



Les aciers damassés décryptés

Madeleine Durand-Charre

- 1 - Des lames figurées au « damas »
- 2 - Le moiré de « l'acier de Damas »
- 3 - Les couteaux de l'an mil

L'acier du forgeron en Occident

2nd millénaire av. J.-C.

1700-1500 production du fer au Moyen Orient par réduction du minerai

1^{er} millénaire av. J.-C.

800-750 av. J.-C. début de l'âge du fer en Europe

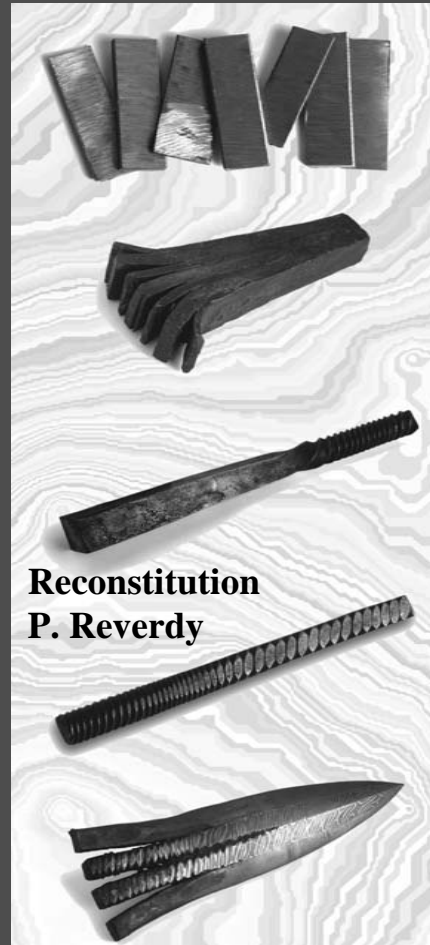
les Celtes savent assembler les morceaux de fer par soudage,
les durcir en les transformant en acier.

1^{er} millénaire de notre ère

les Mérovingiens savent souder à la forge des nuances différentes et créer des décors dits figurés.

Une épée mérovingienne avec une lame dite *figurée*, trouvée dans la Saône

Musée de Chalons sur Saône



Reconstitution
P. Reverdy

1- sept plaquettes choisies avec deux nuances d'aciers différents

2- elles sont soudées

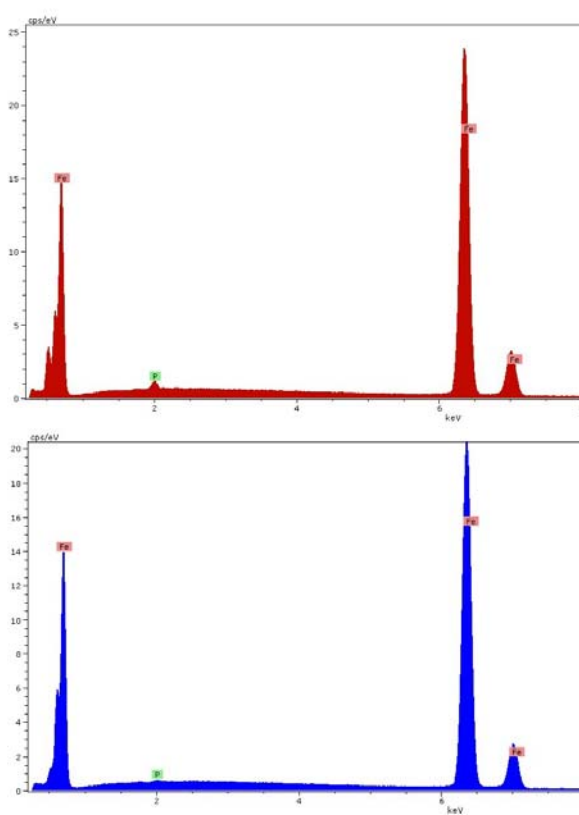
3- elles sont tordues (sens différents)

4- elles sont aplaties

5- elles sont soudées côte à côte entre deux barres d'acier homogène qui forment les tranchants

« *figuré* », stade précurseur du « *damas* »

Les couches vues au MEB



zone de transition

la couche fine contient du phosphore à forte teneur (#0,7), la matrice à faible teneur (#0,1)

