



■ ■ ■

STRRES – FRTP Auvergne

Protection des
ouvrages métalliques.

Jeudi 4 décembre 2014 - Clermont-Ferrand

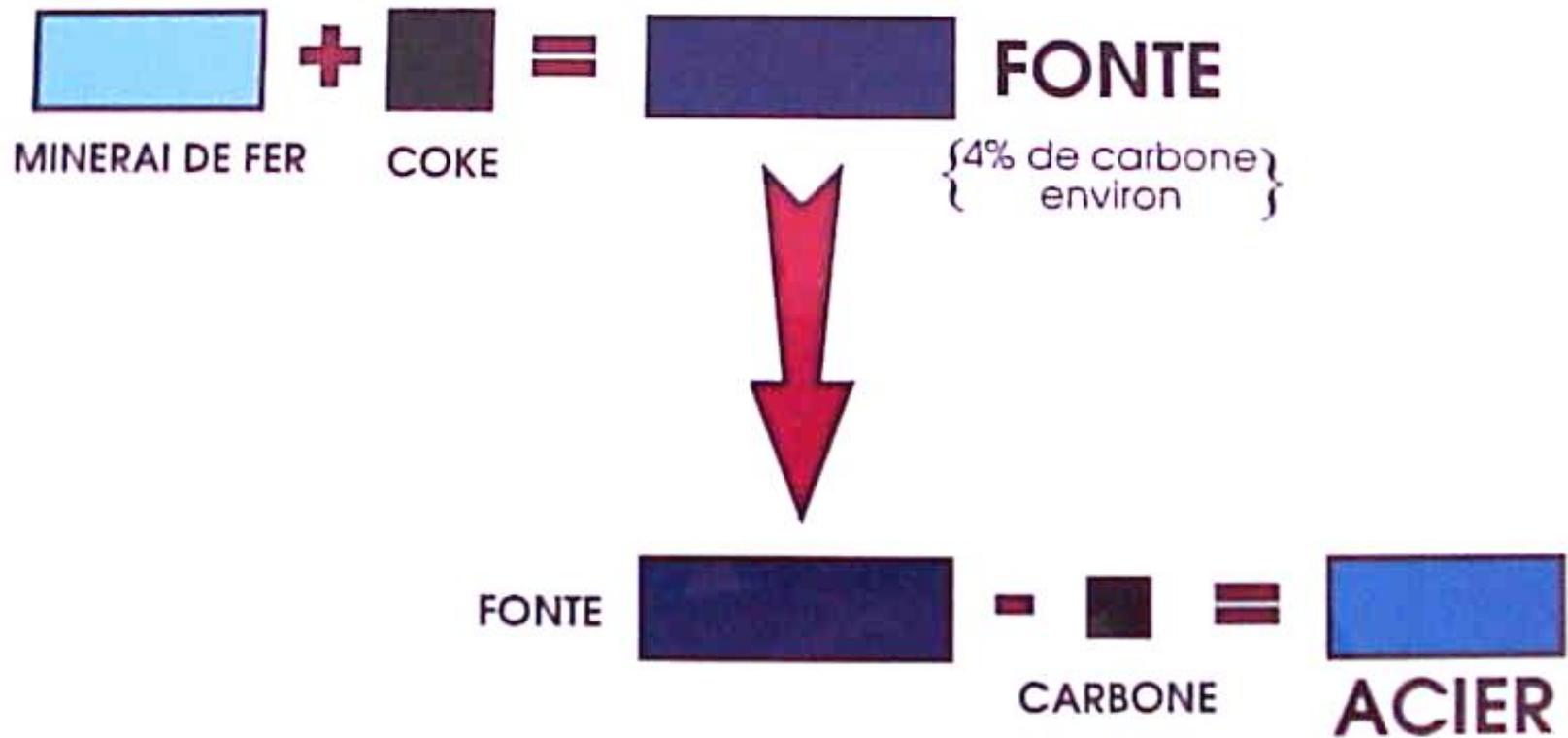
**COMPORTEMENT DES
STRUCTURES MÉTALLIQUES**

