

Énergie et environnement : les défis de l'industrie de l'aluminium

Claude GENTAZ

cycle énergie et environnement

CUEPE

22 novembre 2007

Énergie et environnement : les défis de l'industrie de l'aluminium

1/ introduction : quelques données clefs

2/ les applications

3/ les défis : les empreintes énergétique et
environnementale

4/ les réponses

Énergie et environnement :
les défis de l'industrie de l'aluminium
quelques chiffres clefs 2006

>> date de la première production industrielle :
1886

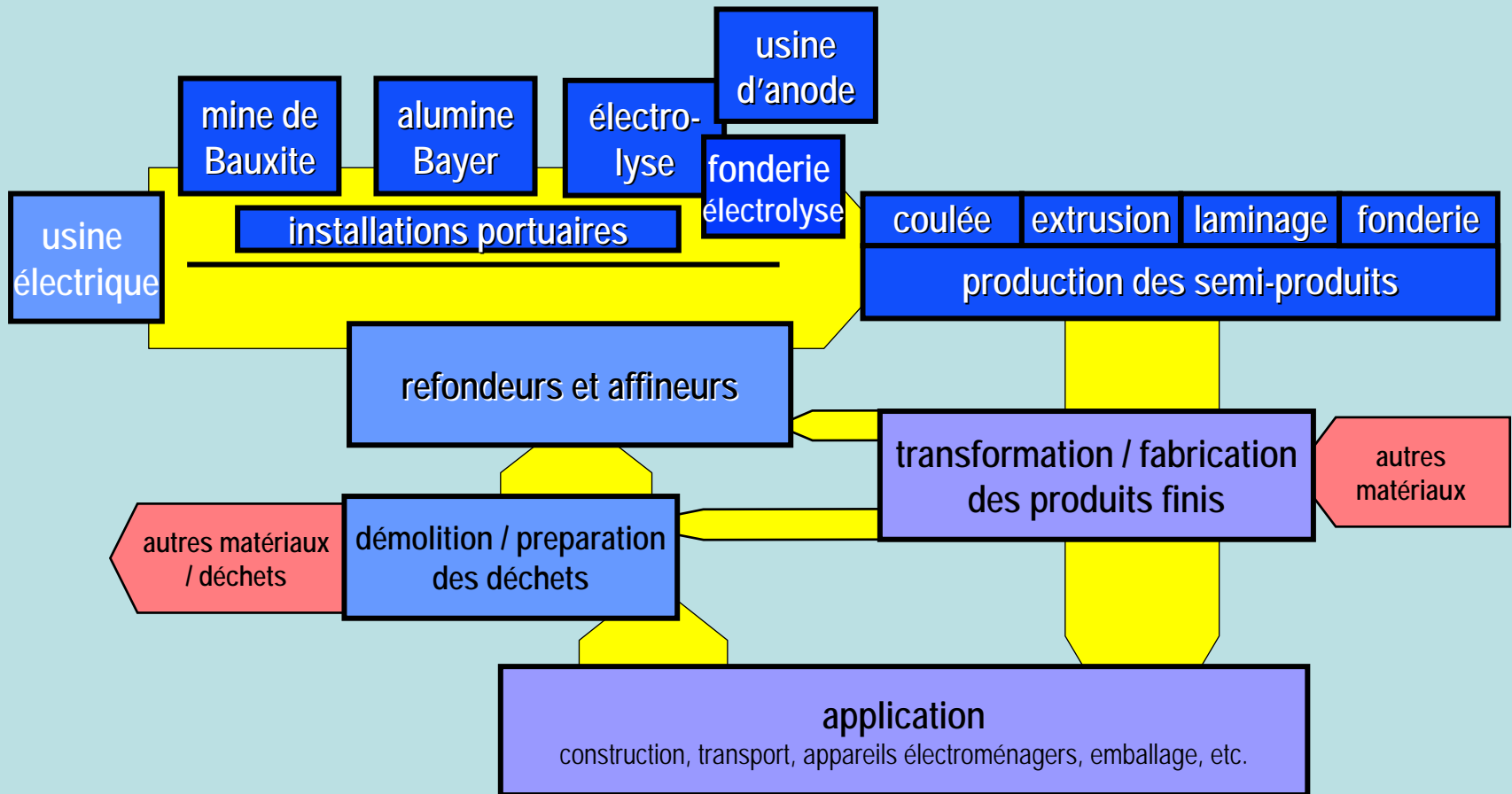
>> tonnage mondial 2006 mis en œuvre : 68,8
millions de tonnes