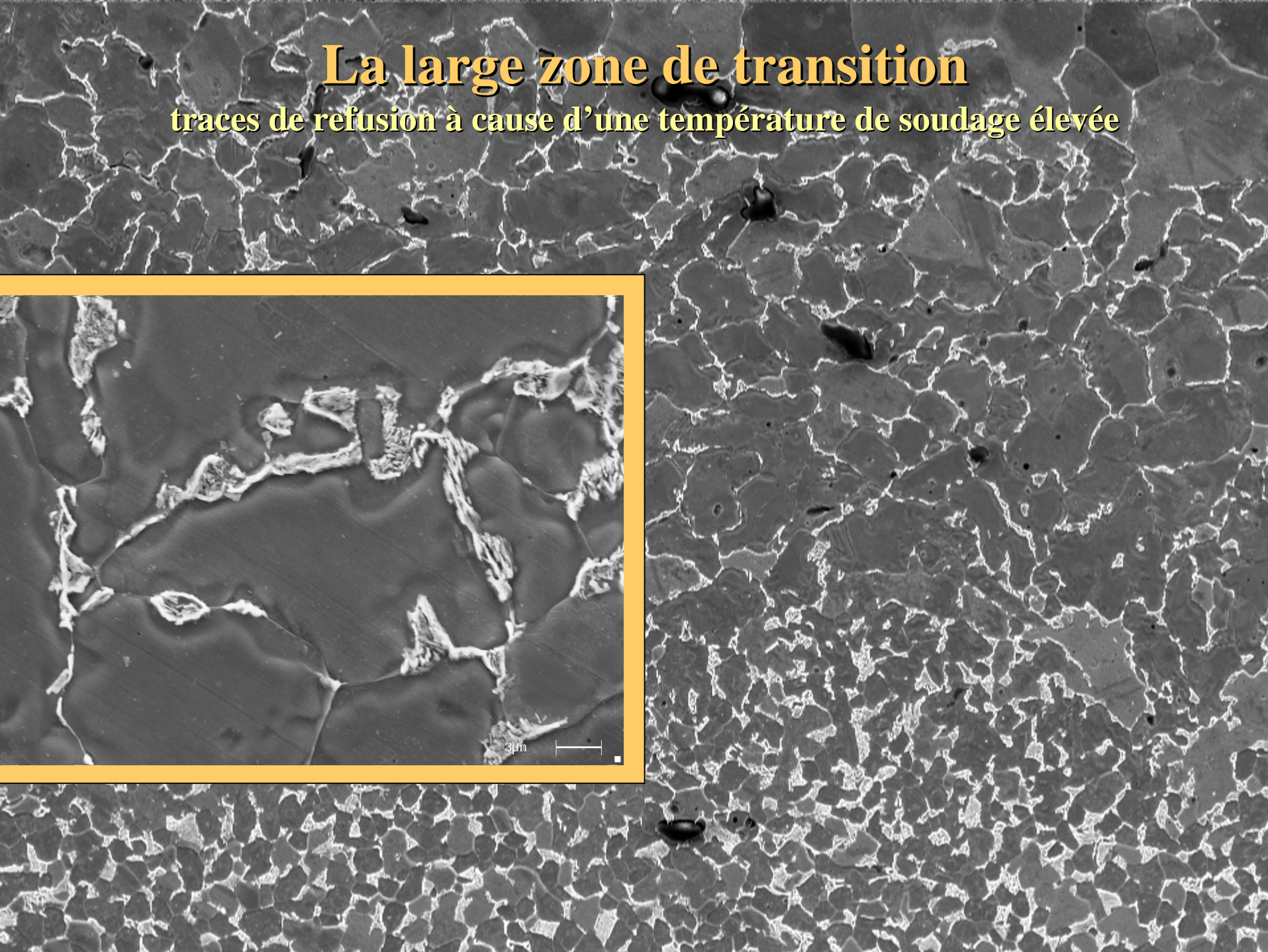
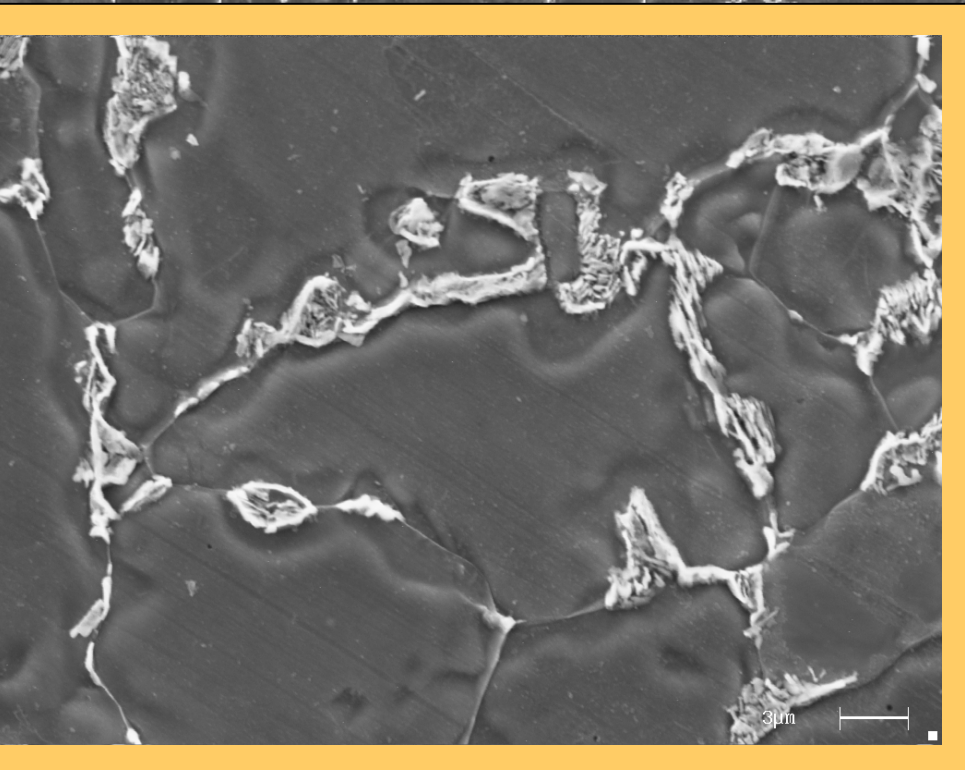
Mag = 13 X
EHT = 20.00 kV