Matériaux et pathologies

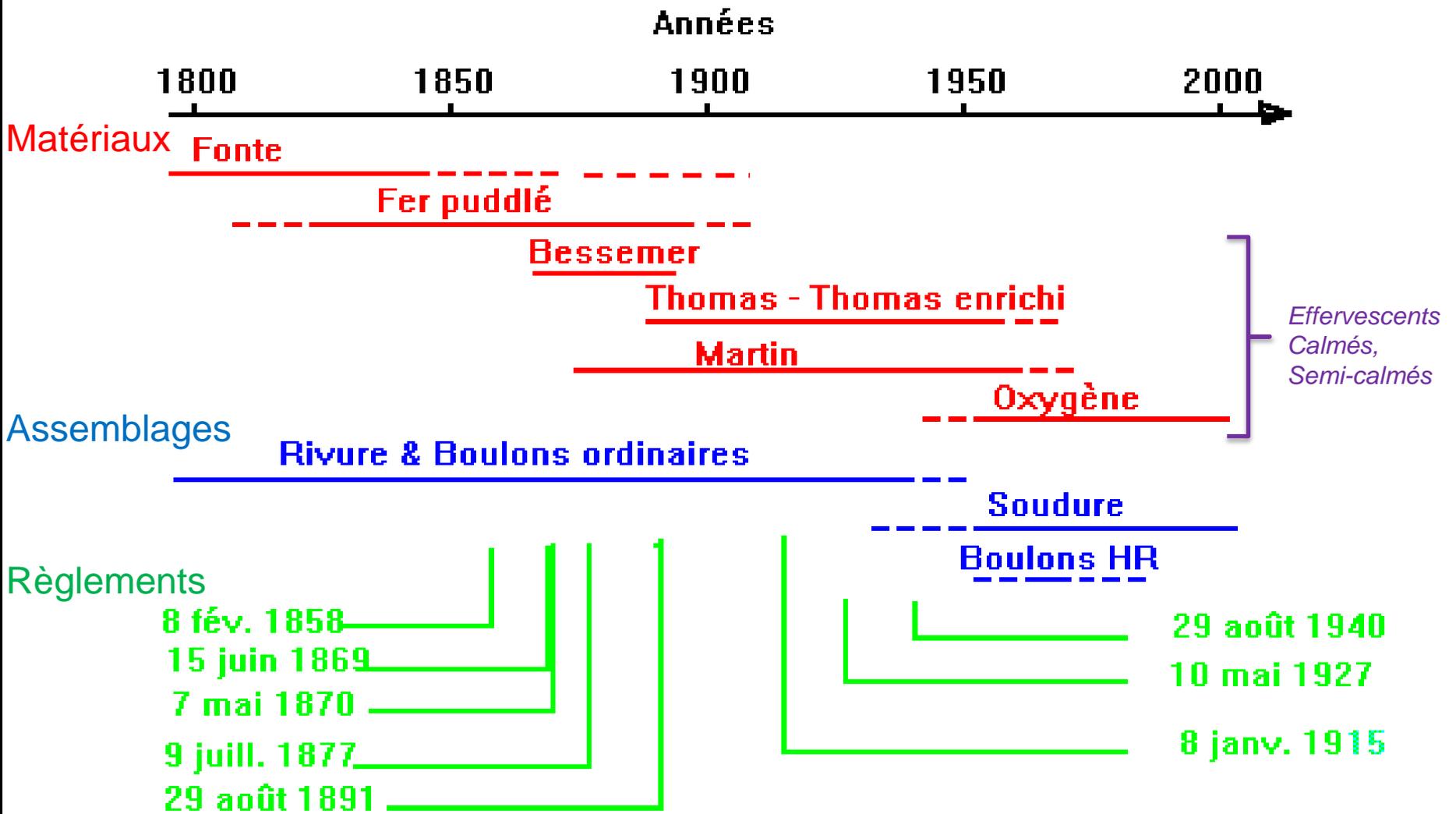
Jean – Paul PERSY - **Consultant**

Élaboration de l'acier :

DU FER A L'ACIER



Historique matériaux & règlements :



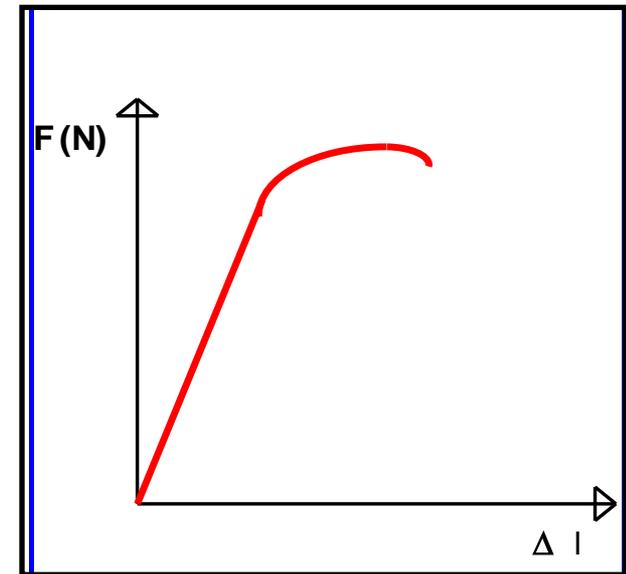
FONTE : 1780 → 1900 env.