A comparer à 1.200 millions de tonnes de fer et
1.500 millions de tonnes de ciment

>> énergie électrique mondiale consommée par
la seule production électrolytique :
puissance : 80.000 MW, énergie : 700 TWh

Énergie et environnement : les défis de l'industrie de l'aluminium

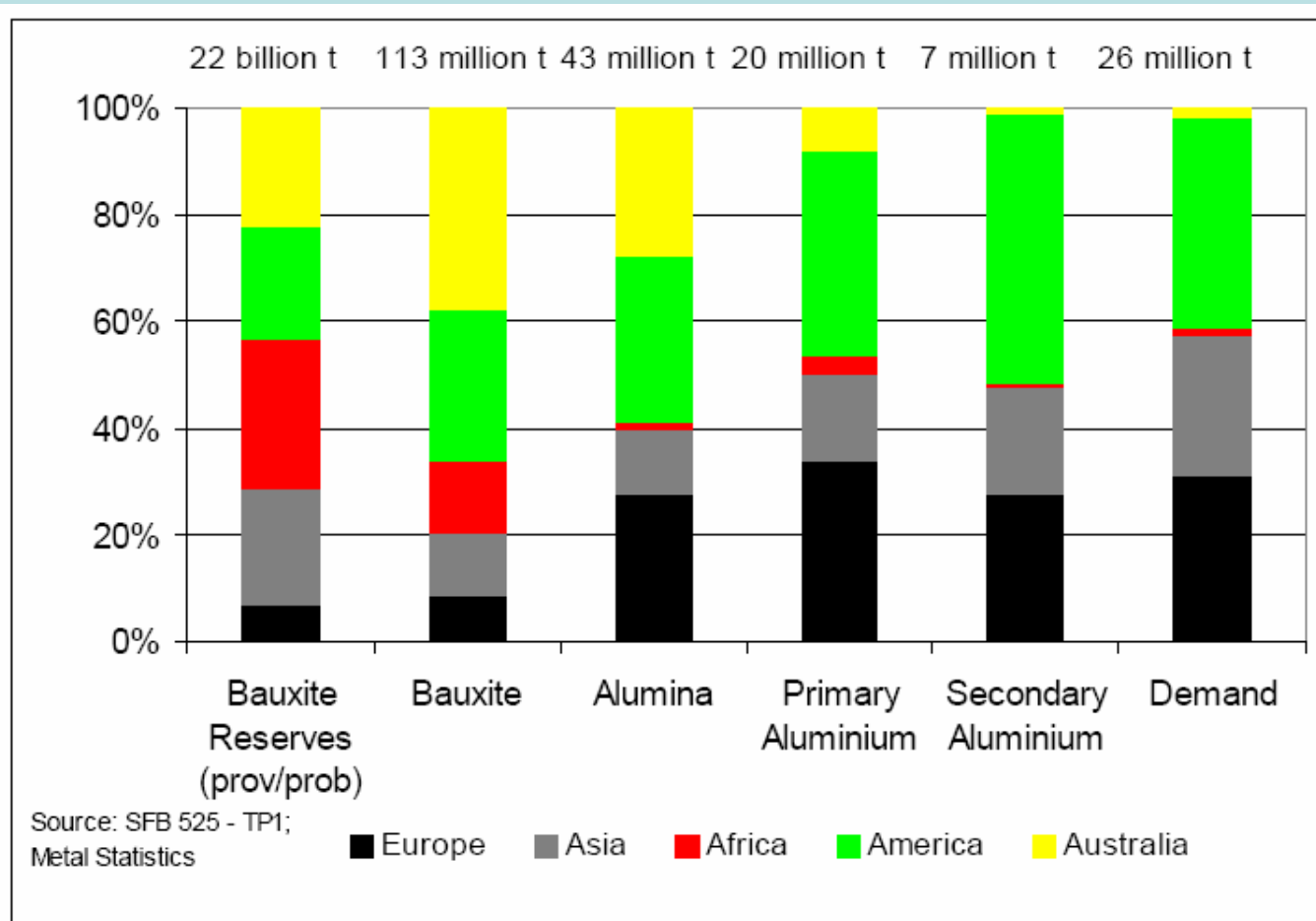
l'industrie de l'aluminium, du minerai et du déchet au produit fini
(OEA, Munich, 17-18 mars 2003)



