

Connaître,  
c'est mesurer

# Tatara

## Métallurgie d'une légende japonaise

Maurice BURTEAUX

# たたら

### le sabre japonais

Parce que les forgerons japonais ont trouvé dans les alliages ferreux produits par Tatara le matériau idéal pour la fabrication des lames de sabre, il est utile de s'intéresser à cette fabrication. Pour ce faire, il faut d'abord nécessaire, que le lecteur en excuse l'auteur, se remettre en mémoire l'évolution des alliages fer/carbone entre 0 et 2% de carbone, cette étendue correspondant au domaine du fer pur et des aciers.

Quand la teneur en carbone augmente on constate l'évolution habituelle suivante (fig.2) :

- lors de l'essai de traction sur un barreau,
  - la limite élastique  $R_{0,002}$  augmente : le matériau se déforme moins facilement de façon permanente;
  - la résistance à la rupture  $R$  augmente ; le métal peut supporter des efforts plus grands;
  - la striction  $Z$ , c'est-à-dire la réduction de section due à l'étirement et l'allongement  $A$  au moment de la rupture diminuent : cela traduit une diminution de la malléabilité et de la ductilité;
- le métal devient plus dur (voir HB), et cet effet est amplifié, si besoin est, par l'effet de la trempe;
- la résilience  $K$  diminue, c'est-à-dire que le matériau est moins résistant aux chocs;
- la proportion de cémentite  $Fe_3C$  augmente; ce composé très dur

d'après [1]

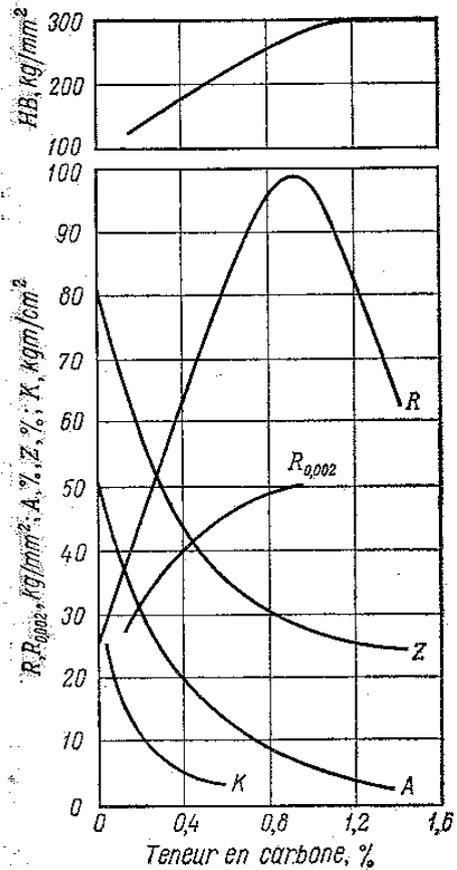


fig.2 : Évolution des caractéristiques mécaniques d'un acier en fonction de la teneur en carbone, d'après [2]



permet d'obtenir un bon tranchant des outils de coupe, par contre il est très fragile.

De là, on comprend que si l'on utilise un matériau homogène, dont la teneur en carbone est la même dans toute la lame, on peut fabriquer un sabre "moyen", en choisissant un acier assez carburé pour qu'il puisse être trempé (c'est-à-dire un acier contenant au moins 0,3 % de carbone), dont le tranchant est convenable, mais pas exceptionnel, et dont les propriétés mécaniques sont quelconques.

*Pour les alliages fer/carbone, on peut consulter l'étude Fer, carbone, acier... l'alliance des mots, texte de l'auteur, sur le même site, dans la rubrique Savoir l'Acier.*

L'art des forgerons japonais a consisté à utiliser deux ou trois alliages ferreux différents (d'après [3], [4] et [5]) :

- du fer ou de l'acier très doux, peu carburé;
- de l'acier dur, fortement carburé;
- de l'acier mi-dur, moyennement carburé;

et à placer dans la lame du sabre chacun de ces alliages, là où on utilise au mieux ses propriétés physiques. Dans le procédé le plus élaboré, on emploie ainsi :

- du fer pur ou un acier doux au coeur de la lame;
- de l'acier peu ou moyennement carburé -voir l'Oris(h)igane- pour le

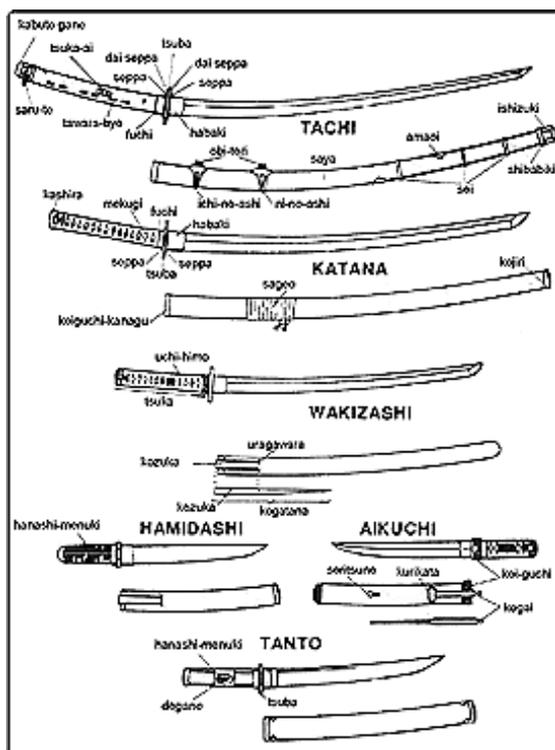


fig.3 : Divers sabres japonais, d'après [6].

dos et le côté de la lame;

- de l'acier carburé, très dur pour le tranchant.

Pour réduire l'hétérogénéité des matériaux, chacun des lopins de fer ou d'acier subit une séquence comprenant un chauffage, un aplatissement, un pliage sur lui-même et un forgeage; cette séquence d'opérations est répétée de plusieurs fois; on arrive ainsi à souder ensemble jusqu'à 1024 couches (pour 10 pliages) ou 32768 couches



2 fig.4 : Sabres japonais, d'après [7]



(pour 15 pliages)<sup>1</sup>.

Après le forgeage qui permet d'assembler les différents alliages pour former la lame, celle-ci est soumise à une trempe sélective, principalement pour la partie la plus chargée en carbone; la méthode consiste à protéger par de l'argile la partie qu'on ne veut pas tremper.

Enfin, la finition de la lame permet d'utiliser d'une part les "dessins d'acier" dus à l'assemblage par forgeage et d'autre part la ligne de trempe pour donner un aspect véritablement artistique à cette arme redoutable. (fig.3 et fig.4)

**Le métal de la lame** (d'après [8],[9],[10] et [11])

Comme dit ci-dessus, le procédé Tantara fournit le métal pour la fabrication de la lame du sabre grâce à une circonstance propre à ce procédé : on y produit toute la gamme des alliages ferreux, depuis le fer et l'acier plus ou moins carburé, jusqu'à la fonte.

