



Université Fédérale  
Toulouse Midi-Pyrénées

Microstructure et propriétés mécaniques des premiers alliages légers  
utilisés en aéronautique.

Approche historique et sciences des matériaux



**AUDREY COCHARD**

ECOLE DOCTORALE SCIENCES DE LA MATIÈRE

UNIVERSITÉ TOULOUSE 3 – PAUL SABATIER

PHILIPPE SCIAU –

CEMES

JEAN-MARC OLIVIER –

FRAMESPA

PRES UT3 – RÉGION

# Objectifs scientifiques – exposé du sujet

2

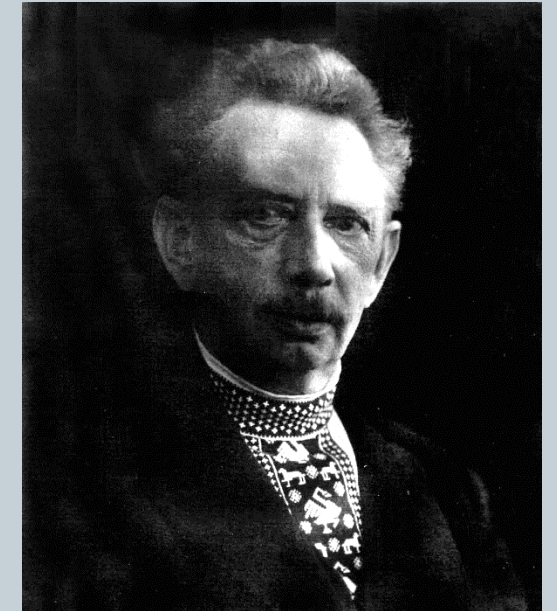
1909  
Duralumin  
breveté

Production industrielle dès 1910 à Dürer

Développement  
Alliages d'aluminiums

Développement  
Aéronautique

Cuivre	3,5% à 4,5%
Manganèse	1%
Magnésium	0,5%

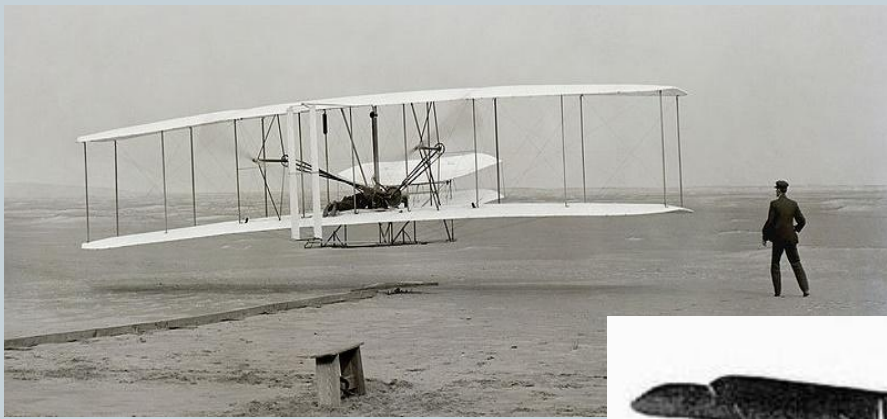


Alfred Wilm

Mise en solution : entre 450°C et 500°C  
Trempe : rapide dans l'eau froide  
Maturation : stockage à température ambiante pendant plusieurs jours

# Objectifs scientifiques – exposé du sujet

3



*1903: Wright Flyer  
premier vol d'essai  
Carter en aluminium*



*1916: Breguet XIV  
Début de l'utilisation de  
Duralumin dans la structure*

*1919 : Junkers F13  
premier avion entièrement métallique*



# Objectifs scientifiques – exposé du sujet

4

Matériau industriel récent avec une grande production de documents écrits

Mais

Politique de tri des archives en entreprises



Perte d'information

- caractéristiques physico-chimiques des matériaux
- motivations des choix techniques des avionneurs



Croisement de données



analyse en laboratoire de pièces d'appareils  
en cours de rénovation



documents d'archives qui ont survécu

# Objectifs scientifiques – exposé du sujet

5



## Breguet 765 Sahara n°504 64-PH

Premier vol : 2 juillet 1959  
Réforme : fin de 1969



Abandonné sur la base aérienne 105 d'Évreux



Rénovation par les Ailes Anciennes Toulouse depuis 1987

- ➡ Zones accessibles durant un temps limité
- ➡ Pièces destinée à être jetées
- ➡ Association : point de départ de recherche de documentation

# Objectifs scientifiques – exposé du sujet

6

- ➔ Recherches menées pendant la Seconde Guerre mondiale
- ➔ Relèvement aéronautique = symbole du relèvement de la France

## Évolution des alliages

- Augmentation des propriétés mécaniques
- Pénurie de matière première comme le cuivre

amélioration du Duralumin :

A-U<sub>4</sub>G<sub>1</sub> – A-U<sub>3</sub>G

Zircal:

zinc (5 à 8 %) - Magnésium ( $\leq 1\%$ ) - Cuivre ( $\leq 1\%$ )