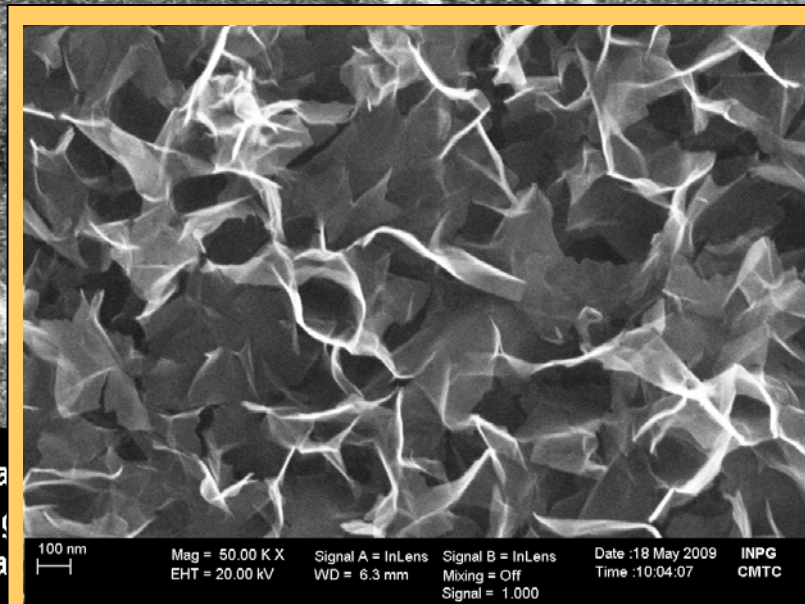
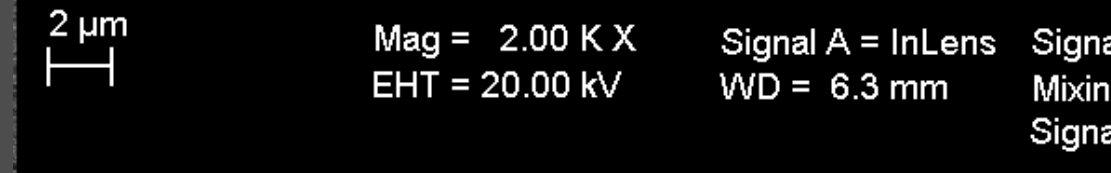
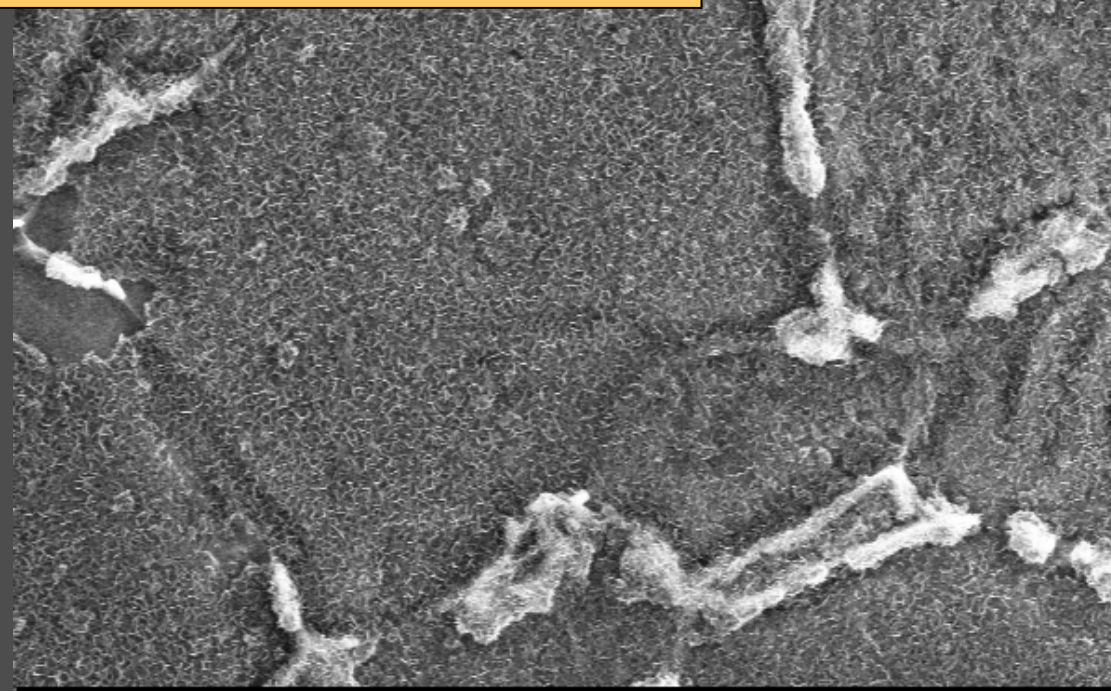
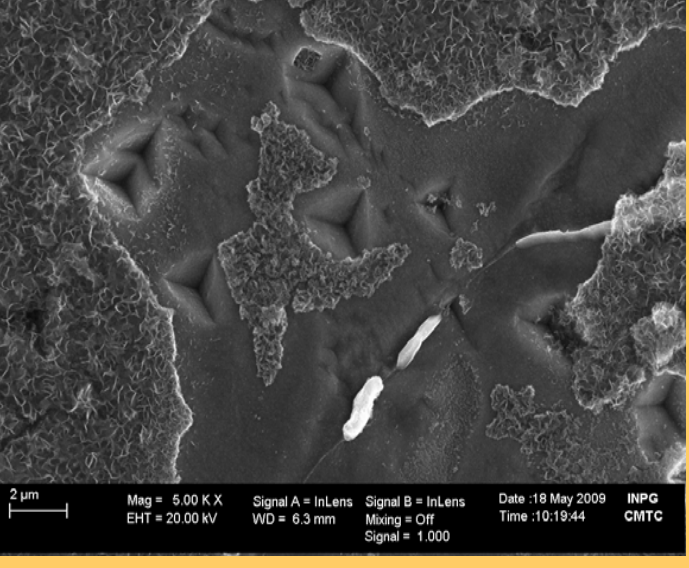
Detector = SE1
Date :7 Dec 2004