Au total, le métal est obtenu in fine, avec un très faible rendement; on estime que l'acier de la lame représente entre 1 et 10 % du minerai de fer mis en oeuvre. Tantara est d'abord responsable de ce fait (voir infra le chapitre VI), et ensuite les nombreux forgeages et les chauffés correspondants provoquent des pertes de matières par oxydation, étincelles, décarburation, etc. En contrepartie, ces nombreux forgeages permettent d'expulser toute trace des scories mêlées au métal.

Quand on aborde le produit de Tantara, on rencontre deux termes japonais différents :

1) **Kera**, qui est la masse de métal d'où l'on tire plusieurs sortes d'acier : le Tamahagane, le Bukera, le Kerazuku, etc... Le Bukera et le Kerazuku sont employés pour faire des couteaux, des outils et de l'outillage agricole.

<sup>1</sup> Le nombre de couches est égal à 2 élevé à la puissance correspondant au nombre de pliages. Avec 10 pliages, on  $n = 2$  puissance 10 = 1024 couches.

2) **Watetsu**, qui est l'appellation générale de l'alliage de fer et carbone produit, et dont la meilleure partie est un acier nommé Tamahagane. Le Watetsu comprend en plus du Tamahagane, du Hotyotetsu (une sorte de fer), du Zuku (de la fonte). Par soudage, on mélange le Tamahagane à du Hotyotetsu pour fabriquer un autre acier, probablement moins carburé, l'Oros(h)igane, la composition de ce dernier étant variable d'un forgeron à l'autre.

2) Le forgeron distingue ces différents matériaux par leur dureté; il les casse en petits morceaux de quelques centimètres et prépare les lopins en soudant par forgeage ces petits morceaux; cette suite d'opérations (cassage, chauffage, aplatissage, pliage et forgeage est répétée plusieurs fois.)

Le **Tamahagane** est considéré comme le meilleur acier pour fabriquer les bames. On trouve trois significations pour ce terme :

- " Tamahagane, signifie acier en boule... Après avoir été travaillé, on lui donne une forme approximativement sphérique, d'où son nom." [12].
- "L'acier japonais est habituellement fait en Tamahagane. Tama signifie bijou et Hagane signifie acier." [13].
- "L'acier produit des deux côtés de la loupe (le Kera)... est appelé Tamahagane, acier noble, ce qui s'épelle comme 'mère du métal' en caractères japonais." [28]

Le métal de Tantara a été aussi utilisé, avec les mêmes principes, pour faire d'autres pièces que les sabres : "Le Hyakushō Denki (chronique paysanne) datant d'environ 1684, indique que les houes et les faucilles sont faites d'un mélange de fer forgé et d'acier, le premier étant utilisé comme 'couche de base'." [14] p.13. On notera aussi, à partir de métal souvent peu carburé, la fabrication de clous dont d'anciens spécimens ont été étudiés par K. HORIKAWA [15].



## définition de TATARA dans l'Encyclopédie japonaise

"Tatara" se dit d'un soufflet ou d'un procédé de fabrication de la fonte dans lequel on utilise le soufflet. Ce procédé a été pratiqué depuis l'antiquité au Japon en utilisant des sables ferrugineux. A l'introduction du procédé 'occidental'<sup>2</sup> à la fin de l'ère Meiji (début du XXème s.), il a été pratiquement abandonné.

Le four Tatara est façonné d'argile éfractaire. Les sables ferrugineux et le charbon de bois sont amenés à des températures très élevées au moyen du soufflet. Le four Tatara mesure environ 2,7 m de long, 0,9 m de large et 0,9 à 1,2 m de haut pour la fabrication de l'acier japonais -Wahagane- ou de 1,2 à 1,5 m de haut pour la fabrication de la fonte -Wasen-. Pour la première utilisation, le four est appelé Keraoshi-ro et pour la seconde Zukoshi-ro. La durée de vie de ces fours est de 3 à 4 jours. Tatara désignait également les gens du métier :

- Murague ou chef;
- Sumisaka ou adjoint;
- Bango ou souffleur;
- Haganezukuti ou fondeur;
- Kannaji ou mineur." [16].

## l'origine de TATARA

La recherche de l'origine de cette technique de production du fer, pose la question de la naissance de la sidérurgie au Japon. D'après D. WAGNER [17], les premières pièces en fer fabriquées dans ce pays datent de la fin de la période Yayoi (IIIème s. avant JC/IIIème s. après JC), mais on ne sait pas si le fer utilisé était produit sur place ou importé.

D. WAGNER rapporte par ailleurs qu'on a trouvé à Fukuoka, dans l'île de Kyushu, ce qui semble être un foyer de production du fer par le procédé direct<sup>3</sup>, qui pourrait être l'ancêtre du Tatara; ce

<sup>2</sup> Procédé occidental : Ici, synonyme de procédé indirect de fabrication du fer et de l'acier, ou de procédé en deux temps : dans un premier temps, à partir du minerai de fer, on fabrique de la fonte au haut fourneau et dans un deuxième temps la fonte est décarburée pour donner du fer ou de l'acier. Ce procédé est opposé au procédé direct -voir (c) ci-dessous-.

<sup>3</sup> Procédé direct : Procédé qui permet de produire du fer et parfois de l'acier, en une seule étape, à partir d'un minerai. Tatara est un procédé direct..

foyer est daté entre la fin de la période Kofun (vers 700 après JC) et la fin de la période Nara (794 après JC). D'une façon plus générale, cet auteur pense que la production japonaise de fer par le procédé direct a été vraisemblablement introduite au Japon, à partir de la Sibérie; il élimine l'hypothèse chinoise parce que l'histoire du procédé direct en Chine est toujours incertaine.

Au contraire, M. VIÉ semble plutôt choisir l'hypothèse chinoise quand il écrit que, pour la période allant du IIIème s. au VIème s. après JC, les royaumes coréens bénéficient de la technique chinoise -dont la métallurgie-, et que le Yamato (état primitif du Japon installé à l'ouest de la grande île, Onshu) la reçoit par des relais coréens [18] p.7 et 8. Pour un autre auteur, "avant 900, les sabres sont essentiellement l'oeuvre de forgerons chinois et coréens, encore que quelques forgerons japonais commencent à s'y mettre. Leurs lames sont droites et ne font que reprendre la forme des sabres chinois." On peut envisager que les introductions au Japon de la technique de fabrication du sabre d'une part, et de la technique de production du fer d'autre part, sont concomitantes. [6]

Sans préjuger de l'importance de la langue, on notera d'abord ici que le haut fourneau japonais -Ko ro- s'écrit en kanji, c'est-à-dire en idéogrammes chinois, alors que Tatara est écrit en hiragana, ensemble de caractères purement japonais (fig.1 en tête d'article). On écrit aussi : "Il y a beaucoup de théories sur l'origine du mot Tatara. Une possibilité est qu'il soit dérivé de Tatars, qui désigne une tribu turque qui a été célèbre pour son habileté au travail du fer -ceci privilégierait l'hypothèse sibérienne de D. WAGNER-. Enfin, une autre théorie est que Tatara vient de 'tatari', qui signifie exorciser le démon." [12]

## four Tatara et son soufflet

### Le four.

"Tatara est un fourneau fait en argile, et l'intérieur ressemble à une nef." [11]. Tous les auteurs sont d'accord sur la construction en argile seule, contrairement à beaucoup de fours du procédé direct où l'argile est renforcée soit par un agrégat de pierre, soit par une structure de bois ou de pierre, ou bien est mêlée de paille... La présence d'une argile de qualité est d'ailleurs l'un des éléments de la géographie de Tatara.

