

# Travaux dirigés de métallurgie

Aciers au carbone

# Exercice 1

(5-12-19)

Trois barreaux A, B, C d'aciers au carbone ont été acquis pour différentes utilisations.

- Le barreau A présente un pourcentage de 0,3% de carbone
  - Le barreau B présente un pourcentage de 0,77% de carbone
  - Le barreau C présente un pourcentage de 1,2% de carbone
- 1) Classe ces trois barreaux dans le diagramme d'équilibre suivant leur teneur en carbone
  - 2) Déterminer la constitution des trois alliages à l'équilibre
  - 3) Schématiser la microstructure de ces alliages à l'équilibre
  - 4) Donner le pourcentage des différents constituants de ces trois alliages à l'équilibre
  - 5) Que se passe-t-il lorsque ces trois matériaux sont chauffés au dessus de 768°C

On donne le diagramme d'équilibre Fe-C

# Exercice 2

(5-12-19)

Soit les trois matériaux suivants, l'acier C18, l'acier 42CrMo4, l'acier X2CrNi18-10 et la fonte EN-GJS 700-2

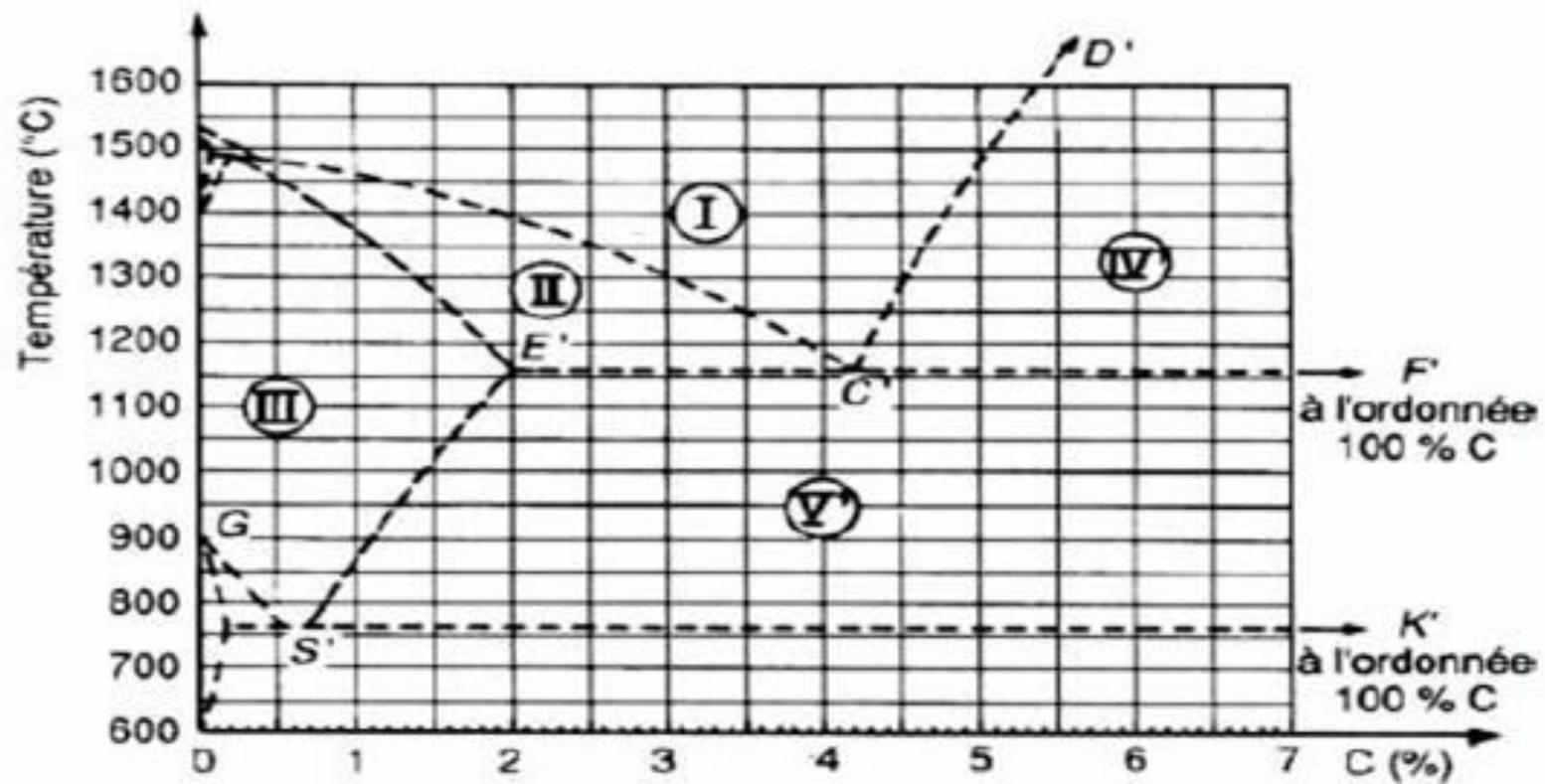
- 1) Identifier ces quatre matériaux
- 2) Quel est le taux de carbone contenu dans chacun de ces matériaux?
- 3) Classer ces matériaux suivant leurs propriétés magnétiques
- 4) Classer ces matériaux suivant leur dureté