La large zone de transition

traces de refusion à cause d'une température de soudage élevée



Structure fantôme, « ghost structure » :



Le phosphore dans les fers anciens : **il induit une structure d'attaque typique**

interaction entre le phosphore et le carbone

migration du phosphore dans les joints et les sous-joints de grains

une monocouche de Fe_3P modifie l'attaque chimique

Du « figuré » au « damas » »

En un millénaire le travail de l'acier par soudage de nuances différentes a beaucoup évolué, c'est devenu un art qui a culminé entre les XVI^e et XIX^e siècles. L'acier a pris le nom de damas.



Musée d'art et
d'industrie de
Saint Etienne

Rapières damassées
du 17^e siècle



Musée d'art et
d'industrie de
Saint Etienne

L'acier fondu en Inde, le wootz

1^{er} millénaire av. J.-C.

fusion de l'acier (326 av. J.-C. cadeau du roi indien Porus à Alexandre le grand).

Le fer, brut de réduction, est disposé avec du charbon de bois de bambou dans des creusets en céramique clos. Une vingtaine de creusets sont chauffés dans un four jusqu'à fusion. L'acier, appelé maintenant wootz, est ensuite forgé pour sa mise en forme.

Fin du 1^{er} millénaire de notre ère

forgeage du wootz révélant une texture.