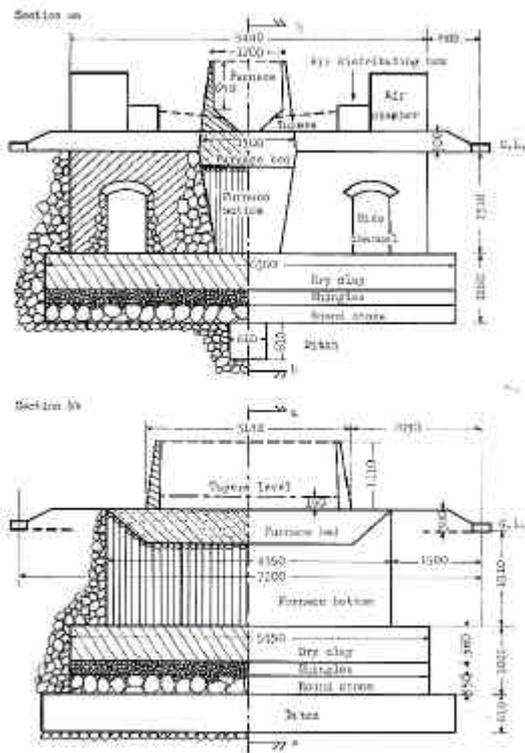


Fig. 1. Sectional view of the Tataru furnace (mm)

fig.5 : Schéma du four Tataru, d'après [19].



fig.6 : Four Tataru prêt au chargement, d'après [19]

Le four est un vaisseau allongé de plus de 3 mètres de longueur pour 1,2 à 1,5 mètres de largeur pour environ 1,1 mètre de hauteur (fig.5) . D'après [19] p.123, ce four est bâti sur une fondation épaisse de plus de 3 mètres, composée de haut en bas de couches successives de pierres, de bardeaux puis d'argile et enfin d'environ un mètre de charbon de bois tassé. Sur cette dernière couche, on installe le fond du four constitué d'environ 500 mm de charbon de bois écrasé et tassé et l'on monte les murs en argile. Dans l'exemple cité par [19], on emploie un mélange d'argiles tenant environ 55 % de silice, 19 % d'alumine et 7 % d'oxyde de fer. Dans le bas du mur, sur chacun des grands côtés, on ménage 16 tuyères pour le soufflage, soit 32 au total, ce qui est considérable par comparaison avec les autres fours du procédé direct; ce grand nombre de tuyères assure une répartition régulière du vent, ce qui ne peut que favoriser la marche du four.

La fig.6 montre un four Tataru terminé et en séchage; on distingue les trous des tuyères sur le grand côté et 3 trous pour l'écoulement des laitiers sur le petit côté; à droite le Murage surveille l'opération de séchage. Il est probable que cette construction correspond au dernier stade de l'évolution du four, vers la fin de sa vie (deuxième moitié du XIXème siècle); comparée à ce four sophistiqué, la forge catalane de la première moitié du XIXème siècle paraît un outil bien grossier.

### Un four proche du four Tataru.

D'après [20], G. JULEFF a découvert au Sri-Lanka des fours qui auraient produit de l'acier par le procédé direct, pendant environ 1500 ans, à partir du IIIème s. avant JC. Ces fours à peu près rectangulaires (fig.7), étaient adossés à une colline, et ventilés par tirage naturel grâce à leur 14 tuyères placées de façon à ce que le tirage soit activé par le vent dominant de la région.

### Le soufflet.

La nature du soufflet employé au tout début de la mise en oeuvre de Tataru n'est pas connu, si ce n'est qu'on peut avoir la quasi certitude qu'il fonctionnait sous l'action de l'homme. On peut penser avec R. F. TYLECOTE ([22] p.49) que les Japonais connaissaient le soufflet chinois, en bois et à piston; ce soufflet manuel et efficace, qui a été très tôt à double effet, avait d'ailleurs été à l'origine des avancées de la sidérurgie chinoise (fig.8).

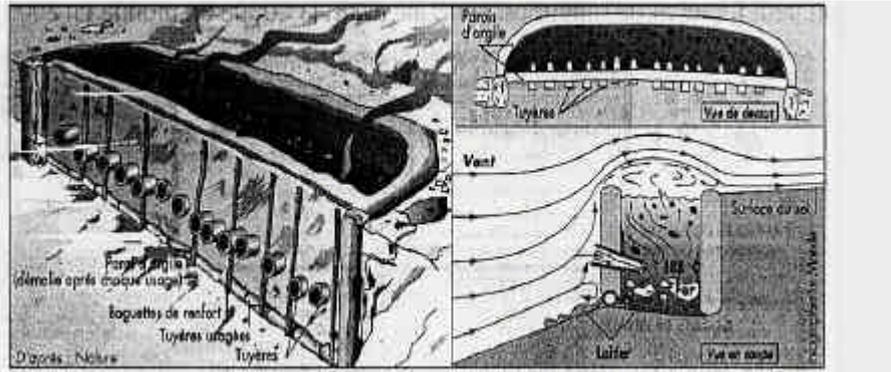


fig.7 : Four du Sri-Lanka [20]

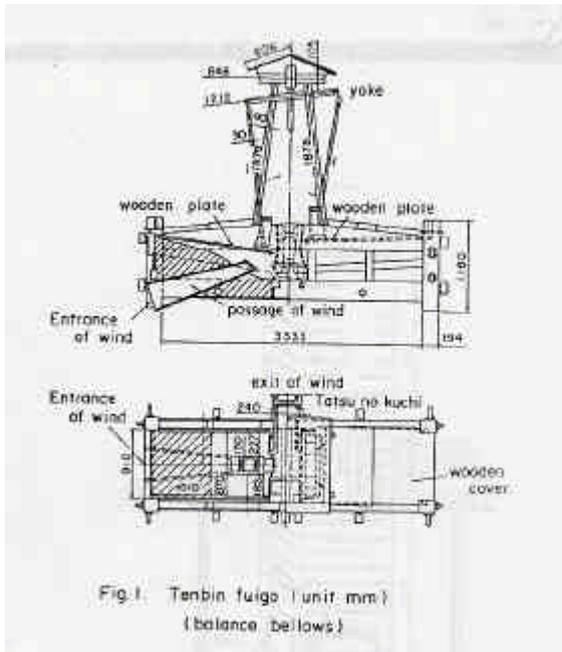


fig.9 : Soufflet japonais, d'après [25].