- $50 < \sigma_e < 100$ MPa
- $100 < \sigma_r < 150$ MPa
- $1\% < A < 8\%$

- MOULABLE, PEU SENSIBLE A LA CORROSION
- CARACTERISTIQUES MEDIOCRES, **FRAGILE**,
NON SOUDABLE.
- **1er OA EN FRANCE : PARC DE DRANCY : 1780.**



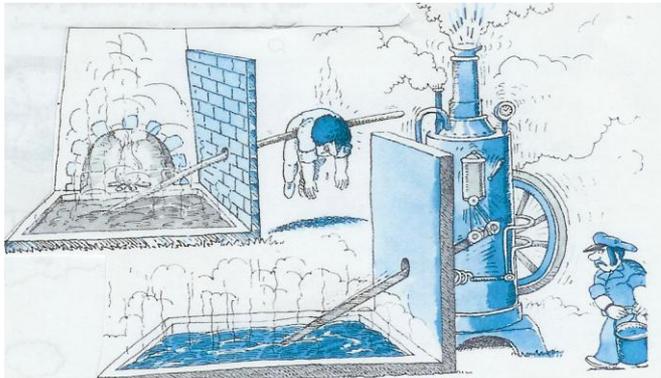
■ Pont de Coabrookdale
- GB - 1779 - Iron
bridge. Matériau : fonte
■ Arc 30 m sur la Severn
■ Conception : Abraham
Darby III



Fonte à graphite lamellaire à eutectique
phosphoreux (staedite).

FER PUDDLE : ~1830 → 1915

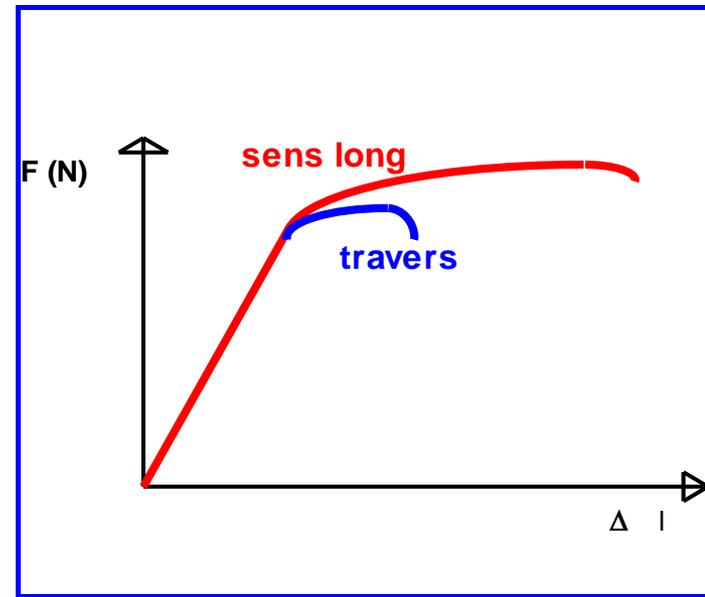
- Invention en 1784 en GB.
- **EN FAIT → ~ 1900**
 - $180 < \sigma_e < 300 \text{ N/mm}^2$
 - $250 < \sigma_r < 400 \text{ N/mm}^2$
 - $5 \% < A < 25 \%$
- **INCLUSIONS**, STRUCTURE FEUILLETEE.
- TRES FAIBLE DOMAINE PLASTIQUE, FRAGILE
- **SOUISIBLE AVEC PRECAUTIONS**



1784 (CORT)

FER PUDDLÉ

1836 : brevet du brassage
mécanique de la fonte.