iranien

1820-

1860

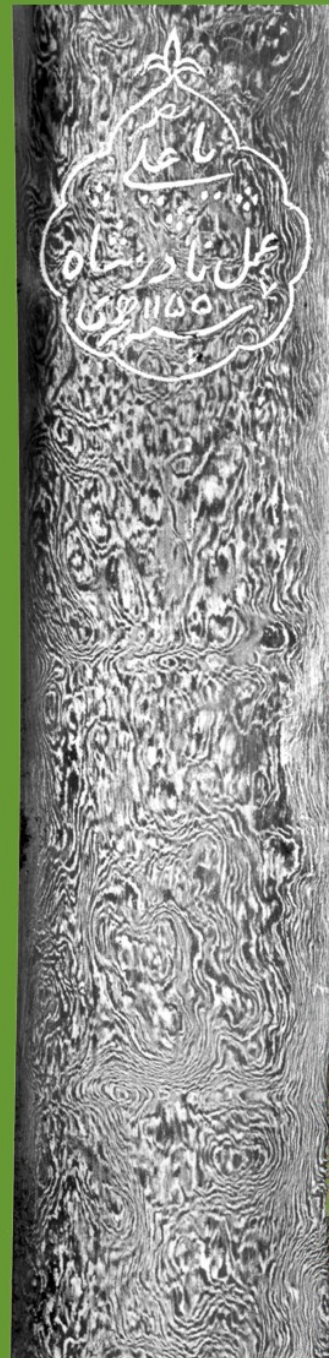
indo-

persan

1738

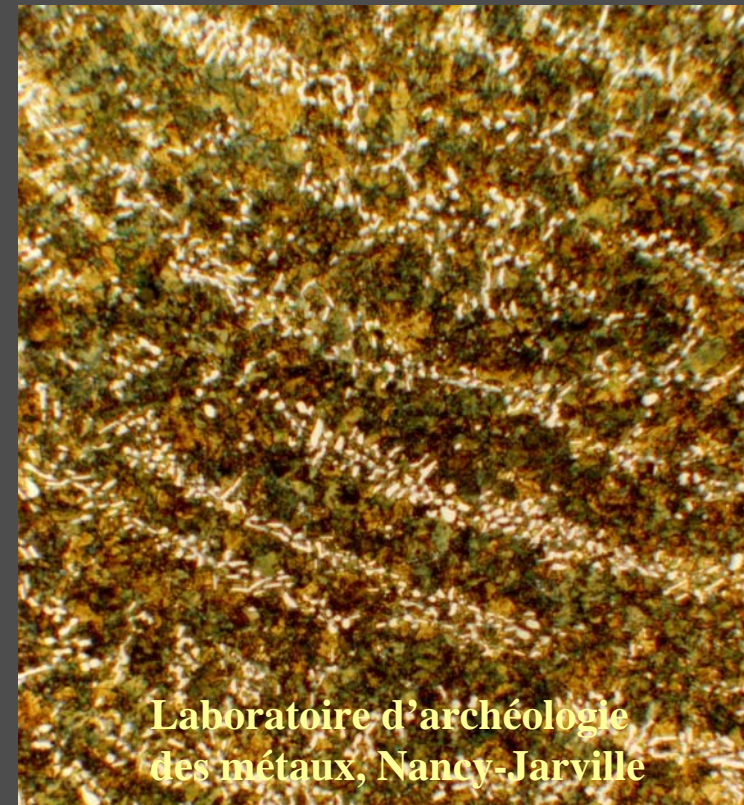


Collection Henri Moser
Charlottenfels au
Musée Historique
de Berne, Suisse



Les épées en wootz

« l'acier de Damas »,
wootz forgé à Damas ou
bien exporté depuis Damas



Laboratoire d'archéologie
des métaux, Nancy-Jarville

**Les carbures grossiers (5-10 μ m) construisent
les alignements visibles à l'œil nu**

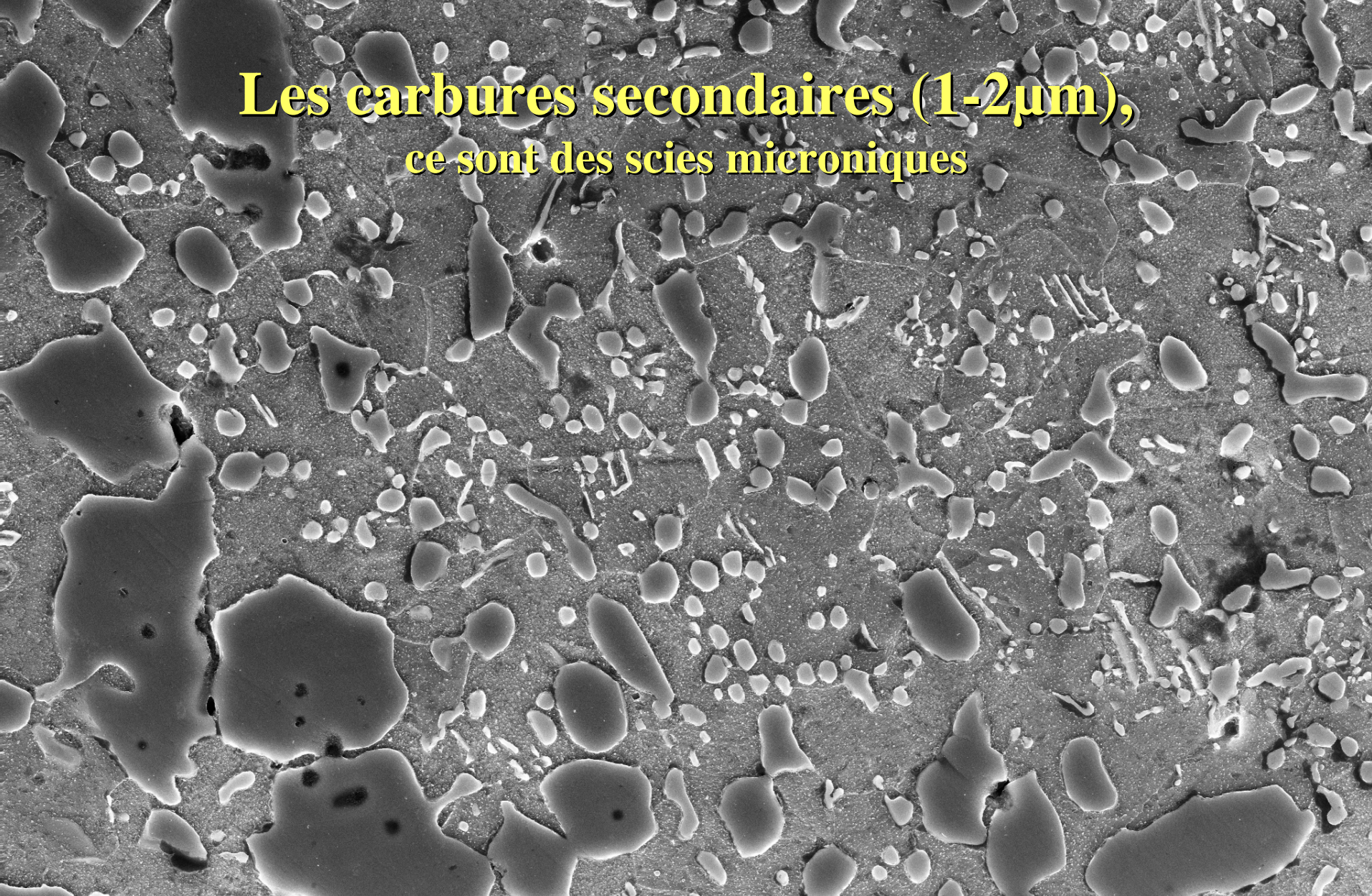
W18 SE

MAG: 600 x

Lame d'épée du 18^e siècle, 1,7 pds% carbone

40 μ m

**Les carbures secondaires (1-2 μ m),
ce sont des scies microniques**



2 μ m
┌───┐

Mag = 2.00 K X
EHT = 20.00 kV

Signal A = InLens
WD = 6.1 mm

Signal B = InLens
Mixing = Off
Signal = 1.000

Date : 3 Apr 2009
Time : 11:02:15

INPG
CMTC

Les carbures submicroniques , ils donnent le tranchant exceptionnel



1 μ m
|-----|

Mag = 10.00 K X
EHT = 20.00 kV