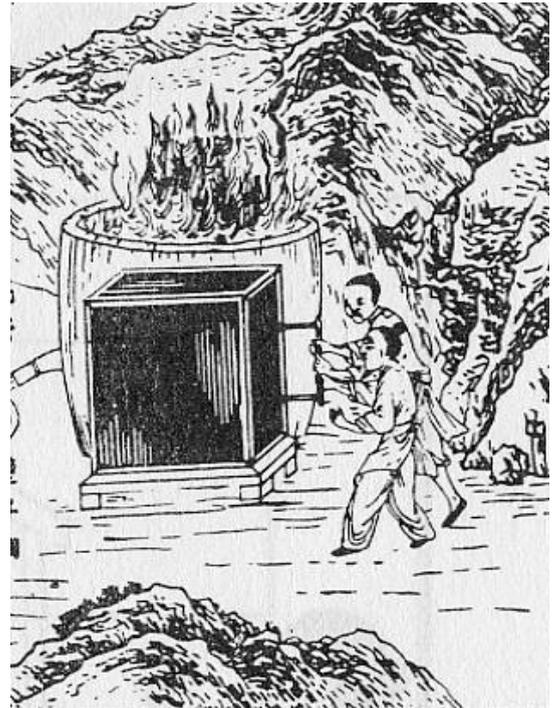


fig.8 : Soufflet chinois, d'après [21].



fig.10 : Charbon de bois, d'après [26]



fig.11 : Sable ferrugineux, d'après [27].



Le soufflet d'origine, probablement au XVIII<sup>ème</sup> siècle, été remplacé par un soufflet actionné au pied (foot bellow), comme le confirment plusieurs indications. Pour T. YAMANOUCI ([23] p.7), ceux qui actionnent le soufflet "le marchent"; pour un autre auteur, "Tatara est un énorme soufflet à pied. Des femmes le poussent pour envoyer l'air dans le fourneau pour fondre le sable ferrugineux." [24]. Pour sa part, M. TATE déclare que le Japon inventa un soufflet efficace, dont la disposition (fig.9), convient bien à une manoeuvre au pied : "Tatara se développa pleinement, il y a environ 300 ans, avec l'invention du soufflet, très économe en main d'oeuvre, appelé Tenbin Fuigo." [25] p.61. D'après le schéma ce soufflet, dit à bascule, comportait deux soufflets élémentaires en bois (assez semblables aux soufflets de bois utilisés en Europe au XVIII<sup>ème</sup> s.) disposés symétriquement par rapport à un conduit central qui récupérait le vent. Les deux soufflets élémentaires étaient reliés entre eux par une tringlerie disposée de telle sorte que l'un des soufflets était en aspiration pendant que l'autre était en expiration, d'où un souffle continu vers le four. Quand plusieurs personnes étaient préposées au fonctionnement du soufflet, elles devaient agir de concert, d'où des chants cadencés dont un exemple est le "le chant Tatara d'Eboshi" du film d'animation Mononoke Hime :

*"Un, deux, même les bébés peuvent pousser (\*),  
Trois, quatre, même un ogre pleurerait (\*\*),  
L'amour en or d'une femme Tatara,  
Fait fondre et couler, et transforme en lame (\*\*\*)"* [24].

La cadence n'apparaît pas de façon évidente, mais ce chant est la traduction du texte anglais, lui-même traduit du japonais ! On y trouve le soufflage en groupe (\*), la pénibilité (\*\*) l'objectif final, le sabre (\*\*\*)

Au moins dans certains cas, le soufflet de Tatara est en bois de cèdre ([23] p3). Le vent est amené du soufflet à chaque tuyère par un tuyau de bambou terminé par une extrémité en fer. Le grand nombre de tuyères mise en place de chaque côté du four, nécessite d'installer à la sortie du soufflet un distributeur de vent d'où partent 16 tuyaux de bambou. L'aspect de ce distributeur lui a fait attribuer le nom de Tatsu no kuchi, c'est-à-dire gueule de dragon [25].

## les matières premières

### Le combustible.

Dans tous les foyers de réduction du minerai de fer, il faut une combustion de façon à atteindre une température suffisante pour déclencher les réactions chimiques et il faut la présence d'un agent réducteur pour séparer l'oxygène du fer. Dans les procédés directs anciens, les deux rôles sont tenus par un seul combustible, le charbon de bois (fig.10) ; pour Tatara, ce sera vrai jusqu'à la fin de son exploitation au début du XIX<sup>ème</sup> s. Dans une expérimentation moderne de Tatara, on a utilisé du charbon de bois de pin, "à cause de sa densité, de la durée de sa combustion et de la chaleur dégagée." [1].

L'avantage du charbon de bois est d'être exempt de soufre et donc de permettre l'opération avec un laitier acide, ce qui se produit naturellement parce que la plupart des minerais de fer -dont celui utilisé pour Tatara- sont acides. En d'autres termes, l'opération de Tatara ne nécessite pas d'employer un fondant basique.

Avec sa forte consommation de charbon de bois par tonne de métal, Tatara ponctionnait lourdement le bois dans les forêts, et à cause de cela, le Mont Fukudagashira, dans la préfecture d'Hiroshima, était nommé Kenashiyama (la montagne chauve) [27].

### Le minerai.

Le seul minerai utilisé dans Tatara est du sable ferrugineux, et D. WAGNER pense même que ce procédé est le résultat d'une adaptation d'un autre procédé direct dans le but de consommer des sables ferrugineux [17].

Généralement, dans les sables ferrugineux l'oxyde de fer est de la magnétite  $Fe_3O_4$ , qui donne à ces sables une couleur noire (fig.11) . La magnétite en roche est peu réductible, d'une part pour une raison chimique car elle peut être considérée comme l'addition d'une molécule de  $FeO$  et d'une molécule de  $Fe_2O_3$ , or  $FeO$  est réduit dans conditions beaucoup plus coûteuses en élément réducteur que  $Fe_2O_3$  -qui est l'oxyde de la majorité des minerais de fer-, et d'autre part parce qu'elle est très compacte et donc difficile à pénétrer par les gaz réducteurs. Le sable ferrugineux ne présente pas ce dernier inconvénient à cause de la petitesse des grains, qui assure, à masse égale, une surface de contact avec le gaz bien plus grande que dans le cas de la roche.



En outre, les sables ferrugineux sont généralement titanifères; l'oxyde de titane passe presque entièrement dans le laitier, qui devient moins fluide, sauf à augmenter sa température; dans une expérimentation moderne, on utilise un minerai contenant moins de 9 % d'oxyde de titane, TiO2 [1].

Par ailleurs, la forme sableuse est un gros inconvénient dans les grands fours à cuve, comme le haut fourneau, parce que ces fours fonctionnent avec grande dynamique (vitesse de déplacement des solides non négligeable; vitesse de gaz élevée) et les grains de sable qui colmatent les vides entre les morceaux freinent considérablement cette dynamique; ce n'est évidemment pas le cas pour Tataara, où les déplacements de gaz et de solides sont très limités dans le temps et dans l'espace.