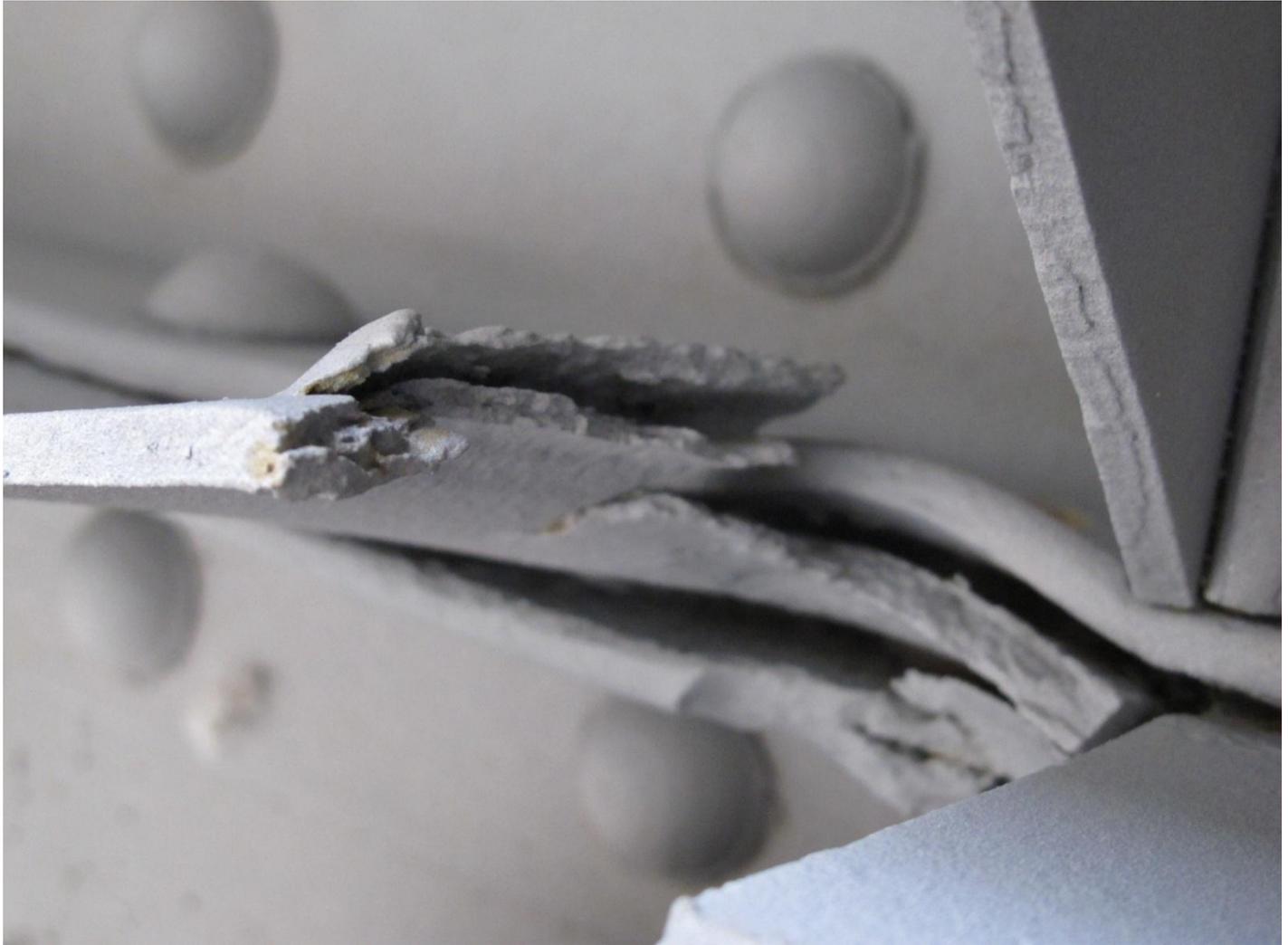
Four à réverbère

Nota : Il existe le puddlage à chaud (état liquide) et le puddlage à sec (état pâteux)