## Évolution de mise en forme

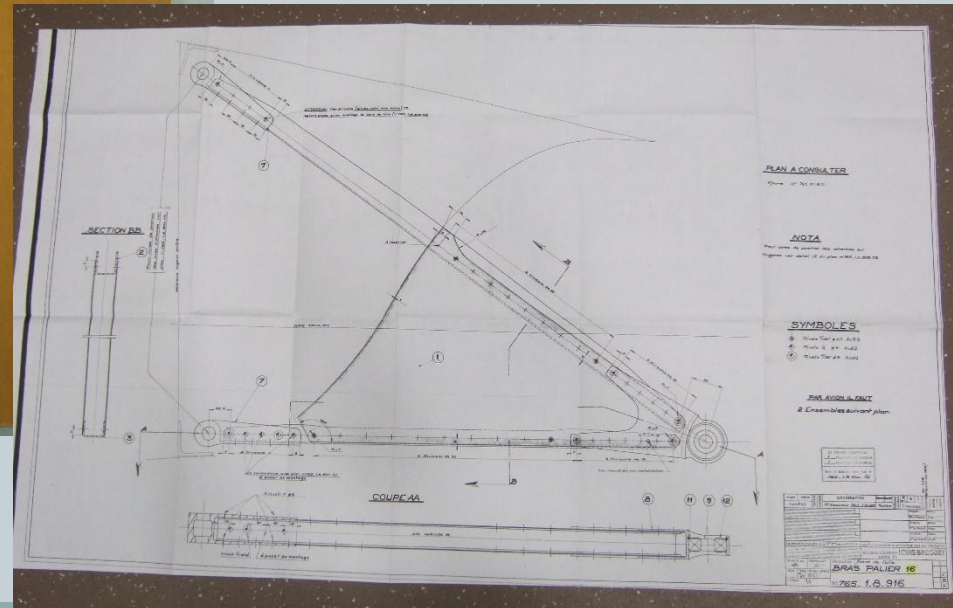
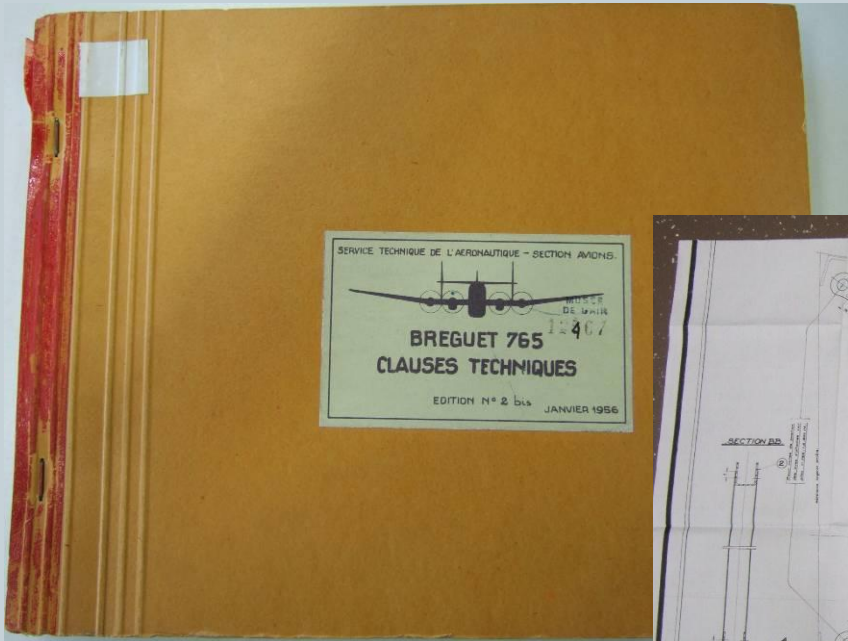
- production au maximum en continu
- texture plus régulière
- composition plus homogène

Où se situent les matériaux du Breguet?

# Avancement – Résultats acquis

7

## Histoire avion: construction et utilisation



ATELIER D'AVIATION L. BRÉGUET USINE DE VÉLIZY.				ALLIAGES			
Désignation commerciale		Désignation Normes		Traitements		Forme	
		AFNOR: A02001					
ALLIAGES CORROYÉS							
ALU - 99,5% <sup>(1)</sup>		A5		Recuit			
RIVADURAL 335		A-U3G		E-500°- Vieilli 1 mois Recuit - E croix			
DURALUMIN		A-U4G		E-495°- Vieilli 4 jours		Tôles Barres Tubes Profils	
VEDAL <sup>(4)</sup>		A-U4G plaqué		E-495°- Vieilli 4 jours		Tôles	
DURAL FR. <sup>(1)</sup>		A-U4G1		E-500°- Vieilli 4 jours		Tôles	
		A-U4G1 plaqué <sup>(4)</sup>				Barr. Prof. Tôles	
ZICRAL CEGEDUR T60 (TLH) <sup>(1)</sup>		A-Z8GU		E-465°- R135° 8 <sup>H</sup>		Tôles plaq. Barr. Prof.	
ALUMAG		35 A-G3		Recuit (2)		Tôles	
ou		50 A-G5		Recuit (2)		Tubes	
DURALINOX		65 A-G7		Recuit (2)		Petits prof.	

# Avancement – Résultats acquis

8

ATELIER D'AVIATION L. BRÉGUET USINE DE VÉLIZY			
ALLIAGES			
Désignation commerciale	Désignation Normes AFNOR: A02001	Traitements	Forme
ALLIAGES CORROYÉS			
ALU - 99,5% <sup>(1)</sup>	A5	Recuit	
RIVADURAL 335	A-U3G	E-500°- Vieilli 1 mois Recuit - Ecroui	
DURALUMIN	A-U4G	E-495°- Vieilli 4 jours	Tôles Barres Tubes Profils
VEDAL <sup>(4)</sup>	A-U4G plaqué	E-495°- Vieilli 4 jours	Tôles
DURAL FR. <sup>(1)</sup>	A-U4G1	E-500°- Vieilli 4 jours	Tôles Barr. Prof.
DURAL FR. <sup>(4)</sup>	A-U4G1 plaqué		Tôles
ZICRAL CEGEDUR T60 (T.L.H.) <sup>(1)</sup>	A-Z8GU	E-465° - R135° 8 <sup>H</sup>	Tôles plaq. Barr. Prof.
ALUMAG ou	35 A-G3 50 A-G5	Recuit (2)	Tôles Tubes
DURALINOX	65 A-G7	Recuit (2)	Petits prof.



- connaître les productions courantes à cette époque
- les problèmes rencontrés et les solutions proposées

%W		Al	Cu	Mg	Mn	Si
Revue Aluminium N°211-1954	A-U4G	Base	4	0,7	0,5	0,5
Revue Aluminium N°211-1954	A-U4G1	Base	4,2	1,5	0,6	Pas D'addition