Enfin, au Japon, ces sables contiennent très peu d'impuretés : 0.026% de phosphore et 0.002% de soufre, d'après [28].

Ce sable ferrugineux qui provient de la désagrégation de roches, est mêlé à d'autres produits détritiques; il a une masse volumique bien plus élevée que ces autres produits et on utilise cette propriété pour pratiquer une épuration par gravité en jetant le sable brut dans une goulotte où coule un courant d'eau; d'après [29] cette méthode s'appelle Canna Nagashi.

Lors d'essais d'expérimentation de Tataara dans les années 1970, on a employé deux sortes de sables ferrugineux A et B dont voici les analyses en % (d'après [19]) :

	Fer total	FeO	SiO2 (silice)	Al2O3 (alumine)	TiO2 (oxyde de titane)
A	54,1	19,3	9,3	2,3	4,8
B	61,2	24,7	4,2	1,2	5,1

Le minerai A -appelé Akome-Kagane- est donné comme plus réductible que le B -appelé Masa-Kagone- , et il est employé au début de l'opération.

De son côté; M. TATE donne une teneur en fer de 58 à 60 % [25] p.61.

### **l'opération** D'après [1] et [19].

L'opération commence par le remplissage du four par du charbon de bois; on allume ce charbon et on active la combustion en actionnant le soufflet; on charge ensuite du charbon de bois pour maintenir le four plein au fur et à mesure que le charbon brûle aux tuyères.

Au bout de 2 à 3 heures, par suite de la combustion du monoxyde de carbone produit aux tuyères, une flamme s'établit au dessus de la charge de charbon de bois. Cette flamme (fig.12 et fig.13) persiste jusqu'à l'arrêt de l'opération; sa couleur et sa vigueur sont surveillées de près par le Murague car, avec l'aspect du laitier, ce sont les seuls éléments qui lui permettent de juger du déroulement de l'opération.

A l'apparition de la flamme, on commence à charger un peu de minerai, puis du charbon de bois, et ainsi de suite de façon alternée, pour maintenir le four plein. Lors des opérations décrites par Y. MATSUSHITA [19], on a, pendant 30 heures environ, chargé le minerai le plus réductible (A supra), puis, passé ce moment, on a enfourné le minerai B et augmenté le soufflage, ce qui , de manière logique, a provoqué une accélération du chargement . Cette accélération de l'allure est concomitante avec le premier lâcher de laitier.

C'est le Murague qui décide du moment où l'on arrête l'opération; ce point n'est pas très clair, car il est dit aussi que cette même opération dure 4 jours et 3 nuits. On peut envisager au moins deux hypothèses : 1° La masse de métal (ou loupe) qui s'est formée et le laitier qui n'a pu être évacué, encombrant le bas du four, freinent ainsi l'entrée de vent et isolent le charbon de bois des tuyères, l'opération s'arrête d'elle même : une telle situation est décrite pour les expérimentations dans un four du procédé direct aux Martys [26.]. 2° Pour différentes raisons (approvisionnement, masse de métal que l'on peut forger en une seule fois, limitation de l'usure du four pour éviter un temps mort trop grand entre deux opérations...), il paraît préférable de planifier la durée du cycle de production.

Après l'arrêt, pour sortir la loupe de métal du four, on abat un des grands côtés du four au-dessus des tuyères (fig.14); nous avons vu supra que cette loupe porte le nom de kera.

### **Les résultats et la théorie du procédé.**

Dans une opération, "au total, on a consommé environ 20 tonnes de sable ferrugineux et 22 tonnes de charbon de bois, et on a produit presque 4 tonnes de Kera et 0,7 tonne de fonte." [19]

"On obtient une masse d'acier à l'état spongieux appelée Kera, de 2,7 m de longueur, 1 m de largeur et 200 à 300 mm d'épaisseur; elle pèse 2 à 2,5 tonn

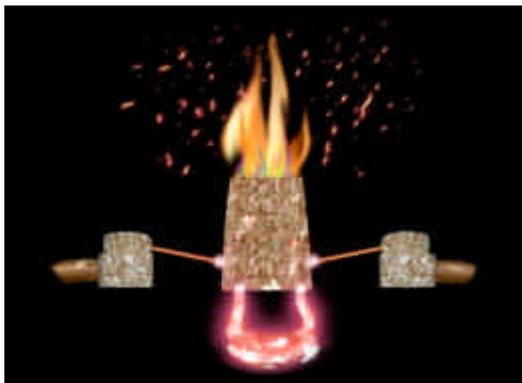


fig.12 : Fonctionnement schématique du four Tatar.



fig.13 : Four Tatar en fonctionnement : flamme au dessus du four, d'après [12].



Photo. 5. 'The end of it run.' One side of the furnace was destroyed to pull out the Kôra.

fig.14 : Extraction du Kera [19]

es, dont 1,5 à 1,8 tonne d'acier., ce qui a nécessité 8 tonnes de sable et 13 tonnes de charbon de bois." [28]

Examinons le **rapport combustible/métal** (ou **mise au mille ‰**) et le **rendement métal/minerai Rt** :

	Production	Charbon de bois	%	Sable ferrugineux,	Rt
	t	t	Kg/t de métal	t	%
Tatara [19]	4,7	32	4691	22	23,5
" [25]	6	23	3500	21	28,9
" [28]	2,25	13	5778	8	28,1
HF au charbon de bois France 17/18ème s.			1000 (th)		
Total HF et affineries en 1790 [30] p.294			4320		
en 1818 "			3230		
Fin 19ème s. [31]			2340		

**L'examen des ‰** peut se faire à deux niveaux :

a) La comparaison des deux appareils métallurgiques (Tatara et haut fourneau -HF-) est très déformable à Tatara, et son handicap est clairement dû à la trop faible utilisation du monoxyde de carbone CO, comme le montre un exemple d'analyse du gaz à la partie supérieure du four. Cette situation est une conséquence, d'une part de la descente trop rapide du minerai - la forme sableuse du minerai associée à sa masse volumique élevée en est la cause- et d'autre part de la mauvaise réductibilité de la magnétite, due à sa teneur en FeO.

	CO%	CO2%	CH4%	H2%	N2%	rapport CO/CO2 (e)
Tatara [19]	27,1	6	-	0,9	66	0,22
Haut fourneau (*)	24,4	14	0,3	4,9	56,4	0,57

(\*) Gaz de gueulard d'un haut fourneau d'Eisenerz alimenté en charbon de bois, années 1870 [31]

b) Dans le cas du haut fourneau, pour devenir du fer ou de l'acier, la fonte produite doit passer à l'affinerie, qui consomme beaucoup de combustible; d'où la nécessité de comparer Tatara à l'ensemble de la filière (haut fourneau + affinerie). On constate qu'au début du XIXème siècle il n'y a pas grande différence de consommation de charbon de bois entre les deux filières, et d'après M. TATE, c'est encore vrai au Japon à l'apparition des premiers hauts fourneaux (1860 à 1880) à cause du fonctionnement médiocre de ces derniers. Par contre vers la fin du XIXème s., la filière européenne haut fourneau/affinerie est plus efficace que Tatara.