Réalisation en fer puddlé :
Viaduc de Garabit : 1884 – long.: 564.85 m



*Dégradation fer puddlé sous effet de choc –
matériau 1889.*

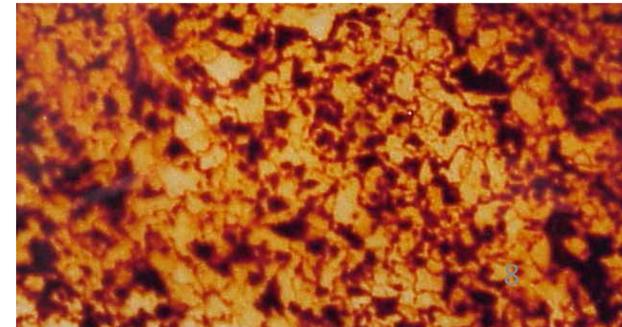


ACIERS : 1900 →

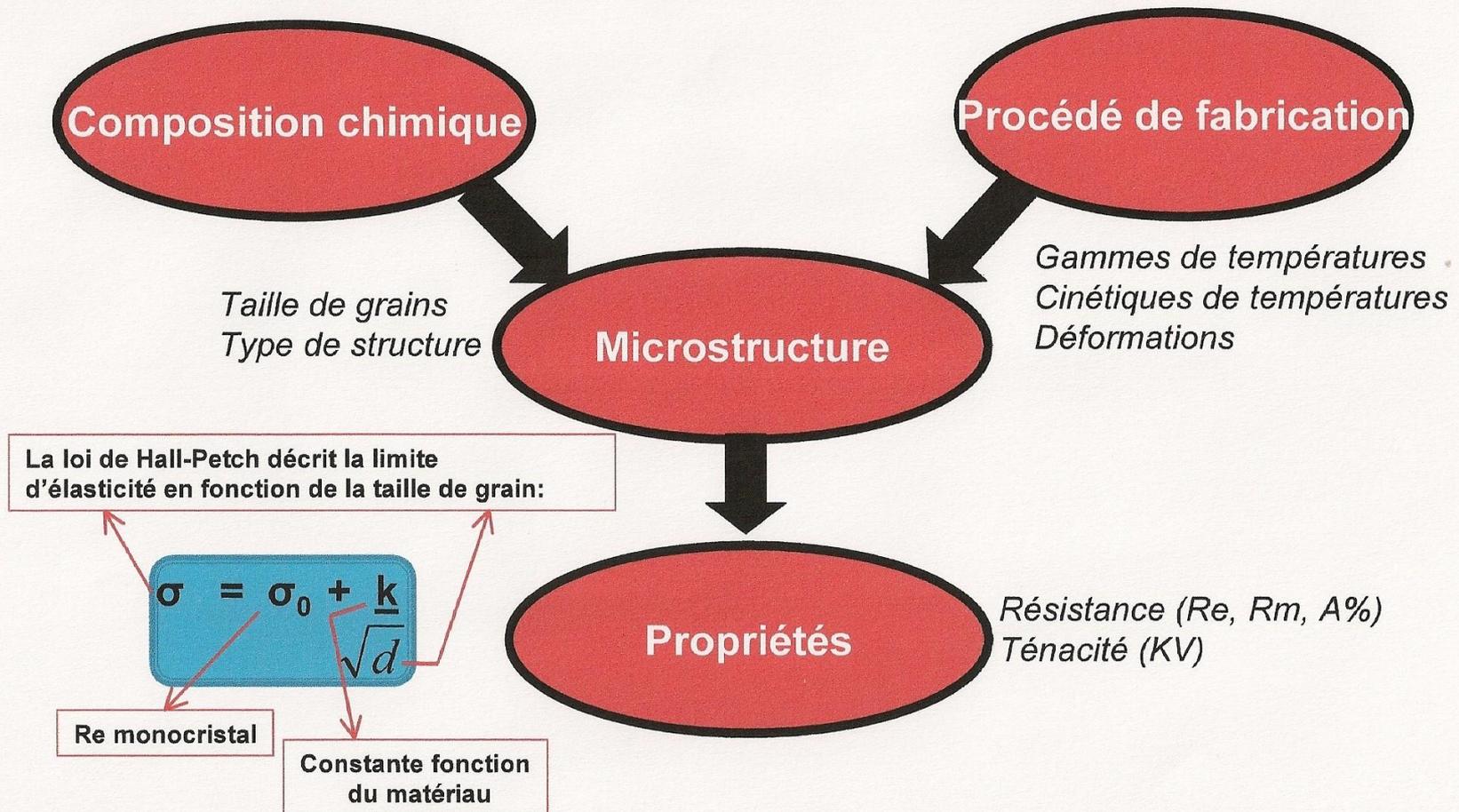
- Bessemer, Thomas, Martin, Oxygène.

	σ_e	σ_r	A
A 42, E 24, S235	$\approx 240 \text{ N/mm}^2$	$\approx 420 \text{ N/mm}^2$	25 - 30 %
A 52, E 36, S355	$\approx 360 \text{ N/mm}^2$	$\approx 520 \text{ N/mm}^2$	22 - 25 %

- Diversité des modes d'élaboration et fabrication
- SOUDABLES, PARFOIS AVEC DIFFICULTES.
- **VERIFIER LE C_{eq} ET L'ETAT INCLUSIONNAIRE.**