# Avancement – Résultats acquis

9

- étude en laboratoire

## Démarche classique d'étude métallurgique

### Composition

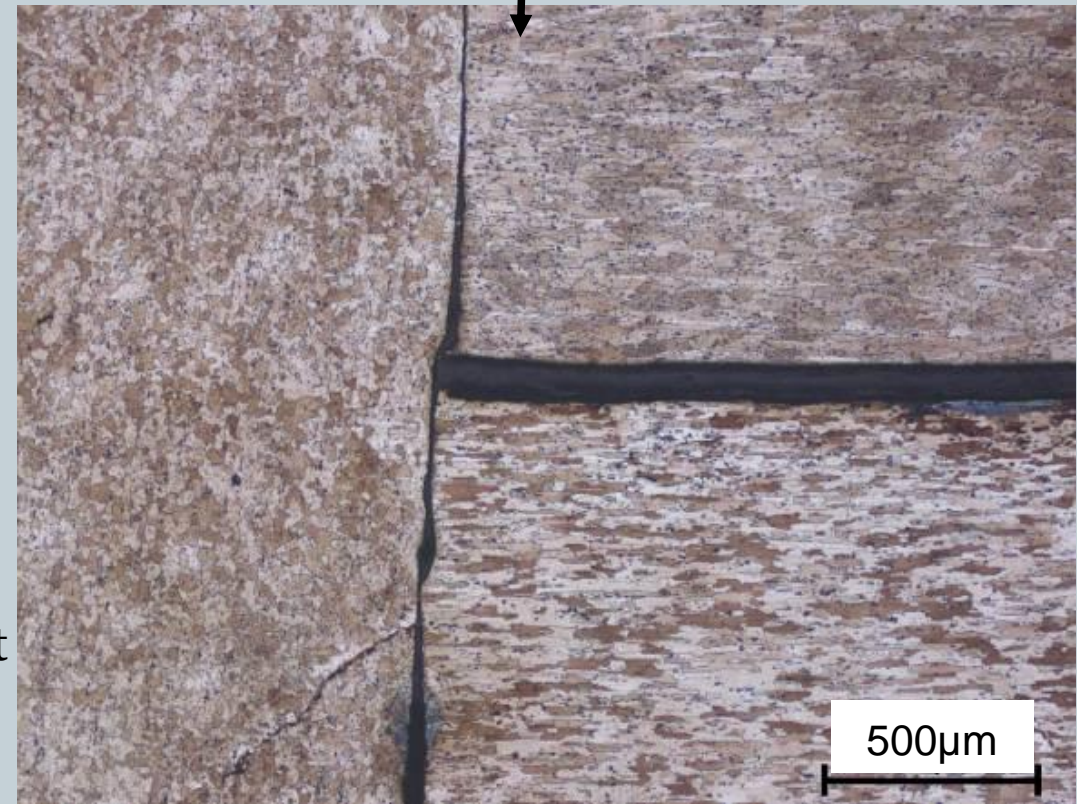
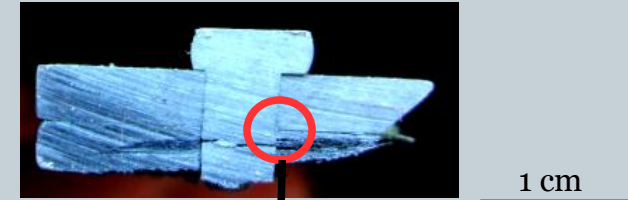
→ Détermination de l'alliage

### Observation de la microstructure et des précipités

→ composition, du traitement thermique et de la mise en forme

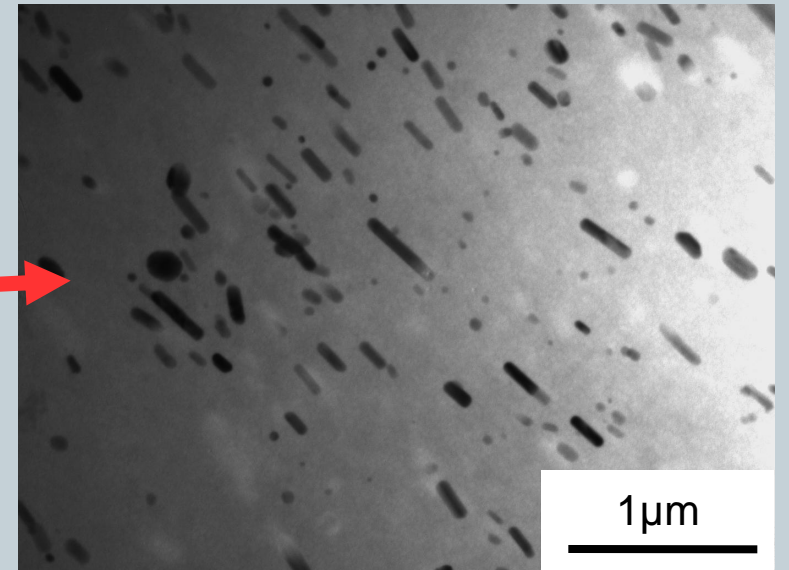
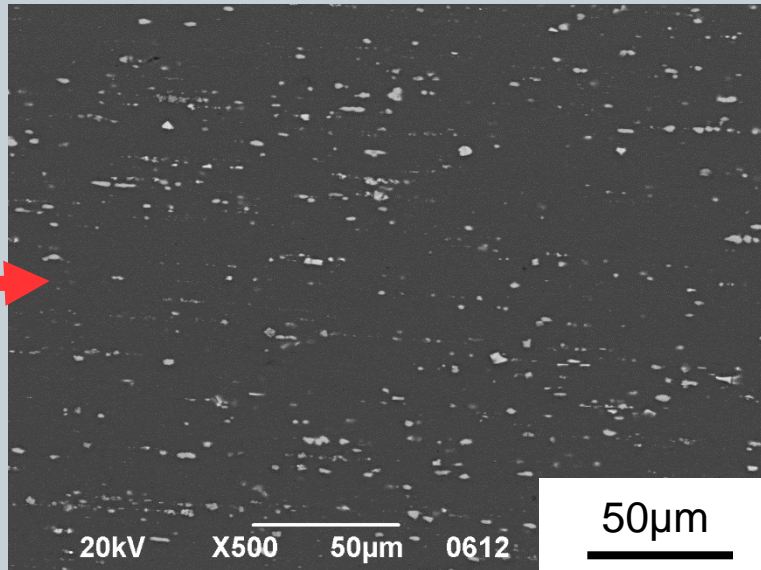
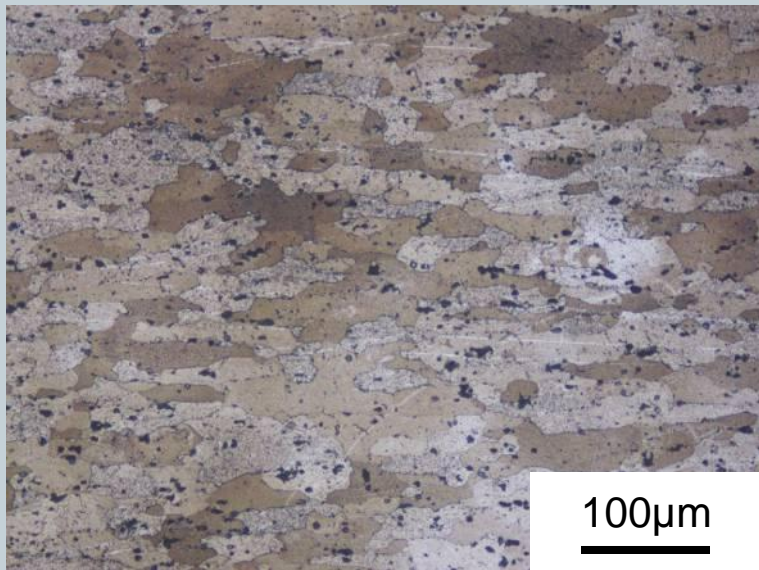
### Essais de traction