**Le rendement Rt** de Tatara est à comparer à la teneur en fer du sable ferrugineux de l'ordre de 55 à 60 %. On constate qu'environ la moitié du fer a été ainsi perdu pour la production, et s'est retrouvé dans le laitier.

**Le laitier.**

Y. MATSUSHITA in [19] en donne les analyses suivantes :





cémentite primaire<sup>4</sup>, dans une autre elle apparaît comme de la ferrite<sup>5</sup> recristallisée, et dans une autre encore la ferrite est organisée en figures de WIDMANSTÄTTEN<sup>6</sup>.” [19]

En ce qui concerne les inclusions, K. HORIKAWA note “Une grande quantité de laitier était présente. La matrice en était les silicates et les oxydes de titane.” [15].

La méthode consistant à plier et à souder par forgeage, de nombreuses fois, les lopins préparés pour la fabrication de la lame, permet à la fois d’éliminer le laitier des inclusions et d’homogénéiser le Tamahagane. De plus, il est possible que, tout au moins au début, la présence d’inclusions facilite la déformation lors du forgeage.

Enfin, avec M. TATE, on apprend que Tataru peut être dédié à la fabrication de fonte; la température étant relativement faible, il est peu probable qu’on ait pu la couler. “La plus grande partie (de la fonte) était convertie en fer malléable par un procédé appelé Ohkaji.” [25] p.1. Cette fonte est aussi le matériau utilisé pour faire les théières japonaises. Au début des années 1850, à Suga (à l’ouest de l’île de Kyushu), on coula des canons de fonte pour la première fois au Japon. La fonte était produite par Tataru; après les premiers essais infructueux, la fonte était prétraitée<sup>7</sup> avant d’être enfournée dans un

<sup>4</sup> La cémentite est un composé cristallisé répondant à la formule  $Fe_3C$ ; elle est dite primaire lorsqu’elle est formée lors du refroidissement d’un alliage fer/carbone liquide. Sa présence est l’indice d’une teneur assez élevée en carbone.

<sup>5</sup> La ferrite est un des constituants des alliages fer/carbone composé de fer alpha et de moins de 0,2 % de carbone. Sa présence est donc l’indice d’une teneur peu élevée en carbone.

<sup>6</sup> Figures de cristallisation d’un alliage fer/carbone, qui présentent des lignes ou des bandes qui se croisent à 60 ou 90°.

<sup>7</sup> La fonte de Tataru produite dans des conditions de basse température, est de la fonte blanche et donc cassante (fig.22); ceci est confirmé par deux faits constatés lors des premiers essais de moulage de canons : 1) la difficulté de fondre la totalité de la charge du four; or la fonte blanche fond à une température plus élevée que la fonte grise, 2) l’éclatement des canons fabriqués avec cette fonte. Le prétraitement consistait donc probablement à carburer la fonte, pour en faire plus ou moins une fonte grise.

four à réverbère chauffé au charbon de bois, d’après [40].

## les mythes, la géographie, l’archéologie, les musées.

Au Japon, la religion est souvent présente, c’est ainsi que sur la fig.16, on peut distinguer à l’arrière plan, à la droite du Murague, un temple en réduction dédié à la religion shinto. Au début des années 1980, l’auteur a pu voir un tel temple dans la salle de contrôle de l’un des plus modernes et des plus gros hauts fourneaux mondiaux.

Si l’on remonte vers des temps plus anciens, c’est le mythe qui est présent : “Kanayago-Shin a été révééré pendant longtemps comme dieu de la fabrication du fer par ceux qui y participaient en fabriquant du charbon de bois ou en produisant le métal... Il serait descendu du ciel (sur le dos d’un héron blanc)... et aurait déclaré que, sans le fer, il n’y avait pas d’issue pour la construction<sup>8</sup> et la prospérité du Japon.” [23] p.1. Ce dieu va donc, si l’on ose dire, au charbon, car, d’après la légende, “Kanayago-Shin vint dans la région d’Izumo. Il cherchait la meilleure place pour produire du fer et de l’acier. Le procédé traditionnel Tataru nécessitait de disposer de sable ferrugineux, de beaucoup de charbon de bois, de l’argile pour le four. Kanayago-Shin rechercha la région où se trouvait ces trois éléments... Il contruisit beaucoup de fours Tataru dans la région de Oku-Izumo (voir fig.17 et fig.18).” [23] p.3 et 4. Et, bien naturellement, “le temple d’Izumo est dédié à Kanayago-Shin ” [23] p.1; il se trouve sur la carte d’OkuIzumo (fig.19) sous le nom de “Kanayago shinto shrine”.

Dans un registre plus récent, d’après [35] et [36], le film d’animation de 1997 par Hayao MIYAZAKI “Princesse





Photo.4. The Onoda Murage charging iron sands with his hand-made wooden tray. Notice the miniature shrine in the back ground over Murage's left shoulder.

fig.16 : Chargement du four par le Murague [19].

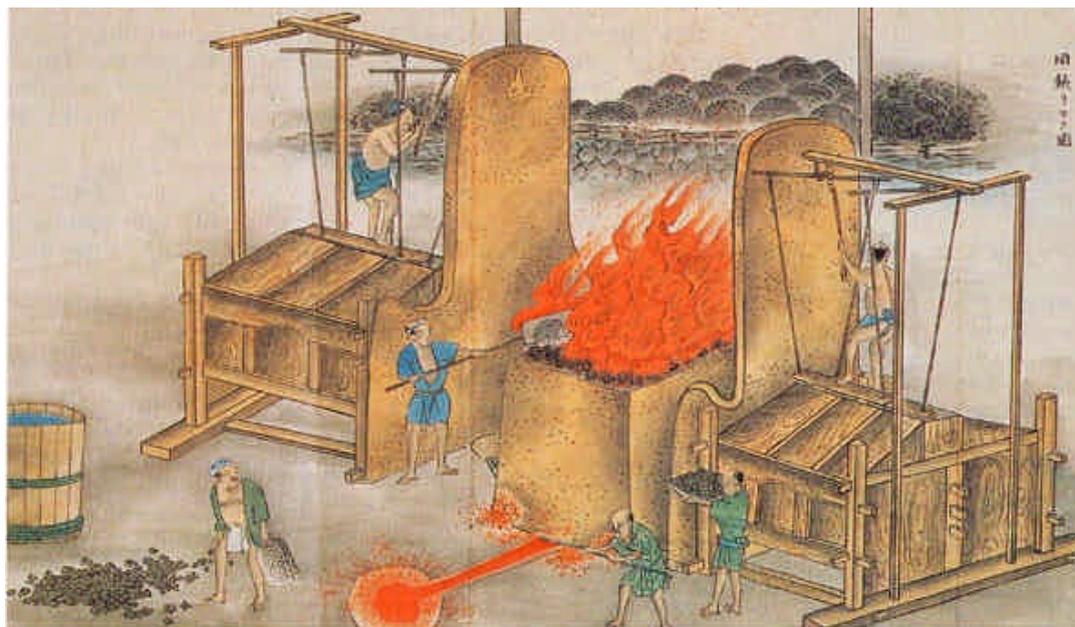


▲ fig.18 : Izumo, d'après [34]

◀ fig.17 : Le Japon, d'après [34]

▼ fig.19 : OkuIzumo, d'après [34]





MONOKOME", qui se déroule pendant l'ère Muromachi (1336/1573), relate la lutte entre les habitants du Tataro Ba (endroit où l'on produit du fer, c'est-à-dire la cité du fer), qui coupent des arbres pour alimenter Tataro (jusqu'à la déforestation, voir supra) et les Dieux qui vivent dans le forêt et la protègent.