# Exercice 3

(5-12-19)

- Soit un acier non allié à 0,5% de carbone désigné par A
  - 1) Quelles sont les phases constitutives de cet acier
  - 2) Donner le pourcentage des phases constituantes de cet acier
- Soit un acier non allié à 1% de carbone désigné par B
  - 3) Quelles sont les phases constitutives de cet acier
  - 4) Donner le pourcentage des phases constituantes de cet acier
  - 5) Classer ces deux aciers en fonction de leur dureté
  - 6) Sachant que la perlite est deux fois plus dure que la ferrite, que la cémentite est 3,5 fois plus dure que la perlite, donner un ordre de grandeur de rapport approximatif, de dureté entre les deux aciers

Donnée : le diagramme d'équilibre Fe-C



- I liquide
- II liquide +  $\gamma$
- III solution solide  $\gamma$
- IV' liquide + graphite
- V'  $\gamma$  + graphite

Figure 2 - Diagramme stable fer-graphite

# LES ACIERS

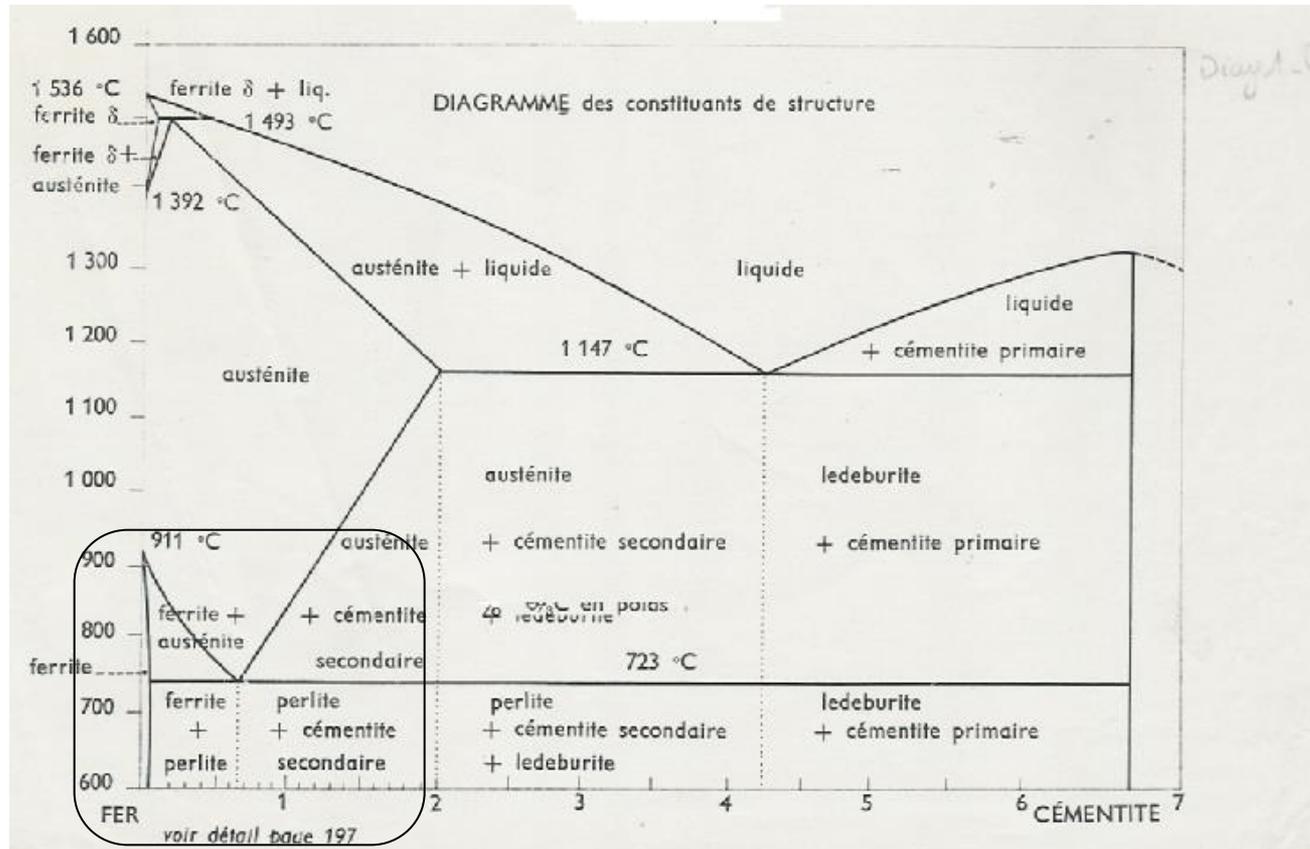
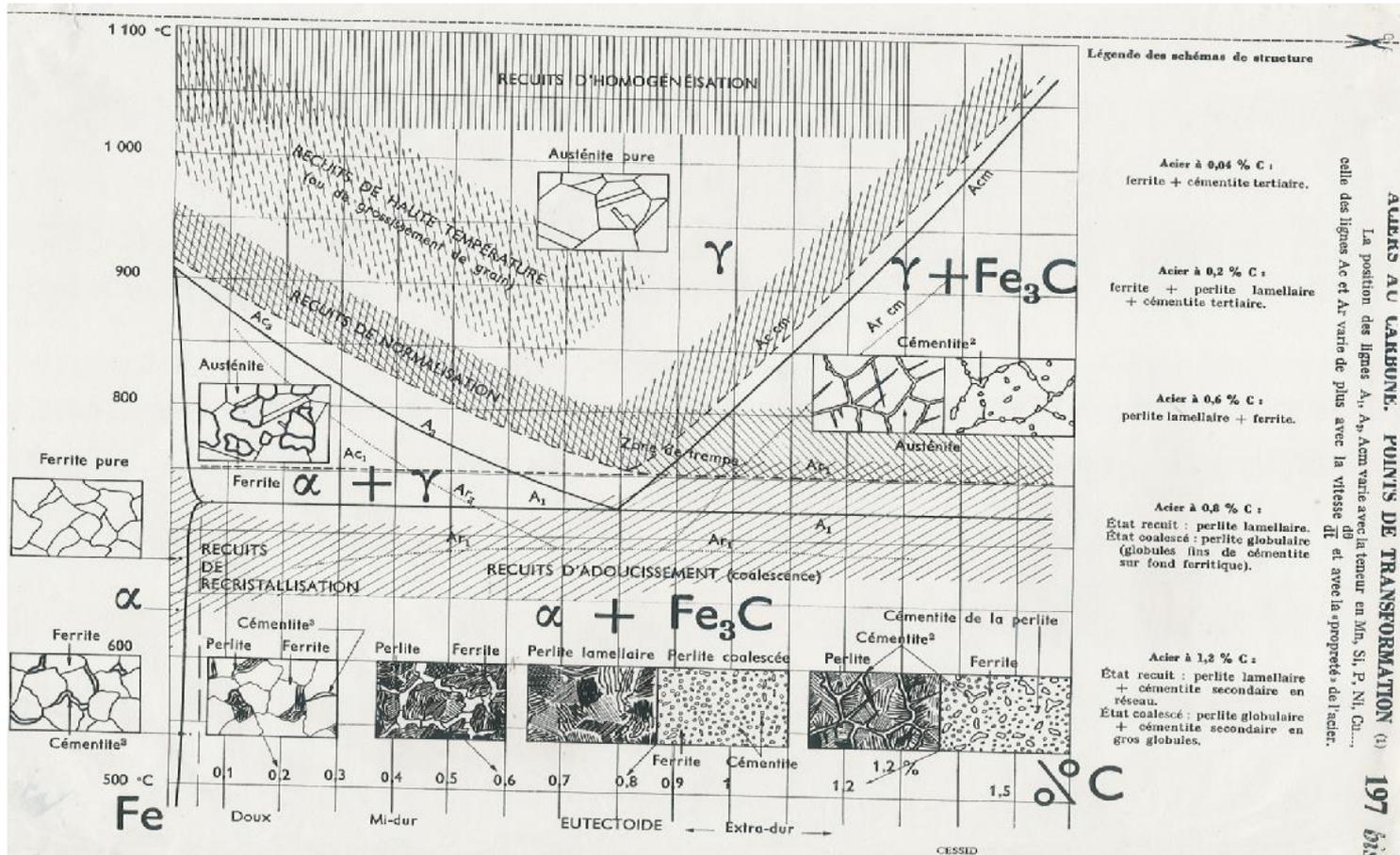