→ comparer avec les propriétés mécaniques exigées par Breguet



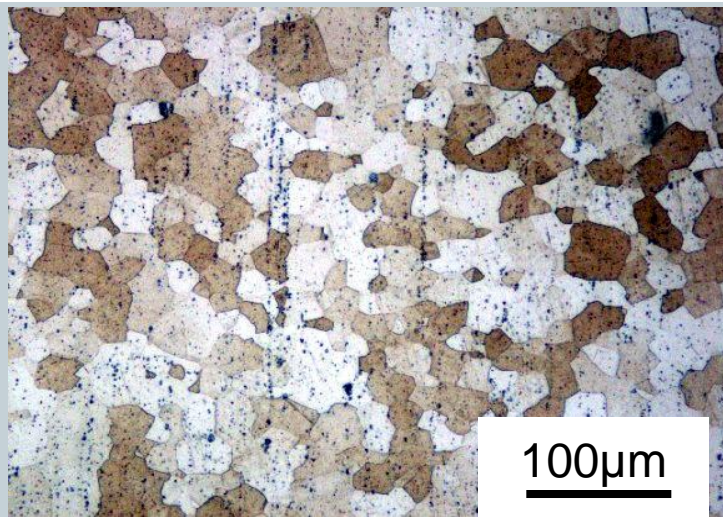
# Avancement – Résultats acquis

10

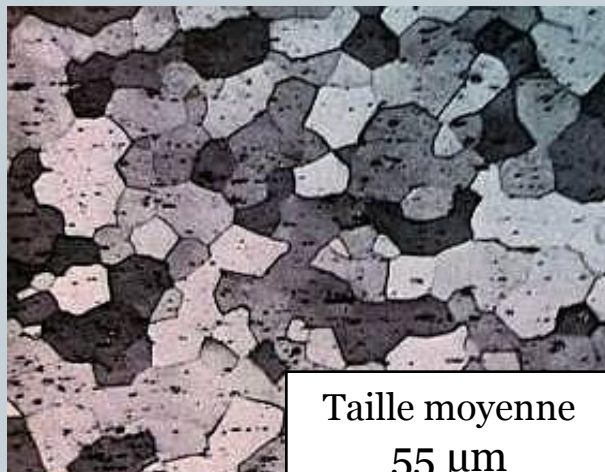


# Avancement – Résultats acquis

11



100µm



Taille moyenne  
55 µm

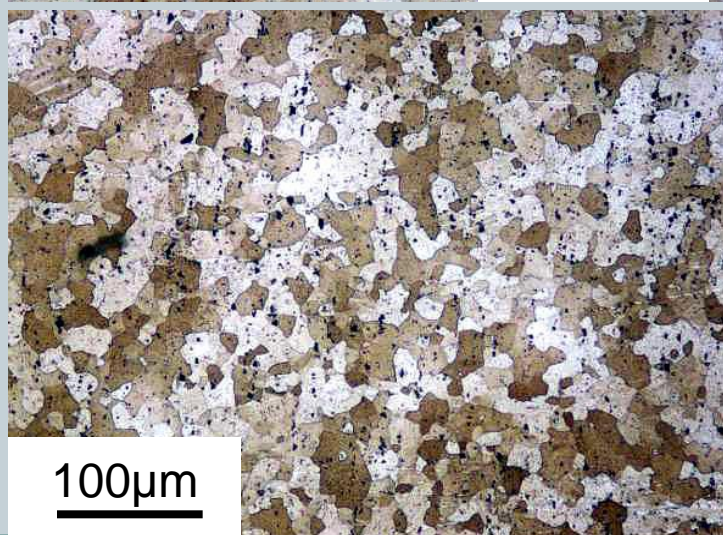
A-U3G



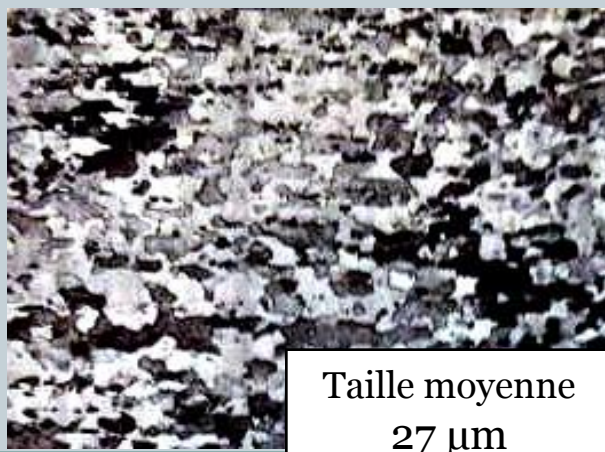
Alloys of aluminum and magnesium  
Rivets in AU3G and 35NC6F

Nouveau.  
Ajouté Rivadural 335 (AU3G)  
Rivets en AU4G et 30NC41 sont  
remplacés par AU3G et 35NC6F.

