwartz, en effet, signale dans l'étude déjà citée, une série d'analyses de minerais indiens caractérisés par une pureté vraiment rare et qui, par conséquent, devaient fournir également un acier idéal, il s'agit du minerai magnétique de Pipugaon, district de Chanda, dont la composition est la suivante :

	%
Peroxyde (Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )	94,50
Silice (Si O <sub>2</sub> )	4,50
Carbonate de calcium (Ca CO <sub>3</sub> )	0,60
Oxyde de manganèse (Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	-
Alumine (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	traces
Carbonate de magnésium (Mg CO <sub>3</sub> )	-
Soufre	-
Acide phosphorique	-

ou de la magnétite de Singareni, district de Heyderabad, où se trouvait dans l'antiquité et où se trouve encore aujourd'hui ; un centre réputé de fabrication de l'acier.

Ce minerai avait pour composition :

	%
Peroxyde de fer	92,92
Silice	4,19
Soufre	0,05
Phosphore	traces
Humidité	2,47

Admettons que contrairement aux expériences d'Oberhoffer sur la structure linéaire, une proportion relativement élevée de phosphore (ou de scorie) dans l'acier ne soit pas la condition essentielle pour obtenir le damasquinage ; il reste cependant encore une question : Pour la fabrication d'une bonne lame de sabre, est-il plus avantageux de donner la préférence à un métal irréprochable par sa composition chimique, se présentant sous forme d'acier homogène trempé et revenu, à teneur moyenne en carbone, ou bien à un acier fortement hypereutectique, constitué de perlite et de cémentite libre et dont la texture peut être améliorée sans trempe par un traitement thermique et mécanique approprié et tel qu'il prenne le caractère typique de l'acier damassé ? Une autre question n'est pas encore pleinement élucidée. Le damasquinage proprement dit dépend-il, suivant les conceptions des anciens chercheurs, de phénomènes de cristallisation primaire de l'acier et spécialement de la formation de dendrites apparaissant à la surface par refroidissement très lent de l'acier liquide, ou bien, est-il déterminé effectivement par la structure linéaire, suivant les expériences d'Oberhoffer ?

Au moins du point de vue purement scientifique et technique de l'armurerie, il serait vivement à souhaiter que ces questions pussent être résolues de façon définitive, de préférence par voie expérimentale, avec la collaboration d'une aciérie au creuset. Cependant, le problème de l'acier damassé n'a plus guère d'importance pratique car, dans tous les cas, la production de ce métal demande beaucoup de temps et serait plus coûteuse que celle d'un acier ordinaire au creuset ou électriques. La parole du métallurgiste russe Anossov, en l'année 1841 : « Après quoi, les guerriers se battront de nouveau avec des épées de Damas, les paysans laboureront la terre et les ouvriers travailleront leurs pièces avec des outils de Damas » ; cette parole restera un simple vœu. Il ne faut d'ailleurs pas oublier que l'importance des armes blanches, qui jouaient le principal rôle dans les anciennes guerres, est aujourd'hui réduite à un minimum ; en conséquence, les fabricants d'armes n'ont plus aujourd'hui un besoin pressant de perfectionner encore les aciers employés à la manufacture des armes blanches.

Sur les exploits et les actes de bravoure accomplis dans les assauts d'armes et les combats par les guerriers indiens armés de lames damassées, les voyageurs d'Orient, particulièrement les officiers anglais ayant pris part aux campagnes des Indes, relatent de véritables merveilles. Ces exploits, à notre avis, dépendent cependant beaucoup moins de la qualité de l'acier que d'une série d'autres facteurs, notamment de la forme courbe particulière aux lames, très différente de la forme presque droite propre au sabre de cavalerie européen. Tandis qu'avec ce dernier, on frappe plus ou moins, les orientaux emploient leurs sabres à couper. En second lieu, les exploits en question dépendent de la forme de la section, de l'aiguisage et des soins minutieux donnés au tranchant, enfin, de la force extraordinaire et de l'habileté avec laquelle les orientaux savent se servir de leur arme.

En ce qui concerne le soin donné au tranchant, il a encore un point à signaler ici. Un tranchant s'use, soit en s'érouissant, c'est-à-dire s'aplatissant, quand l'acier est de qualité trop douce, soit en s'ébréchant, c'est-à-dire en perdant progressivement des particules plus ou moins grosses lorsque le métal est très dur et cassant.

On peut donc concevoir que, sur ce dernier point, les lames damassées, grâce à la structure particulière de l'acier (enrobement de grains durs de métal dans une masse plus douce), possèdent moins de tendance à s'ébrécher et ont l'avantage sur un acier trempé homogène. Il n'est pas facile de déterminer expérimentalement la tendance plus ou moins grande des tranchants de lames à s'ébrécher ; la pratique seule peut, ici, conduire à un jugement sûr. Si, dans les expériences rapportées ici, nous avons pu être déchiré le nimbe qui enveloppait les vieilles lames damassées, nous ne pouvons malgré tout refuser notre admiration à ces produits de l'art de l'armurerie orientale ancienne, surtout en considérant les moyens techniques primitifs dont elle disposait. Il est d'ailleurs possible, et même vraisemblable, que les lames damassées d'Orient aient pleinement mérité leur renommée jusqu'il y a cent ans et aient été supérieures aux produits de l'armurerie de l'Europe Occidentale, en partie du fait de la bonne qualité du métal.

Grâce à l'énorme développement pris par la métallurgie du fer en raison des progrès de la chimie, de la physique et de la mécanique dans les dernières dizaines d'années, l'Occident a distancé l'Orient qui en était resté à plusieurs siècles en arrière pour ces progrès ; il en est de ce domaine comme de beaucoup d'autres.

(Zurich, mai 1924.)