Signal A = InLens
WD = 6.2 mm

Signal B = InLens
Mixing = Off
Signal = 1.000

Date : 3 Apr 2009
Time : 11:23:02

INPG
CMTC

Les nanocarbures, ils contribuent à la tenue de la matrice



100 nm
|-----|

Mag = 100.00 K X
EHT = 20.00 kV

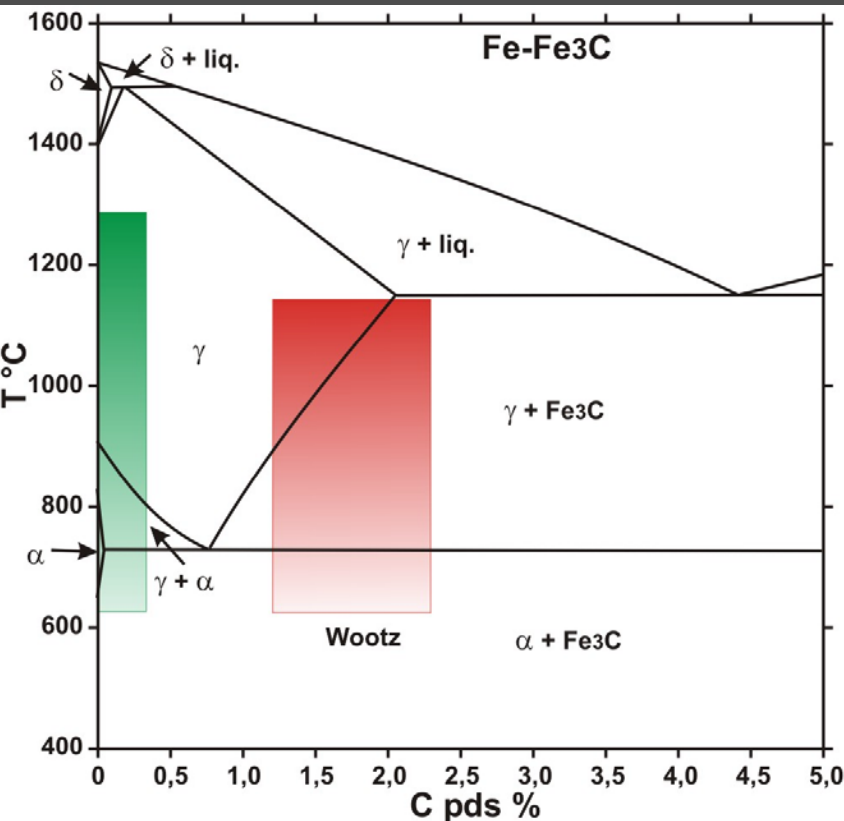
Signal A = InLens
WD = 6.4 mm

Signal B = InLens
Mixing = Off
Signal = 1.000

Date : 3 Apr 2009
Time : 11:43:04

INPG
CMTC

Chaque type de précipités est généré au cours de d'une étape thermique spécifique



Solidification : des ségrégations se forment et aussi des carbures eutectiques grossiers.

Cycles de chauffage et forgeage (#30) accentuent la ségrégation et provoquent la formation des précipités le long d'alignements et l'écrasement des carbures eutectiques.

Trempe et revenus : la martensite de la trempe finale est adoucie par des revenus probablement vers 400-500°C et vers 150-200°C.