*Revue de l'Aluminium n°228 (1956)*



100µm



Taille moyenne  
27 µm

A-U4G

ATELIERS D'AVIATION  
L. BREGUET  
VELIZY

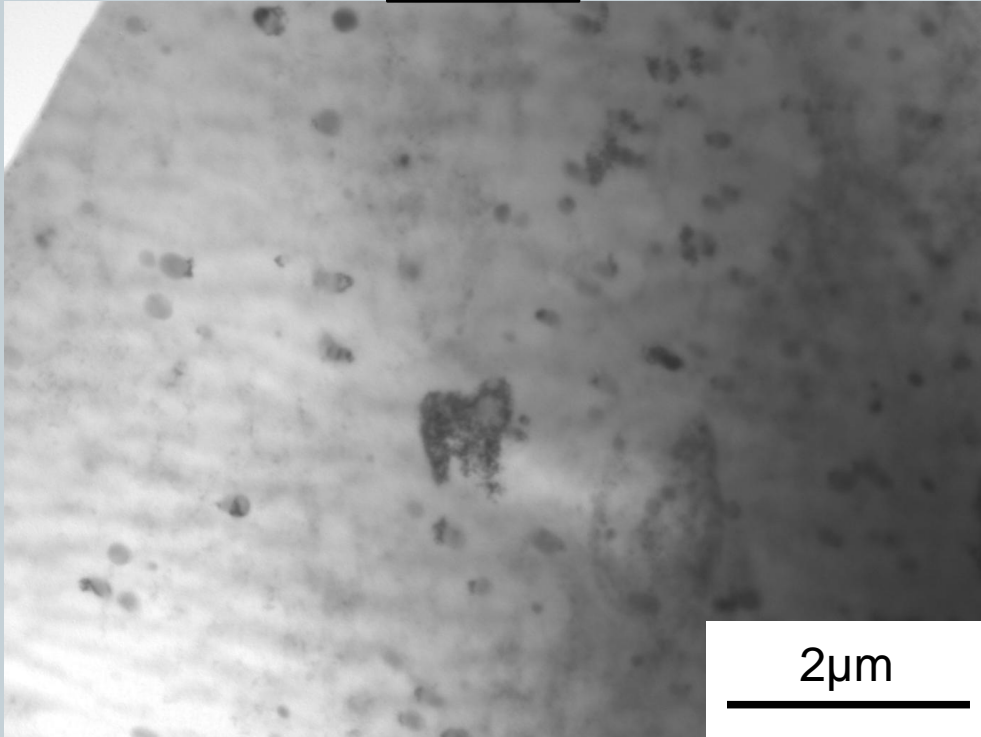
Edition Octobre 1954.  
Decembre 1954.



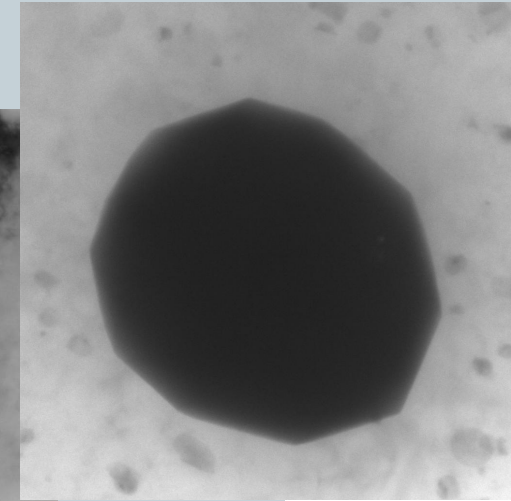
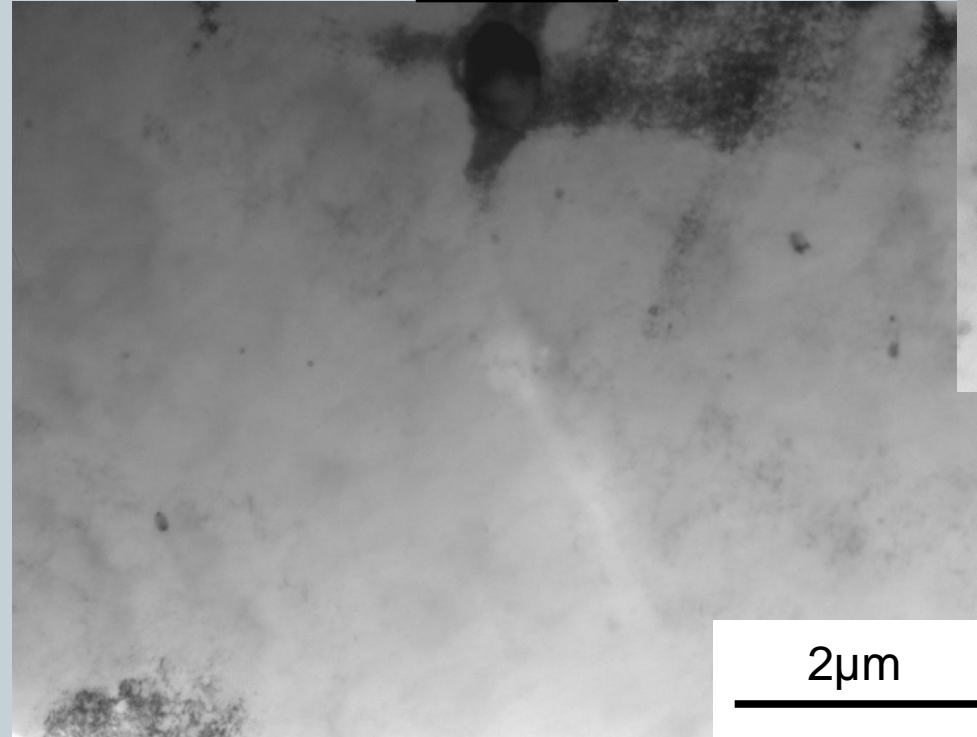
# Avancement – Résultats acquis

12

A-U4G



A-U3G



500nm

Microscopie électronique en transmission en développement pendant les années 1950