Diagramme fer – carbone

# LES ACIERS



**Diagramme fer – carbone  
(Partie aciers)**

## Exercice 4 (5-12-19)

Le comportement en traction des alliages est un outil d'aide à la décision des processus de mise en forme et au choix de ses paramètres opératoires. On dispose dans cet exercice des données expérimentales issues d'un essai de traction exercé sur un alliage industriel destiné à l'industrie de carrosserie automobile en vue d'extraire ses caractéristiques mécaniques.

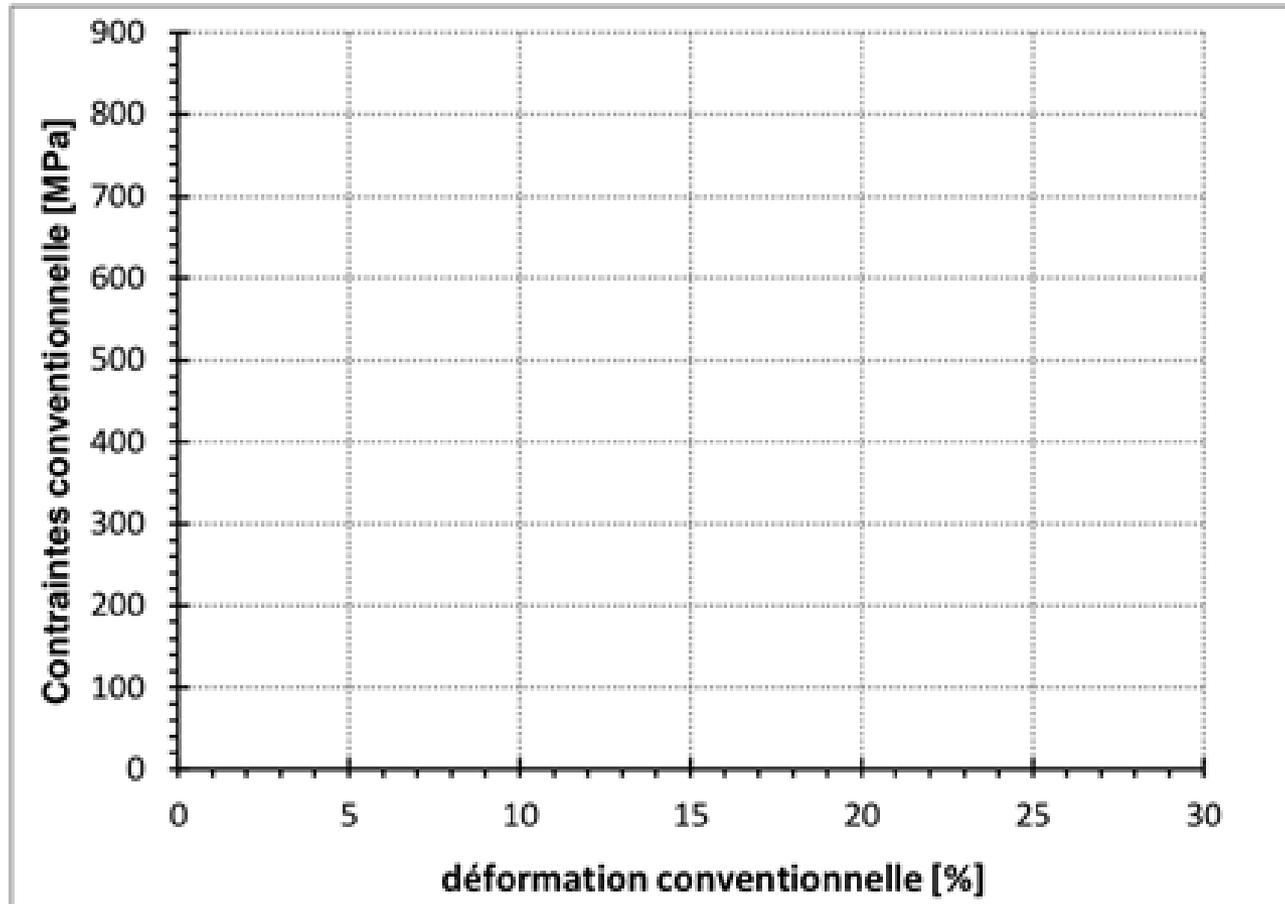
- 1) Décrire l'intérêt industriel de comprendre et de modéliser le comportement élasto-plastique des alliages industriels.
- 2) Illustrer graphiquement la courbe correspondant au tableau suivant, en déduire les caractéristiques mécaniques, tout en précisant, notamment, leurs unités :

|                        |   |     |      |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |
|------------------------|---|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|
| $\epsilon_c(\%)$       | 0 | 0.6 | 02.8 | 4   | 6   | 8   | 11  | 13  | 16  | 18  | 21.5 | 25  | 28  |
| $\sigma_c[\text{MPa}]$ | 0 | 461 | 520  | 566 | 630 | 670 | 715 | 738 | 765 | 784 | 801  | 757 | 565 |