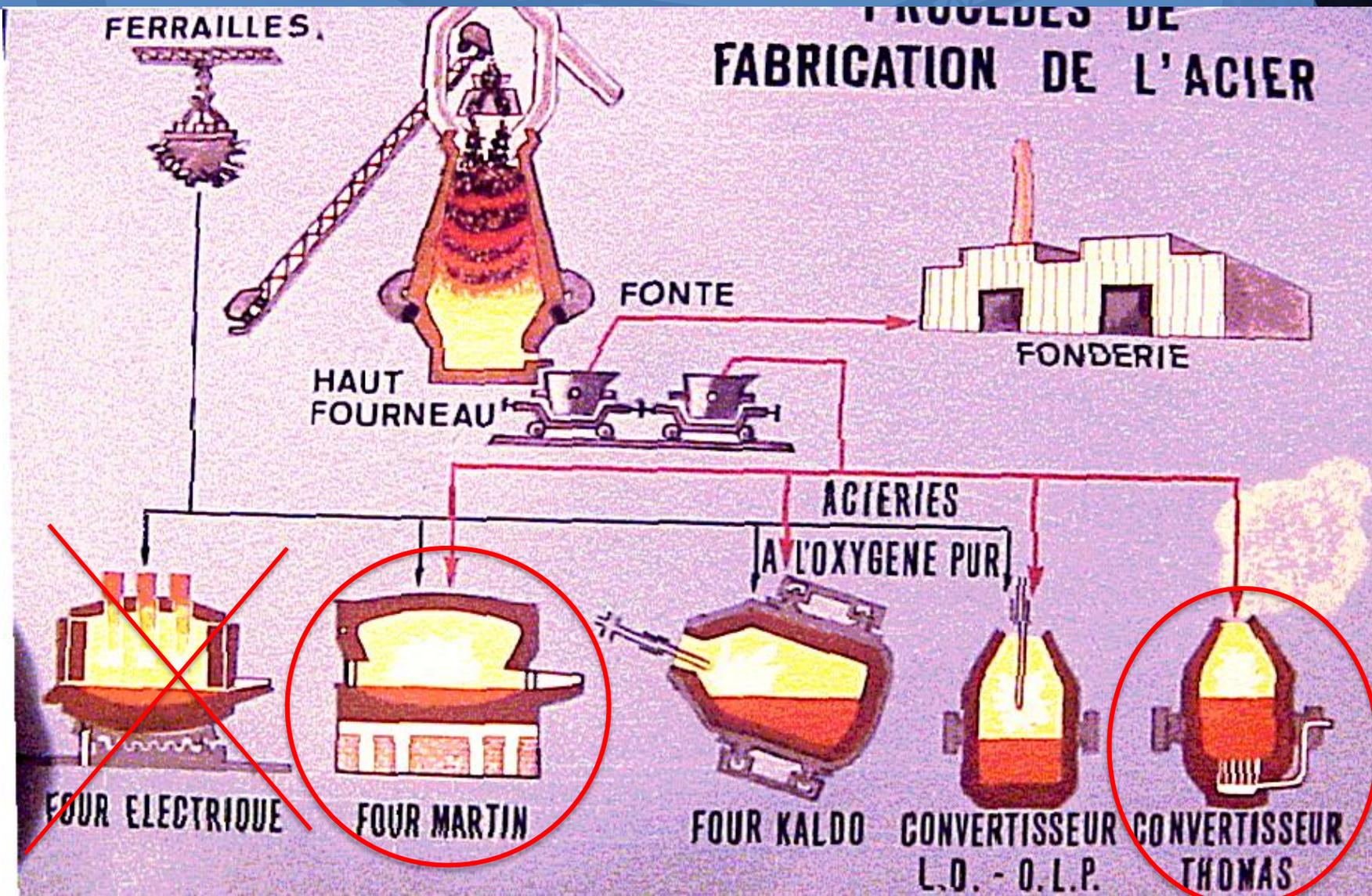


Comment sont obtenues les propriétés mécaniques des aciers ?



Les propriétés des aciers découlent directement de leurs structures métallurgiques, qui elles mêmes découlent de leurs **analyses chimiques** et de leurs **modes d'élaboration**.

Procédés de fabrication de l'acier



Synthèse des règlements anciens (σ_{adm}) :

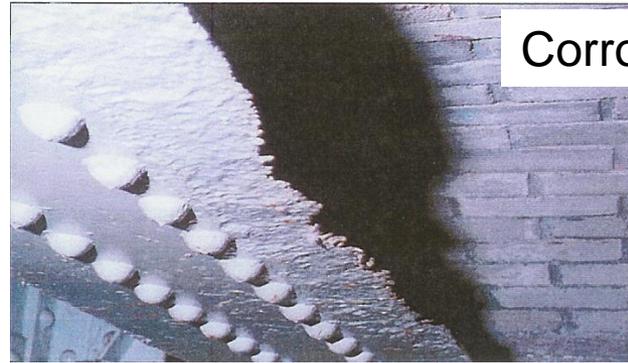
Unités : kg/mm² puis hbar ou daN/mm², puis Mpa ou N/mm²

Contraintes en kg/mm²	Fonte				Fer puddlé	Acier
	T	C	TF	CF	T-C	T-C
Règlement du 15/06/1869	1	5			6	
Règlement du 9/07/1877	1,5	5	3	5	6	
Règlement du 29/08/1891	1,5	6	2,5	6	6,5 ou 8,5	8,5 ou 11,5
Règlement du 8/01/1915	0	7 ou 6,5	0	7 ou 6,5		8 à 13,5
Règlement du 10/05/1927		7 ou 8	1,5			13 ou 14
Circulaire du 7/02/1933					Ac 42 Ac 54	13 ou 14 18 ou 19
Règlement du 19/08/1960					Traction Compression	3/4 N 2/3 N

T : traction – C : compression – TF : traction/flexion – CF : compression/flexion

Bibliographie : article Bulletin Ponts Métalliques n° 20

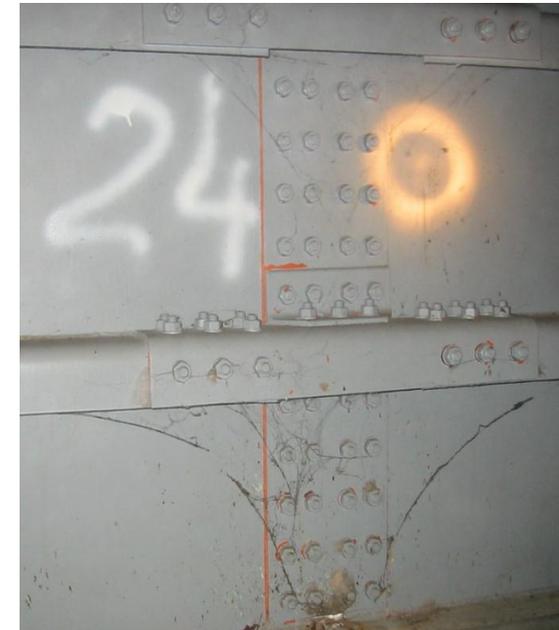
Les principales pathologies :