# Avancement – Résultats acquis

ATELIER D'AVIATION  
L. BRÉGUET  
USINE DE VÉLIZY

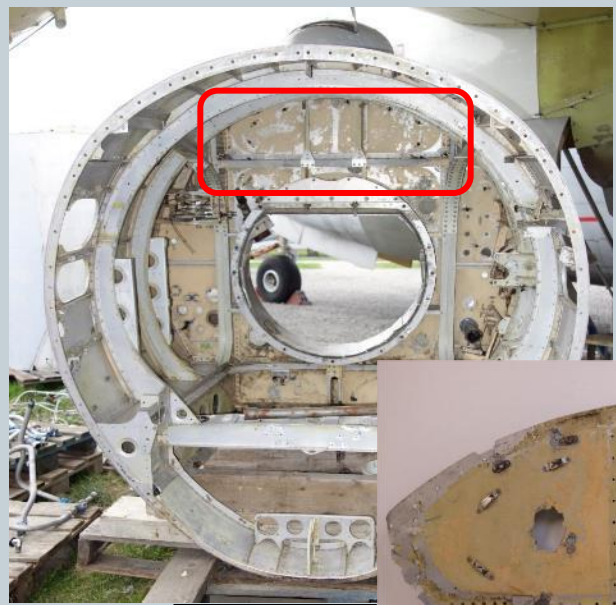
## ALLIAGES

Désignation commerciale	Désignation Normes	Traitements	forme
	AFNOR: A02001		

## ALLIAGES CORROYÉS

ALU - 99,5% <sup>(1)</sup>	A5	Recuit	
RIVADURAL 335	A-U3G	E-500°- Vieilli 1 mois Recuit - Ecroui	
<b>DURALUMIN</b>	<b>A-U4G</b>	E-495°- Vieilli 4 jours	Tôles Barres Tubes Profils
VEDAL <sup>(4)</sup>	A-U4G plaqué	E-495°- Vieilli 4 jours	Tôles
<b>DURAL FR.</b> <sup>(1)</sup>	<b>A-U4G1</b>	E-500°- Vieilli 4 jours	Tôles
<sup>(4)</sup>	A-U4G1 plaqué		Barr. Prof. Tôles
ZICRAL CEGEDUR T60 (T.L.H.) <sup>(1)</sup>	A-Z8GU	E-465° - R135° 8 <sup>M</sup>	Tôles plaq. Barr. Prof.
ALUMAG	35 A-G3	Recuit (2)	Tôles
ou	50 A-G5	Recuit (2)	Tubes
DURALINOX	65 A-G7	Recuit (2)	Petits prof.

EDITION : Décembre 1954.