- a- la limite d'élasticité  $R_e$ , b- La résistance minimale à la traction  $R_m$ , c- La limite conventionnelle d'élasticité  $R_{e0,2}$ , d- Le module d'élasticité  $E$ , e- L'allongement à la rupture  $A\%$

# Exercice 4 (suite)

|                        |   |     |      |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |
|------------------------|---|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|
| $\varepsilon_c(\%)$    | 0 | 0.6 | 02.8 | 4   | 6   | 8   | 11  | 13  | 16  | 18  | 21.5 | 25  | 28  |
| $\sigma_c[\text{MPa}]$ | 0 | 461 | 520  | 566 | 630 | 670 | 715 | 738 | 765 | 784 | 801  | 757 | 565 |



## Exercice 4 (suite)

3) En supposant que le matériau étudié est un acier non allié, et en exploitant la table de conversion des duretés, donner la dureté de ce matériau.

4) En exploitant les fiches suivantes, dire si cet acier est compatible avec les aciers dédiés à la fabrication des tôles ?

TOLES ET FILS  
EN ACIER DOUX OU EXTRA-DOUX

2.1

500 : 1

Acier extra-doux à 0,1 % C. HV = 100.

*Attaque au nital.*

Fond clair ferritique. Le refroidissement lent au four (150°/h entre 900° et 500 °C) a donné une perlite lamellaire (plages sombres vergées) et de la cémentite tertiaire en vermicules clairs aux joints de la ferrite et autour des plages perlitiques 45/20.