La grande confusion entre : *damas* de soudage et *acier de Damas* fondu

Confusion sur le nom

Le mot *damas* apparaît seulement au XIV^e siècle associé à des soieries importées ou tissées à Damas.

Le mot sera utilisé pour désigner un décor en relief.

Confusion sur le produit

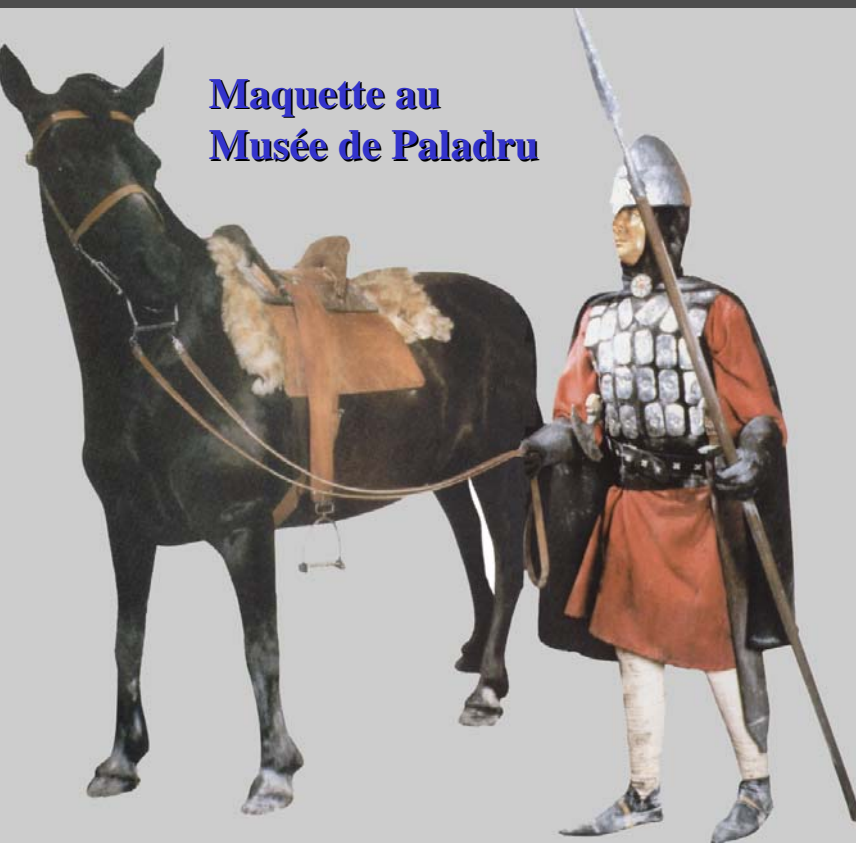
Les croisés ont vanté les mérites des fameuses épées orientales.

Les forgerons ont imité parfaitement le fameux décor moiré par le procédé de soudage.

Une confusion qui dure encore !

« Je prépare une thèse sur la vie des chevaliers paysans de l'an mil au lac de Paladru! »

réplique d'Agnès Jaoui dans le film « on connaît la chanson » d'Alain Resnais



Maquette au
Musée de Paladru

- Un site occupé vers 1006 par trois familles avec leurs domestiques.
- L'inondation du site les chasse vers 1038.
- Ils sont agriculteurs, éleveurs, pêcheurs, chasseurs.
- Ils sont cavaliers et guerriers.
- Ils sont artisans.