A-U4G



A-U4G1

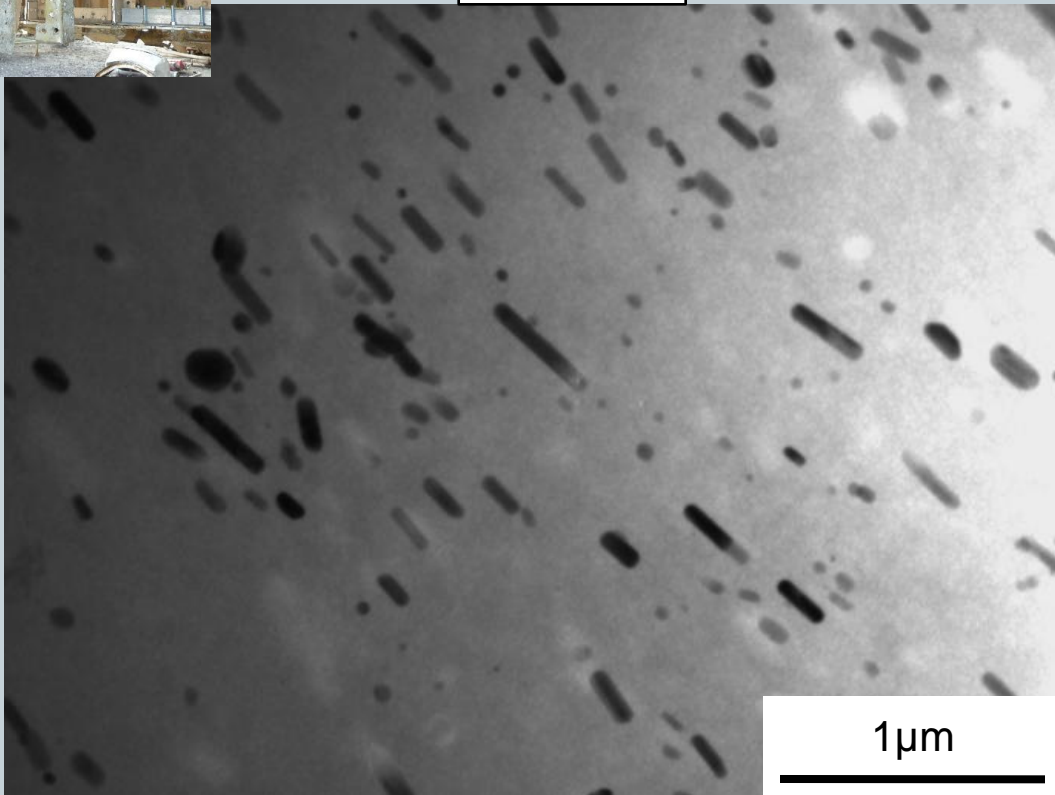


# Avancement – Résultats acquis

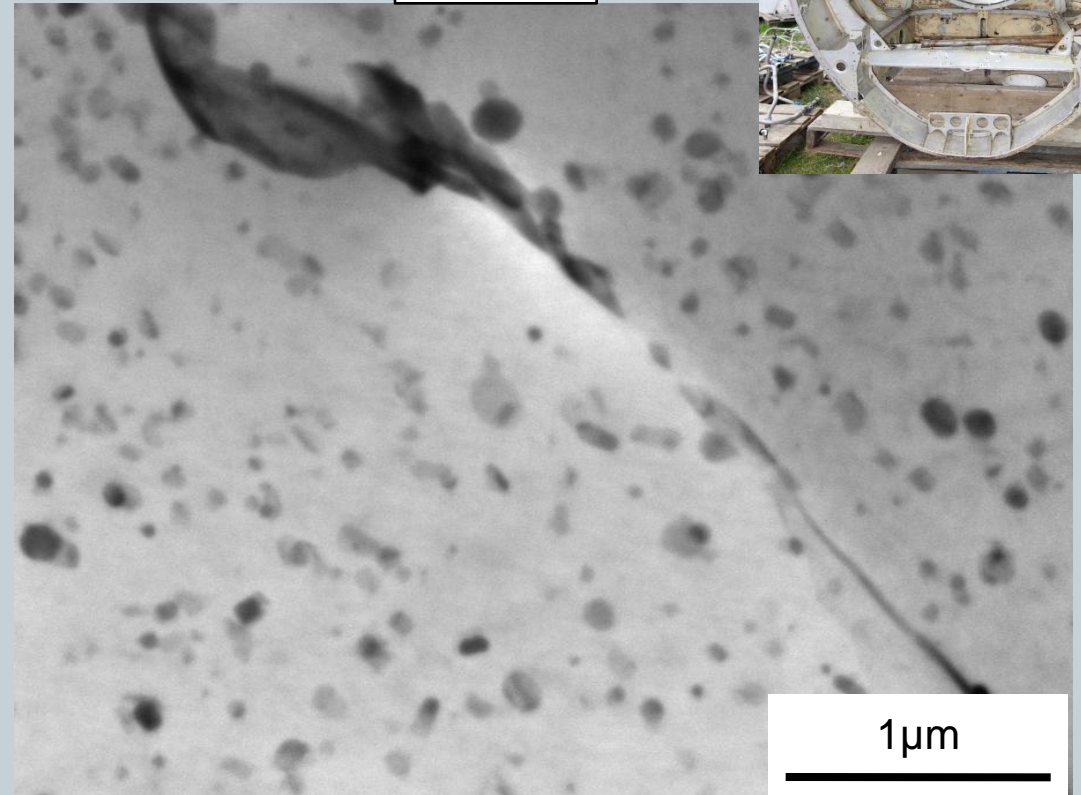
14



A-U4G1

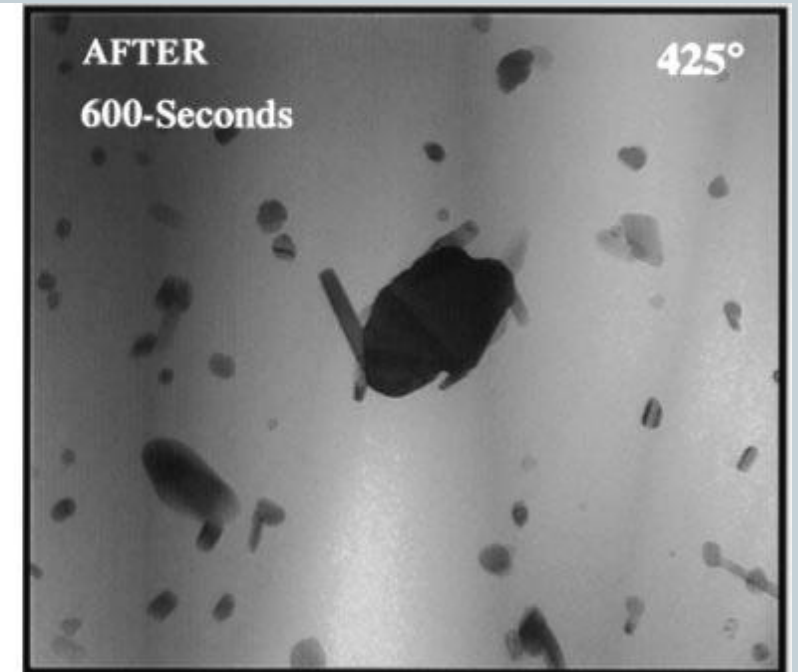
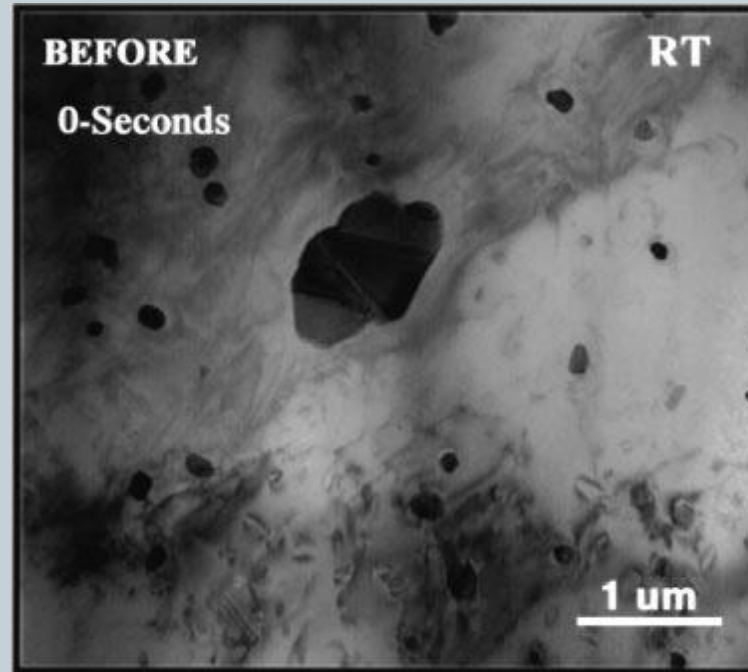
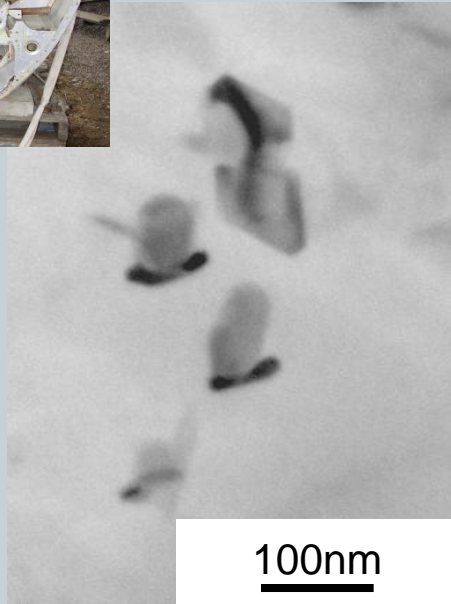


A-U4G



# Avancement – Résultats acquis

15



R. Alani and M. Pan,  
*In situ transmission electron microscopy studies and real-time digital imaging*,  
*Journal of Microscopy-Oxford*, vol. 203, pp. 128-133, Jul, 2001.