Inclusions rondes en 40/50, la section polie étant perpendiculaire à la direction de laminage.

(1)

2.2

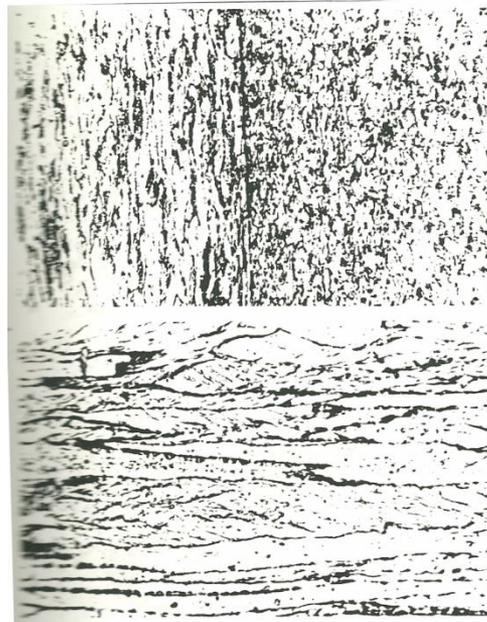
500 : 1

Même acier que 2.1, mais refroidi à l'air (de 900 °C à 500 °C en 5 min.). Hv = 105.

*Attaque au nital.*

Plages noires de perlite fine. Un peu de cémentite tertiaire aux joints de la ferrite. Alignements d'inclusions noires en h/16 et h/11, la section polie étant parallèle à la direction de laminage.

(1)



7.1

200 : 1

Tôle en acier extra-doux laminée à froid, 60 % d'écroutissage. HV = 255.

*Attaque au nital.*

Coupes dans l'épaisseur de la tôle. Le plan de laminage est ici vertical. Partie gauche : sens long; partie droite : sens travers.

(1)

7.2

1 000 : 1

Échantillon 7.1 (sens long, plan de laminage horizontal) vu à fort grossissement.

*Attaque au nital.*

Grains de ferrite très allongés dans le sens de la déformation et garnis de stries entrecroisées, vestiges des lignes de glissement produites par l'écroutissage. Certains grains d'orientation cristallographique privilégiée sont exempts de ces marques. La cémentite tertiaire est un peu morcelée et difficilement visible.

(1)



7.3

1 000 : 1

Échantillon 7.1, (sens travers, plan de laminage horizontal) vu à fort grossissement.

*Attaque au nital.*

Les grains de ferrite sont assez peu allongés. Ils renferment également des traces de plans de glissement. Quelques inclusions noires et arrondies (coupe en travers du fibrage).

(1)

7.4

1 000 : 1

Acier extra-doux martelé à froid en tous sens : les grains de ferrite restent à peu près équiaxes mais ont durci : HV = 300 contre HV = 95 à l'état recuit.

*Attaque au nital.*

L'attaque donne une image assez imprécise : les joints de grains en dentelle et les lignes irrégulières de glissement indiquent clairement les distorsions internes de la ferrite (qui confèrent une dureté élevée à l'ensemble).



2.1

500 : 1

Acier extra-doux à 0,1 % C. HV = 100.

*Attaque au nital.*

Fond clair ferritique. Le refroidissement lent au four (150°/h entre 900° et 500 °C) a donné une perlite lamellaire (plages sombres vergées) et de la cémentite tertiaire en vermicules clairs aux joints de la ferrite et autour des plages perlitiques 45/20.

Inclusions rondes en 40/50, la section polie étant perpendiculaire à la direction de laminage.

(1)

2.2

500 : 1

Même acier que 2.1, mais refroidi à l'air (de 900 °C à 500 °C en 5 min.).  
Hv = 105.