Corrosion



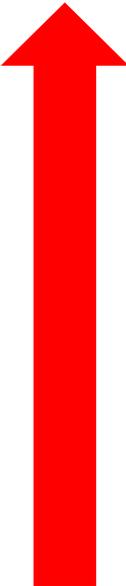
Fatigue sur assemblage soudé



Déconsolidation d'assemblage



Les facteurs de qualité des aciers (hors caractéristiques mécaniques) :

Facteurs de qualité									
	Elaboration	Coulée	traitement	Etat de livraison	Ceq	Gr Grains	inclusions	bridage	
	Oxygène	coulée continue	Calmé	laminage thermomécanique	0,1 	fin 10 	Absence	faible	
				laminage normamaisant			oxydes Aluminates		
	Martin	lingots	Semi calmé	normalisation				moyen	
	Thomas enrichi								
	Thomas			Effervescent	brut	0,45	gros 4	Sulfures Silicates	fort
		Fer puddlé							

Comment caractériser les matériaux ?

Les points à examiner selon les normes de l'époque de construction :

les élaborations : Martin

Thomas

Thomas enrichi

Oxygène

les nuances effervescentes, calmées, ...

les aciers à dispersoïdes

les aciers autopatinables

les aciers thermomécaniques

...

les structures métallographiques

les grosseurs de grains

l'état inclusionnaire

les conditions de soudabilité, de fragilité...

...

Chimie

Métallographie

Essais mécaniques

Avis d'expert

Pont de T... -(1951): Chimie des aciers :

Élaboration vraisemblablement Thomas

Non réalisé,
aurait confirmé
le mode
d'élaboration

Pont de Trinquetaille	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	As	Cu	Sn	Ti	V	Nb	B	N	Ceq
Tôle repère 1	0,018	0,000	0,456	0,041	0,038	0,017	0,003	0,042	0,004	0,042	0,029	0,002	0,000	0,000	0,000	0,022		0,103
Tôle repère 2	0,009	0,000	0,401	0,057	0,041	0,019	0,003	0,040	0,003	0,051	0,018	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002		0,085
Cornière repère 4	0,010	0,000	0,247	0,049	0,031	0,008	0,002	0,037	0,004	0,046	0,009	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002		0,059
Cornière repère 5	0,023	0,000	0,251	0,025	0,018	0,005	0,002	0,040	0,004	0,048	0,015	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001		0,074

Très faible teneur en C, élaboration non contrôlée.

Pas de compensation de Mn

Aciers effervescents, non calmé Si, Al

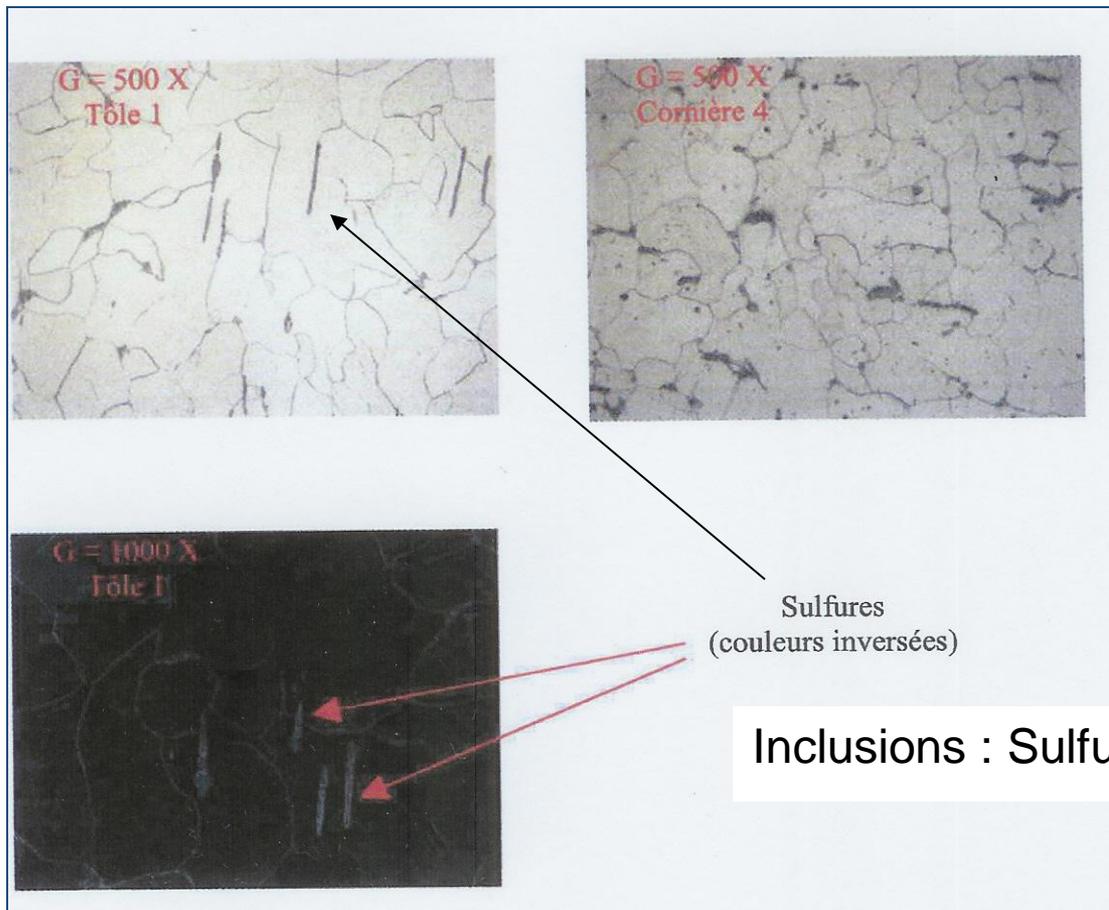
Résiduels élevés en impuretés, P élément fragilisant.