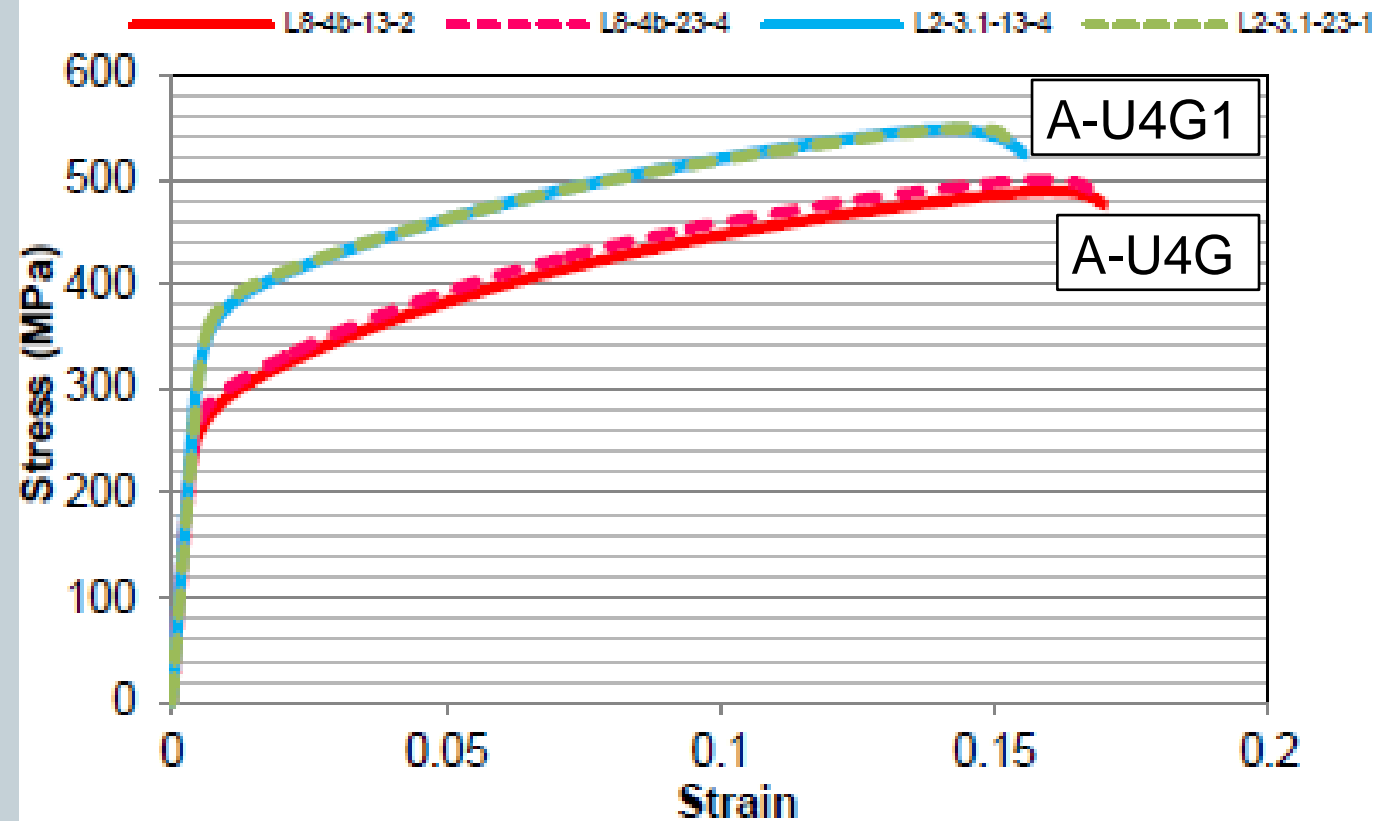
# Avancement – Résultats acquis

16



Kailin Zhu

## Courbe moyenne L8 et L2





# Avancement – Résultats acquis

17

		condition	Charge de rupture Kg/mm <sup>2</sup>	Limite élastique Kg/mm <sup>2</sup>	Allongement %
Breguet Cara mini (1954)	A-U4G	495° vieilli 4 jours	40	27	15
RA 1954	A-U4G	nc	43-54	26-45	11-25

		condition	Charge de rupture Kg/mm <sup>2</sup>	Limite élastique Kg/mm <sup>2</sup>	Allongement %
Breguet Cara mini (1954)	A-U4G1	500° vieilli 4 jours	45	32	14
RA 1954	A-U4G1	Nc	44-58	31-46	21-10

# Avancement – Résultats acquis

18

		condition	Charge de rupture Kg/mm2	Limite élastique Kg/mm2	Allongement %
Breguet Cara mini (1954)	A-U4G	495° vieilli 4 jours	40	27	15
RA 1954	A-U4G	nc	43-54	26-45	11-25
mesures	A-U4G	-	43	27	17
		condition	Charge de rupture Kg/mm2	Limite élastique Kg/mm2	Allongement %
Breguet Cara mini (1954)	A-U4G1	500° vieilli 4 jours	45	32	14
RA 1954	A-U4G1		44-58	31-46	21-10
mesures	A-U4G1		49	35	15

# a) Intérêt du caractère interdisciplinaire

19

- Premier retour d'expérience
- Permis d'installer une collaboration avec les laboratoires:
  - Framespa
  - Cirimat
  - Traces

## b) difficultés rencontrées

20

- Documentation dispersée et lacunaire
- Pas d'information sur l'état initial
- Les généralité sont difficiles à faire :
  - Grande taille de l'avion
  - Limité dans le choix des pièces étudiées
  - On ne peut pas se fier à la nomenclature de l'alliage (A-U4G rivet/tôle – A-U4G1 tôle/méplats)
  - les test mécaniques sont dépendants de la pièce choisis (tôle, pièce de structure) et de son état  
→ beaucoup d'analyses sont nécessaires sans forcément en connaître l'utilité au départ.

# Perspectives :

## a) pour le doctorant

21

### Découverte

- du monde des laboratoires
- de l'histoire des sciences et techniques
- du patrimoine industriel

### Motivation

- Vitesse de la perte d'information
- Travail en équipe et avec les bénévoles de l'association
- Démarrage d'une étude

### Souhait

- Histoire des sciences et techniques
- Travailler à l'interface sciences/histoire

# Perspectives :

## b) pour le projet

22

- Au Cemes:
  - Nouvel axe de recherche avec l'arrivée d'un nouveau membre dans l'équipe
  - Collaboration avec l'équipe PPM (Physique de la Plasticité et Métallurgie)
  - Collaboration avec le bureau d'étude
- Projets et collaboration en dehors du Cemes:
  - Projet NEXT StelAir financé (Cirimat)
  - Base de données des alliages d'aluminium aéronautiques et leur normes (Framespa)