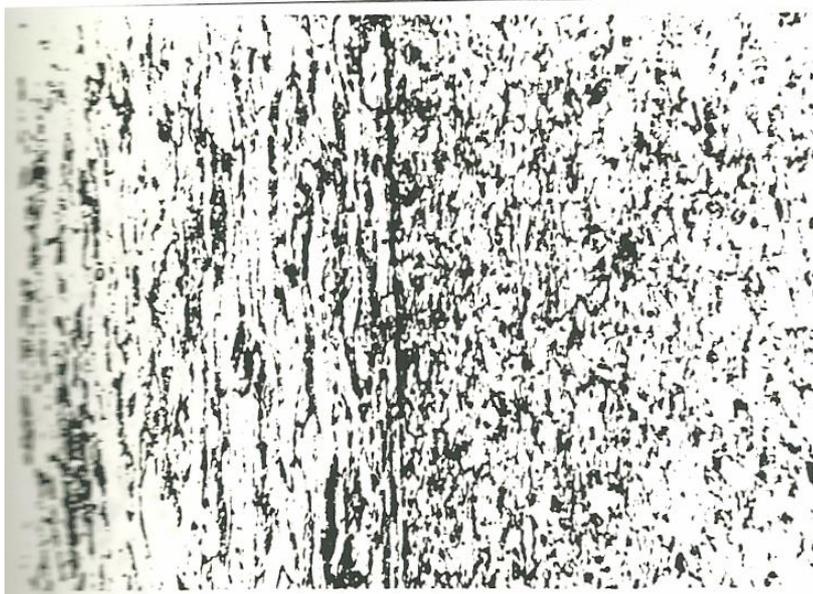
*Attaque au nital.*

Plages noires de perlite fine. Un peu de cémentite tertiaire aux joints de la ferrite. Alignements d'inclusions noires en h/16 et h/11, la section polie étant parallèle à la direction de laminage.

(1)

## ÉTAT ÉCROUI

### TOLES ET FILS EN ACIER DOUX OU EXTRA-DOUX



7.1

200 : 1

Tôle en acier extra-doux laminée à froid, 60 % d'écroissage.  
HV = 255.

*Attaque au nital.*

Coupes dans l'épaisseur de la tôle. Le plan de laminage est ici vertical.  
Partie gauche : sens long; partie droite : sens travers.

(1)



7.2

1 000 : 1

Échantillon 7.1 (sens long, plan de laminage horizontal) vu à fort grossissement.

*Attaque au nital.*

Grains de ferrite très allongés dans le sens de la déformation et garnis de stries entrecroisées, vestiges des lignes de glissement produites par l'écroissage. Certains grains d'orientation cristallographique privilégiée sont exempts de ces marques. La cémentite tertiaire est un peu morcelée et difficilement visible.

(1)



7.3

1 000 : 1

Échantillon 7.1, (sens travers, plan de laminage horizontal) vu à fort grossissement.

*Attaque au nital.*

Les grains de ferrite sont assez peu allongés. Ils renferment également des traces de plans de glissement. Quelques inclusions noires et arrondies (coupe en travers du fibrage).

(1)



7.4

1 000 : 1

Acier extra-doux martelé à froid en tous sens : les grains de ferrite restent à peu près équiaxes mais ont durci : HV = 300 contre HV = 95 à l'état recuit.

*Attaque au nital.*

L'attaque donne une image assez imprécise : les joints de grains en dentelle et les lignes irrégulières de glissement indiquent clairement les distorsions internes de la ferrite (qui confèrent une dureté élevée à l'ensemble).







Le comportement en traction des alliages industriels est un outil d'aide à la décision des processus de mise en forme et au choix de ses paramètres opératoires. On dispose dans ce premier exercice des données expérimentales issues d'un essai de traction unidirectionnelle exercé sur un alliage industriel destiné pour l'industrie de carrosserie automobiles en vue d'extraire ses caractéristiques mécaniques.

*1.* Décrire l'intérêt industriel de comprendre et de modéliser le comportement élasto-plastique des alliages industriels.

2. Tracer la courbe conventionnelle sur la **figure 1** ci-dessous décrivant l'évolution des contraintes en fonction des déformations.

- Limite conventionnelle d'élasticité.  $R_{e0,2}$  :.....
- Module d'élasticité.  $E$  : .....
- Allongement à la rupture.  $A\%$  :.....

