



JUILLET 2018

Métallurgie de la boule lyonnaise : des cuivreux aux procédés de fonderie 1^{ère} partie : Approche produit.

Pourquoi s'intéresser à la boule lyonnaise alors que nous avons déjà consacré plusieurs newsletters (N°13-14-15) à la boule de pétanque en 2015 ? D'un point de vue métallurgique et mécanique, nous voyons au moins 3 bonnes raisons de s'intéresser à ce produit :

- Ces boules ne sont pas en acier, contrairement à leurs homologues de la pétanque,
- Elles ne sont pas constituées de deux demi-sphères forgées puis assemblées par soudage,
- Elles n'ont pas du tout les mêmes dimensions et le même poids, mais l'objectif est toujours d'être le plus prêt du cochonnet. (Cf. Figure 1 et tableau 1).



Figure 1 : Boule de pétanque Vs boule lyonnaise.

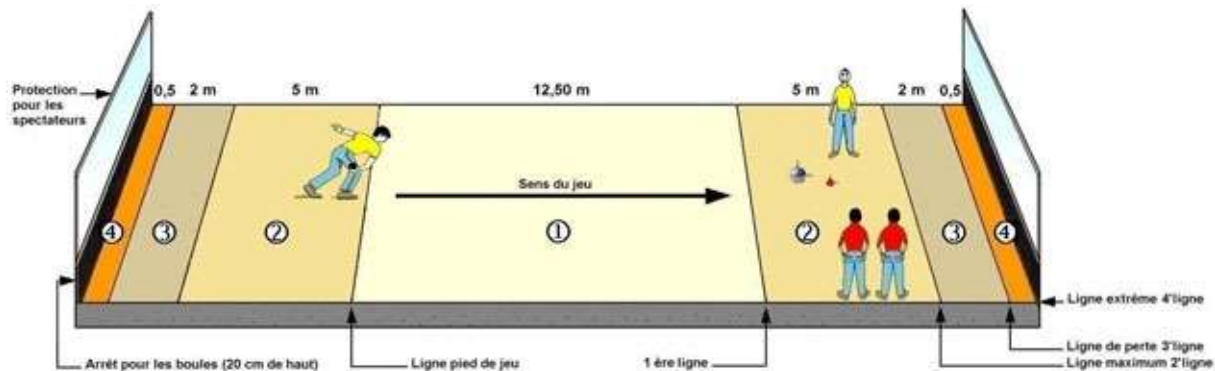
Tableau 1 : Caractéristiques indicatives d'une boule de lyonnaise et d'une boule de pétanque.

	Boule lyonnaise	Boule de pétanque
Masse mini	920 g	650 g
Masse Maxi	1120 g	800 g
Diamètre mini	90 mm	70,5 mm
Diamètre maxi	100 mm	80 mm

En dehors de l'aspect technique, la pratique de la boule lyonnaise est considérée comme la discipline reine des sports de boules, compte tenu des règles très pointilleuses et de la distance (Cf. figure 2) à laquelle les parties se disputent (12,5m minimum alors qu'à la pétanque, les parties se jouent entre 6 et 10m). Vous en conviendrez toutes ces différences peuvent attiser notre curiosité de mécaniciens, de métallurgistes mais avant tout, de boulistes...



JUILLET 2018

Figure 2 : Schéma du terrain de boule lyonnaise (<http://www.ffsb.asso.fr>).

Dans la première partie de cet article, nous décrirons le produit d'un point de vue métallurgique (structure, composition chimique, dureté). Nous poursuivrons ensuite ce sujet, en nous intéressant aux procédés de fabrication pour réaliser ce produit.

I. Caractérisations macrographiques et micrographiques d'une boule lyonnaise

a) Observations macroscopiques

Lorsque l'on observe de près ce produit, on remarque que la couleur jaunâtre est quasi uniforme sauf à deux endroits diamétralement opposés où l'on peut discerner des « pastilles » plus rougeâtres (Cf. figure 3). On s'aperçoit, après tronçonnage, que la sphère semble être réalisée d'un seul bloc et que les pastilles « rougeâtres » sont, en fait, deux vis. Il a donc fallu reboucher deux orifices à l'aide de ces vis après élaboration de la sphère.



Figure 3 : Boule lyonnaise : vues extérieure et intérieure

Après tronçonnage, une autre surprise nous attend, la boule est remplie d'élastique et d'éléments type ressort, cette particularité est caractéristique des boules lyonnaises dites « racleuses » (Cf. Figure 4). Cette conception permet d'amortir très sensiblement les rebonds par transfert d'énergie



JUILLET 2018

vers la masse interne. On peut trouver dans des boules plus récentes des centaines de billes en polymère. [Brio de chez Pétanque Europe]