Mais surtout, ils sont *forgerons*.

Les couteaux

Quelques 400 couteaux trouvés dans le lac.
Les lames apparemment semblables sont construites
avec des assemblages très variés.



La lame ci-dessous est construite par soudage de
plaquettes d'aciers.

Au centre, des zones plus riches en carbone
affleurent au niveau du tranchant.



Traces d'opérations de soudage et pliage révélées par des alignements d'oxydes

En contraste sombre les oxydes, en gris à peine plus foncé que la matrice les zones de carbures.
Lors des chauffages répétitifs les plaquettes d'oxydes se désagrègent et se transforment en alignements de précipités globularisés.

Mag = 59 X

200µm

Detector = QBSD

EHT = 20.00 kV

Date : 11 Feb 2005

Ce que révèle la comparaison entre différents types d'images

électrons rétrodiffusés



Mag = 283 X
EHT = 20.00 kV

100µm

Detector = QBSD
Date :21 Mar 2007



Mag = 283 X
EHT = 20.00 kV

100µm

Detector = SE1
Date :21 Mar 2007

électrons secondaires

La périodicité des alignements de
cellules perlitiques apparaît
indépendante de celle des oxydes.

Le mécanisme de formation

La formation de bandes est imputable aux ségrégations chimiques générées lors des pliages.

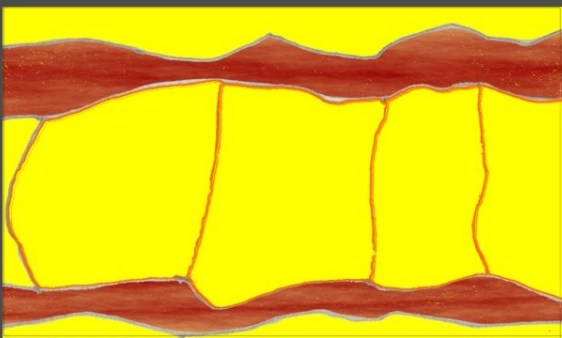
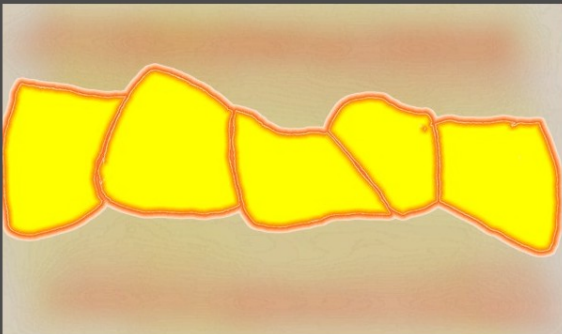
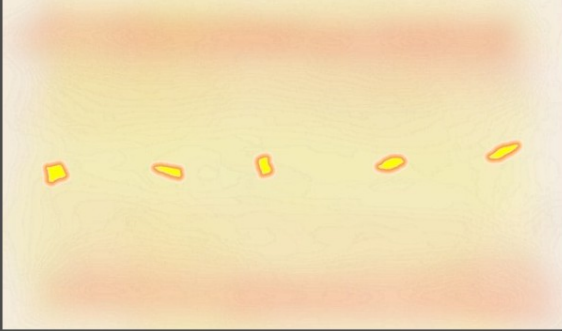
I) l'acier est hypoeutectoïde (voir diagramme de phases) ; dans la matrice la ferrite germe dans les zones les moins riches en carbone (les plus claires) ;

II) la ferrite grossit en balayant devant elle une couche de diffusion enrichie par le carbone rejeté par la ferrite, la matrice d'austénite s'enrichit globalement ;

III) les grains de ferrite se rejoignent. Le joint de grain est une autoroute de diffusion pour le carbone. Cette diffusion très active laisse évacuer le carbone en excès et permet aux grains de ferrite de se rejoindre ;

IV) la perlite se forme lorsque l'enrichissement de l'austénite atteint 0,8 %C et la température eutectoïde.

C'est la répétition du processus *chauffage rapide puis refroidissement plus lent* qui accentue l'effet de ségrégation.



Conclusion

Les outils modernes permettent de reconstituer la succession des multiples transformations structurales liées à la composition locale et au mode refroidissement.

Il reste encore des questions à poser. Par exemple détecter un éventuel vieillissement de la structure au cours des siècles susceptible de se produire par retour à l'équilibre sur une très courte échelle de quelques nanomètres aux interfaces.

<http://pagesperso-orange.fr/microstructure-damas/>

mdc.damas@gmail.com