3. Déduire et illustrer graphiquement sur la courbe de la figure 1 les caractéristiques mécaniques suivantes tout en précisant, notamment, leurs unités:

- Limite d'élasticité.  $R_e$  :.....
- Résistance minimale à la traction.  $R_m$  :.....

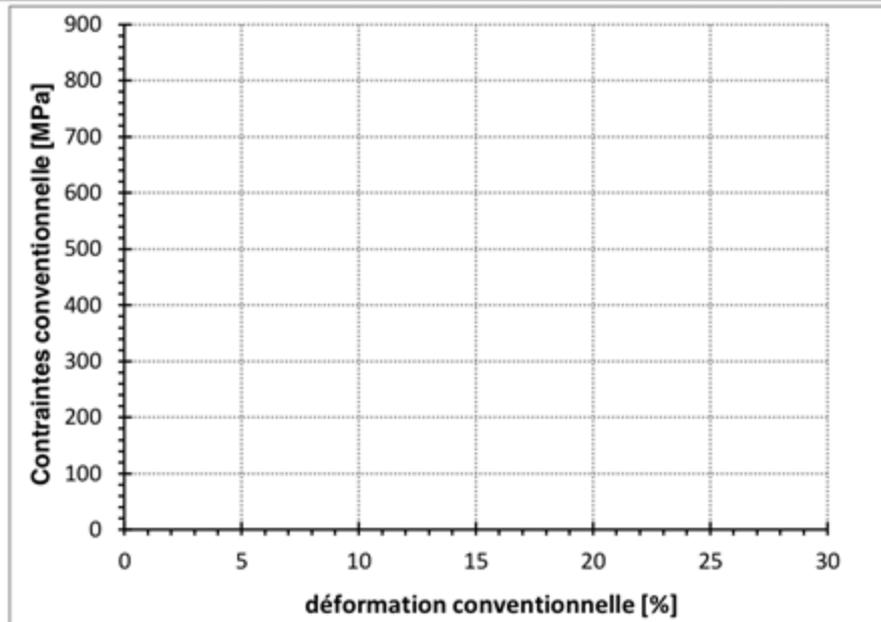
- Limite conventionnelle d'élasticité.  $R_{e0.2}$  : .....
- Module d'élasticité.  $E$  : .....
- Allongement à la rupture.  $A\%$  : .....

4. Expliquer pourquoi nous devons se limiter au domaine à comportement plastique en déformation homogène pour étudier l'écrouissage des matériaux.





|                     |   |     |      |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |
|---------------------|---|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|
| $\varepsilon_c$ (%) | 0 | 0.6 | 02.8 | 4   | 6   | 8   | 11  | 13  | 16  | 18  | 21.5 | 25  | 28  |
| $\sigma_c$ [MPa]    | 0 | 461 | 520  | 566 | 630 | 670 | 715 | 738 | 765 | 784 | 801  | 757 | 565 |



### 9. Applications 1 (Extraits des examens et DS)

#### Exercice 1 : Comportement en traction des matériaux

Le comportement en traction des alliages industriels est un outil d'aide à la décision des processus de mise en forme et au choix de ses paramètres opératoires. On dispose dans ce premier exercice des données expérimentales issues d'un essai de traction unidirectionnelle exercé sur un alliage industriel dual-phases DP600 destiné pour l'industrie de carrosserie automobiles en vue d'extraire ses caractéristiques mécaniques.

1. Décrire l'intérêt industriel de comprendre et de modéliser le comportement élasto-plastique des alliages industriels.

.....

.....

.....

.....

.....

2. Tracer la courbe conventionnelle sur la **figure 1** ci-dessous décrivant l'évolution des contraintes en fonction des déformations.

|                        |   |     |      |     |     |     |     |     |     |     |      |     |     |
|------------------------|---|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|
| $\varepsilon_c(\%)$    | 0 | 0.6 | 02.8 | 4   | 6   | 8   | 11  | 13  | 16  | 18  | 21.5 | 25  | 28  |
| $\sigma_c[\text{MPa}]$ | 0 | 461 | 520  | 566 | 630 | 670 | 715 | 738 | 765 | 784 | 801  | 757 | 565 |