La géographie de Tataro, bien définie par le besoin en minerai sableux, en forêts pour le charbon de bois et en argile, rejoint la légende : à Izumo, le "sable ferrugineux de haute pureté appelé Masa peut être trouvé dans les montagnes et les rivières en grande quantité." [29]; puis : "Les techniques Tataro de fabrication du fer se développent dans la région Oku-Izumo parce qu'elle était riche en un excellent sable ferrugineux. L'acier d'Izumo a été très utilisé pour faire des sabres et des théières<sup>9</sup> à cause de son excellente qualité. Les techniques furent à leur apogée depuis l'ère Edo (1600/1867) jusqu'au début de l'ère Meiji (1868/1912) et environ 80 % de la production nationale était produite dans la région de Chugoku." [12]. La région de Chugoku (Le pays du Centre) est une zone montagneuse qui constitue, à l'ouest, l'épine dorsale de la grande île Honshu; elle est répartie entre les Préfectures de Shimane, Hiroshima et Okayama. C'est principalement dans la première, où se trouve le district d'OkuIzumo, que l'on rencontrait les installations Tataro.

<sup>9</sup> Les théières sont faites en métal fondu, c'est-à-dire en fonte, or Tataro en produisait; cette fonte devait être refondue pour permettre les moulages.

fig.20 : Four Tataro en action, d'après [28]

Cette exploitation importante a laissé des traces, que l'on a organisées en musées; en particulier le "OkuIzumo tataro-swords museum" a sa place sur la carte de la fig.18, et on cite, entre autres :

- Wakou museum, Yasugi Town, Yasugi City
- Tataro Kakuro Denshokan Kamiai, Nita Town
- OkuIzumo Tataro-to-Token Hall Yokota, Yokota Town
- The History of Iron Museum Yoshida, Yoshida village
- Sugaya Tataro in Sannai Aria Sugaya, Yoshida village
- The Future and Science of Iron Museum Yoshida, Yoshida village
- Shirasu-Tataro Iron Smeltery Ruins Abu-cho.

Par ailleurs, dans la préfecture de Shimane, une Route du Fer cherche à promouvoir l'ancienne fabrication du fer; elle comprend : Yasugi City, Hirose Town, Daito Town, Nita Town, Yokota Town et Yoshida Village.

## fin et renaissance de Tataro

La fig.20 nous montre un Tataro en action; le soufflage est différent de ce que nous avons vu au chapitre IV car les soufflets sont clairement indépendants; ils sont actionnés au pied mais l'ouvrier s'aide des bras. De chaque côté du four un grand écran protège les souffleurs de la chaleur des flammes. Le laitier sort par les trois trous de coulée



que l'on retrouve sur le petit côté du four.

La situation de Tataru ne pouvait durer; en effet, d'après [37], le premier haut fourneau "occidental" a été mis à feu en le 1/12/1857 près de Kamaishi et en 1868, il y avait déjà 10 hauts fourneaux à Kamaishi. On s'accorde pour constater que l'arrivée au Japon de cet intrus a donné le signal du déclin puis de la disparition de Tataru, et la production de ce procédé a effectivement cessé au début du XXIème siècle, époque - coincidence curieuse-, où, en Europe, s'éteignaient les derniers fours à puddler. Nous avons vu supra que les conditions techniques comparées de Tataru et du haut fourneau (suivi d'une affinerie d'abord, puis d'une aciérie) ne pouvaient que condamner le procédé antique. T. INOUE précise d'ailleurs qu'"il est très étonnant que la loupe d'acier produite par Tataru dans les expérimentations modernes, coûte 100000 dollars la tonne, soit 200 fois le coût d'un acier ordinaire !" [28] On doit cependant remarquer que le haut fourneau de l'époque ne consommait que du minerai en morceaux, dont le Japon n'est pas très riche, ce qui a conduit à l'installation d'une sidérurgie du bord de mer, essentiellement approvisionnée par l'importation.

Tataru n'est toutefois pas mort sans que l'on cherche à l'améliorer. "Plusieurs tentatives ont été faites pour modifier Tataru en augmentant la hauteur de la cuve et en soufflant du vent chaud. L'un de ces fours avec une cuve de section pratiquement carrée (fig.21) a été en opération à Yotoka -Préfecture de Shimane- jusqu'en 1965, mais le sable ferrugineux devait être mis sous la forme de boulettes pour assurer une marche stable et une bonne efficacité<sup>10</sup>." [25] p.1 et 2.

Des tentatives et des expérimentations ont été faites pour faire survivre Tataru :

"En 1933, on a fait revivre Tataru, sous le nom de Yasukuni Tataru, mais après cela on produisit très peu de Tamahagane." [9].

"Un nouvel atelier Tataru été construit

<sup>10</sup> Ce four, appelé Kaku-ro, n'est plus vraiment un four Tataru mais plutôt une sorte de haut fourneau à cuve de section carrée, et semble-t-il prismatique, et comme le haut fourneau, et pour les raisons exposées au chapitre IV, il ne pouvait consommer du sable ferrugineux en l'état.

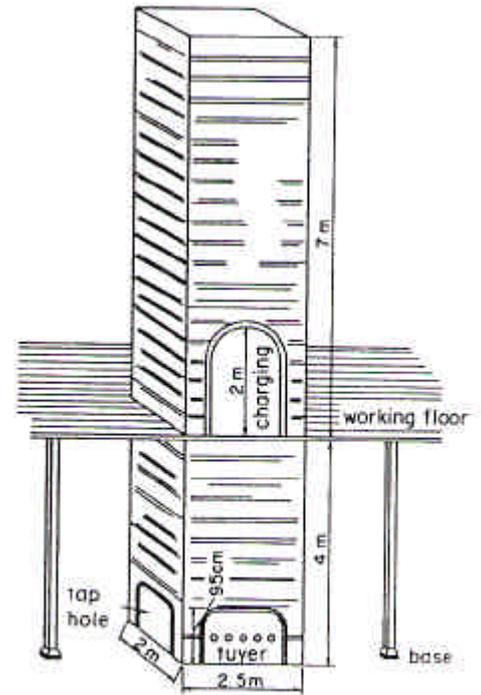


Fig.3. Kaku-ro, (High shaft furnace with nearly square section).

fig.21 : Kaku-ro, d'après [25]



près de Sugaya (Préfecture de Shimane)... Trois opérations successives ont été faites, de fin octobre au début de novembre 1969,." [19]. Les résultats de ces essais ont beaucoup servi dans la rédaction de cette étude.