Aciers sans dispersoïdes,

Caractéristique d'un acier lorrain

Ceq non significatif vis à vis de la soudabilité.

Pont de T... : Métallographie.



Grosseur de grain : 6

Refroidissement non contrôlé avec grossissement de grains \nearrow fragilité.

Sulfures
(couleurs inversées)

Inclusions : Sulfures, grade A5

Pont de T... : Caractéristiques de traction.

Échantillon	Limite élastique ($R_{p0,2}$) N/mm ²	Rupture (R_m) N/mm ²	Allongement après rupture (%)
Repère 1	318	393	11,2
Repère 2	298	339	9,7
Repère 4	265	344	27,0
Repère 5	285	352	36,9

E conforme aux spécifications de l'époque pour Ac42

R non conforme aux spécifications de l'époque pour Ac42

Très faible déformation plastique acier fragile < aux spécifications de l'époque.

Pont de T... : Résilience.

Échantillon	Température	Energie de rupture moyenne
Repère 1	+20°C	13,2 J
	0°C	3,6 J
Repère 2	+20°C	42,6 J
	0°C	11,9 J
Repère 4	+20°C	31,8 J
	0°C	6,5 J
Repère 5	+20°C	37,4 J
	0°C	9,2 J

Caractéristique non contrôlée à l'époque.

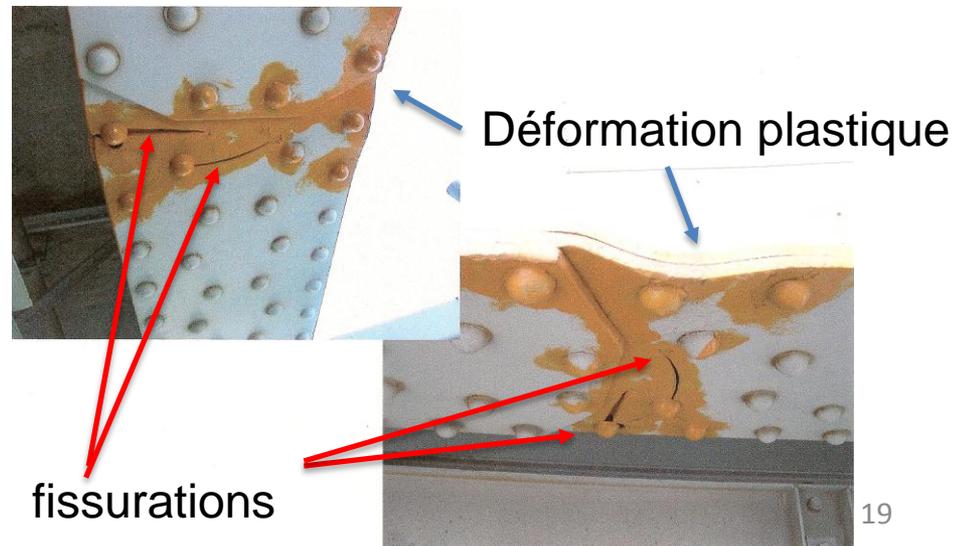
Spécification actuellement imposée vis à vis de la soudabilité KCV 27J à -20° C.

Pont de T... : Conclusion des essais métallurgiques.

- Aciers effervescents (non calmé Si, Al) d'élaboration vraisemblablement Thomas et d'origine lorraine.
- Livraison avant parution du 1er fascicule 4 titre III et normes.
- Aciers non conformes aux spécifications de l'époque (Cahier des charges général de 1956) pour l'acier Ac42.
 - Charge de rupture et allongement → Manque de ductilité, fragilité.
- Résilience (non spécifiée à l'époque) incompatible avec les critères de soudabilité actuels.



Fragilité au choc



- Merci pour votre attention