Figure 4 : Caractéristiques d'une boule lyonnaise dite « racleuse »

b) Observations micrographiques

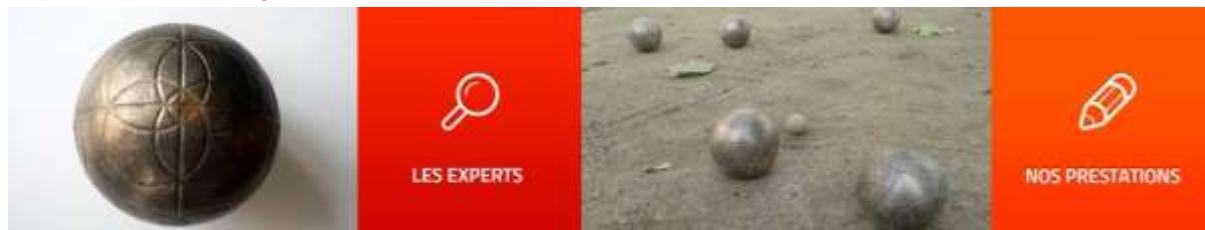
Afin d'identifier la matière de la sphère et des vis de la boule étudiée, des observations au microscope optique après une attaque chimique au perchlorure de fer ont été réalisées. (Cf Figures 5 et 6).



Figure 5 : Structure métallurgique de la vis. Figure 6 : Structure métallurgique de la sphère.

Ces deux structures métallurgiques sont très caractéristiques de 2 grandes familles d'alliages cuivreux.

- Pour la vis, nous sommes en présence d'une structure granulaire composée de deux phases (grains clairs : phase α et phase β' pour les grains foncés), il s'agit d'un laiton à l'état recuit (adouci) dont la teneur en zinc dans le cuivre est proche de 40%.
- Pour la sphère monobloc, nous observons une structure aciculaire (en aiguilles) typique des alliages cuivre-aluminium binaires contenant très souvent entre 8 et 10% d'aluminium (voir plus). La structure est très fine, elle ne correspond



JUILLET 2018

vraisemblablement pas à une structure brute de mise en forme. Ce type d'alliage est prédestiné au monde de la fonderie.

Une cartographie par spectroscopie à rayons X à dispersion d'énergie nous a permis d'obtenir la composition chimique ponctuelle à différents endroits de la boule (Cf. tableau 2).

Tableau 2 : Composition chimique de la sphère monobloc.

Descriptif de spectre	Spectre 4	Spectre 5	Spectre 6	Spectre 7
Al	11.72	12.49	12.71	11.99
Si	0.17	0.12	0.12	0.17
Ti	0.06	0.00	0.00	0.00
Mn	2.49	2.47	2.49	2.37
Fe	3.07	4.23	3.55	4.30
Ni	4.16	4.34	4.07	4.42
Cu	78.12	76.34	76.99	76.75
Sn	0.06	0.00	0.06	0.00
Pb	0.15	0.01	0.00	0.00
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

La forte proportion d'aluminium de notre alliage permet d'obtenir des duretés parmi les plus élevées des cupro-aluminiums moulés. L'ajout de fer, de nickel ou de manganèse (élément également désoxydant), dans la composition chimique, permet d'augmenter également les caractéristiques mécaniques de l'alliage. L'apport de manganèse lors de la fabrication en fonderie donne, également, cet aspect « couleur champagne » à la boule. Le nickel améliore aussi fortement la tenue à la corrosion et le fer permet d'obtenir un alliage le plus tenace possible à condition que sa teneur soit inférieure à celle du nickel.

Il est important d'ajouter que la composition chimique n'est pas le seul paramètre qui permet de faire varier les caractéristiques mécaniques de ce type d'alliage. On s'aperçoit par le biais du tableau 3, qu'il est possible d'obtenir une résistance mécanique plus « élevée » pour un alliage obtenu en coulée gravité (Y30) par rapport à un moulage sable (Y20). Ce constat s'explique par le fait que le refroidissement en cours de solidification est plus rapide avec un moule métallique compte tenu de la bonne conductivité thermique de la coquille par rapport au sable.

Tableau 3 : Caractéristiques mécaniques d'alliages Cu-Al élaborés soit en sable soit en coquille

	Rm (MPa)	Rp _{0,02} (MPa)	A% min	HV	KCU
CuAl9 Y30 (coquille)	500 – 550	220 – 300	15 – 25	125 – 150	40 – 70
CuAl10Fe3 Y30	650	250	20	-	-
CuAl10Fe3 Y20 (sable)	500	180	13	-	-



JUILLET 2018

Pour rappel, les bronzes à l'aluminium (CuAl) ont un très bon comportement à chaud (300°C) et aux très basses températures (-250°C), une bonne coulabilité, une aptitude à l'étanchéité reconnue, une excellente résistance à la corrosion marine (avec l'ajout de nickel), une bonne soudabilité et un bon comportement tribologique (dans le cas d'usure par grippage, par cavitation). Il est donc logique de trouver ces alliages dans la fabrication de pompes, hélices, turbines, éléments d'unités de dessalement, plaques pour échangeurs, coussinets... mais aussi au niveau des fourchettes de boîtes de vitesses, de gonds, de pièces de serrures, de brides de caténaires, ...

La 34^{ème} newsletter sera consacrée aux procédés de fabrication de la boule lyonnaise, d'ici là passez une bonne période estivale.

Remerciements : Nous tenons à remercier Bernard Cannes, toujours de bonne humeur et spécialiste de la lyonnaise, pour ses conseils avisés et pour la boule qu'il nous a confiée, ainsi que les élèves et les professeurs du BTS traitement thermique du Lycée Diderot à Paris qui nous ont permis d'observer les structures métallurgiques au microscope optique.