"En 1977, un four traditionnel Tataru a été restauré à Yokota Town (Préfecture de Shimane) par la 'Japanese Association of Arts and Swords -Association Japonaise des Arts et des Sabres-' et depuis le procédé a été mis en oeuvre quelques fois chaque année;" [12] et produit 3 à tonnes d'acier par an, d'après [28].

Enfin, la fabrication, par des procédés modernes, d'acier de très grande qualité, se perpétue dans l'usine de Yasugi (préfecture de Shimane). Elle a d'abord été assurée par la société Unpaku créée en 1891. Cette société a été plus tard absorbée par la société Hitachi Metals Ltd.

## lexique

*remarque : le e se prononce é; donc certains auteurs écrivent Hagané et Kéra.*

Bango : Ouvrier qui fait fonctionner le soufflet de Tataru.

Bukera : Sorte d'acier produit par Tataru.

Canna Nagashi : Épuration du sable ferrugineux par l'eau; voir Kannaji.

Hada : Grain de l'acier, dessin dû au forgeage [24]

Hagane : Acier; voir Haganesukuti, Tamahagane, Wahagane

Haganesukuti : Fondateur de Tataru.

Honba : Lieu d'extraction ou de préparation du sable ferrugineux.

Hotyotetsu : L'un des produits de Tataru; sorte de fer.

Kaku-ro : Four Tataru transformé en vue d'essayer de le rendre plus compétitif.

Kannaji : Mineur; voir Canna Nagashi..

Kera : Loupe de métal produite par Tataru en une opération.

Keraoshi-ro : Nom du four Tataru quand il produit de l'acier.

Kerazuku : Sorte d'acier produit par Tataru.

Kiro : Conduit de vent entre le soufflet et le four.

Kobuse : Lame de sabre constituée d'acier dur sur un coeur en acier doux [24]

Masa : Sable ferrugineux employé comme minerai de fer dans Tataru; on trouve aussi Satetsu.

Murague : Chef du Tataru; chef de fabrication.

Oros(h)igane : Sorte d'acier moins carburé que le Tamahagane obtenu par mélange de

Tamahagane et d'Hotyotetsu.

Satetsu : Sable ferrugineux employé comme minerai de fer dans Tataru; on trouve aussi Masa.

Sumisaken : Adjoint au chef du Tataru

Tamahagane : Acier produit par Tataru, qui est spécialement employé pour les lames de sabre.

Tataru Ba : Lieu de production du fer par Tataru.

Tataru shi : Ancien nom de l'opérateur, syn. possible de Murague.

Tetsu : Le fer pur, mais aussi un terme générique désignant un alliage ferreux; voir Watetsu ou

Tetsu-to-Hagane (Fonte et acier, nom d'un journal de la sidérurgie japonaise).

Wahagane : acier (japonais) fabriqué par Tataru; on trouve aussi Wakou.

Wakou : Acier fabriqué par Tataru [36]; on trouve aussi Wahagane

Watetsu : Alliage de fer et de carbone produit par Tataru; il comprend du Tamahagane, du Hotyotetsu, du Zuku.

Wasen : Fonte produite par Tataru: syn. Wazuku.

Wazuku : Fonte produite par Tataru: syn. Wasen.

Wasuqu : Variante orthographique de Wazuku. [39]

Zuku : L'un des produits de Tataru; sorte de fonte

Zukoshi-ro : Nom du four Tataru quand il produit de la fonte.

## bibliographie

[1] Tataru construction and operation, par Y. YAMABE-MITARAI. In Internet inaba.nims.go.jp. 1987.

[2] Métallographie et traitement thermique des métaux, par I. LAKHTINE. Éditions de Moscou. 1971.



[3] Internet in membres.lycos.fr/j.gauche

[4] Internet in membres.lycos.fr/lexan38/budo

[5] Internet, texte de J. ETIENNE; 1996

[6] Internet in Capsule inc.net. Culture; le sabre japonais.

[7] Internet in lejapon.org.

[8] Internet in pétange.aikido.

[9] Internet in zairyuu.htm.

[10] Internet in yasuki.hagane.

[11] Internet in sword.ne.jp

[12] Internet in city.yasugi.shimane

[13] Internet in 4.ocn.ne.jp.

[14] Évolution de la technologie du fer et de l'acier en Chine, par J. NEEDHAM. Revue d'Histoire de la Sidérurgie I-1962.

[15] The ancient nails of Horyuji temple and the restoration of the Tataru ironmaking process, par K. HORIKAWA. Bull. Metal Museum. 12/1982.

[16] Encyclopédie japonaise. Années 1980. Traduction de madame Yoko SIM.

[17] Texte de Donald B. WAGNER, Université of Copenhagen. 1993; par Internet.

[18] Histoire du Japon, des origines à Meiji; par Michel VIÉ. Que-sais ? 1975.

[19] Restoration of the Tataru ironmaking process, an ancient ironmaking process of Japan, par Y. MATSUSHITA. Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan. 1971.

[20] Le Monde; n° du 13/01/1996. Texte de J.-P. LATOUR.

[21] La science chinoise et l'Occident, par J. NEEDHAM. Points Seuil. 1977.

[22] A history of metallurgy, par R. F. TYLECOTE. The Metals Society.

[23] Iron in Japanese myths and traditional life, par T. YAMANOUCI, The first international congress of ironmaking. Sendai. 1994.

[24] Internet in geocities.com

[25] Early blast furnace process in Japan, par M. TATE et alii. Ironmaking Conference Proceedings. 1991.

[26] La sidérurgie antique dans la Montagne Noire, par C. DOMERGUE et alii, par Internet. années 2000.

[27] Internet in asahi-net.or.jp

[28] Science of Tataru and Japanese sword. Traditionnal technology viewed from modern science, par T. INOUE (Université de Kyoto): par Internet in inet.museum.kyoyo-u.ac.jp.

[29] Internet in nakayoshi.gaiax.com.

[30] L'industrie sidérurgique en France pendant la Révolution et l'Empire, par D. WORONOFF. EHESS. 1984.

[31] Manuel de la Métallurgie du Fer, par A. LEDEBUR. Librairie polytechnique BAUDRY. 1895.

[32] Internet in hi-net.zaq.ne.jp.

[33] Le livre de l'acier, par G. BÉRANGER et alii. SOLLAC et Technique et Documentation-Lavoisier. 1994.

[34] Internet, site de OkuIzumo district.

[35] Internet in Nausicaa.net.

[36] Internet, site de Michigan Daily.

[37] Tetsu-to-Hagane, n°9/1984

[38] Le Glossaire du Haut Fourneau, par J. CORBION. Association Le Savoir Fer. 4ème édition (à paraître). Juillet 2002

[39] Internet in logix-presse.com

[40] Internet in unu.edu. Texte de T. NAKAOKA.