Énergie et environnement :

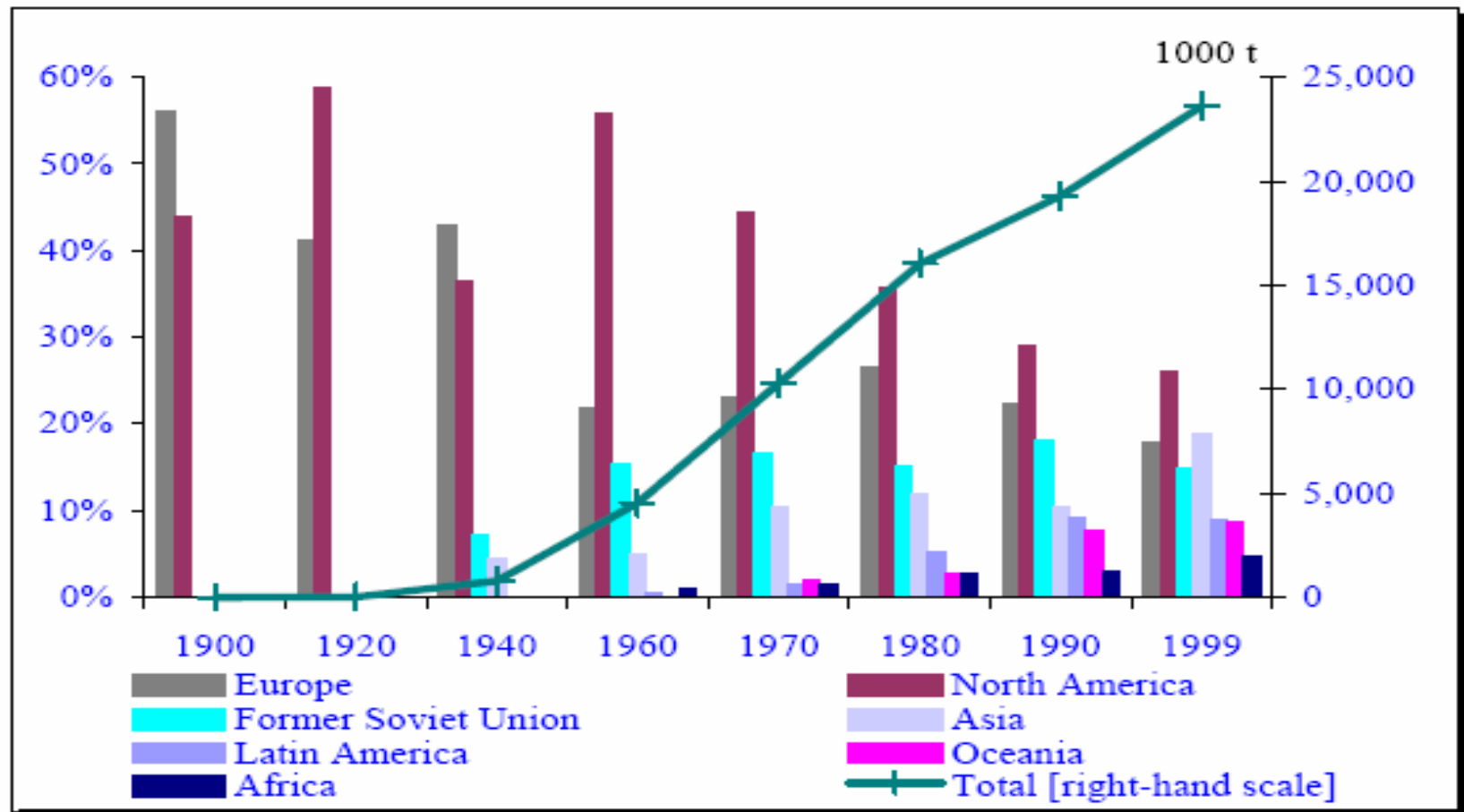
les défis de l'industrie de l'aluminium

réserves de bauxite, production de bauxite d'alumine et d'aluminium électrolytique et recyclé, et demande en 1995



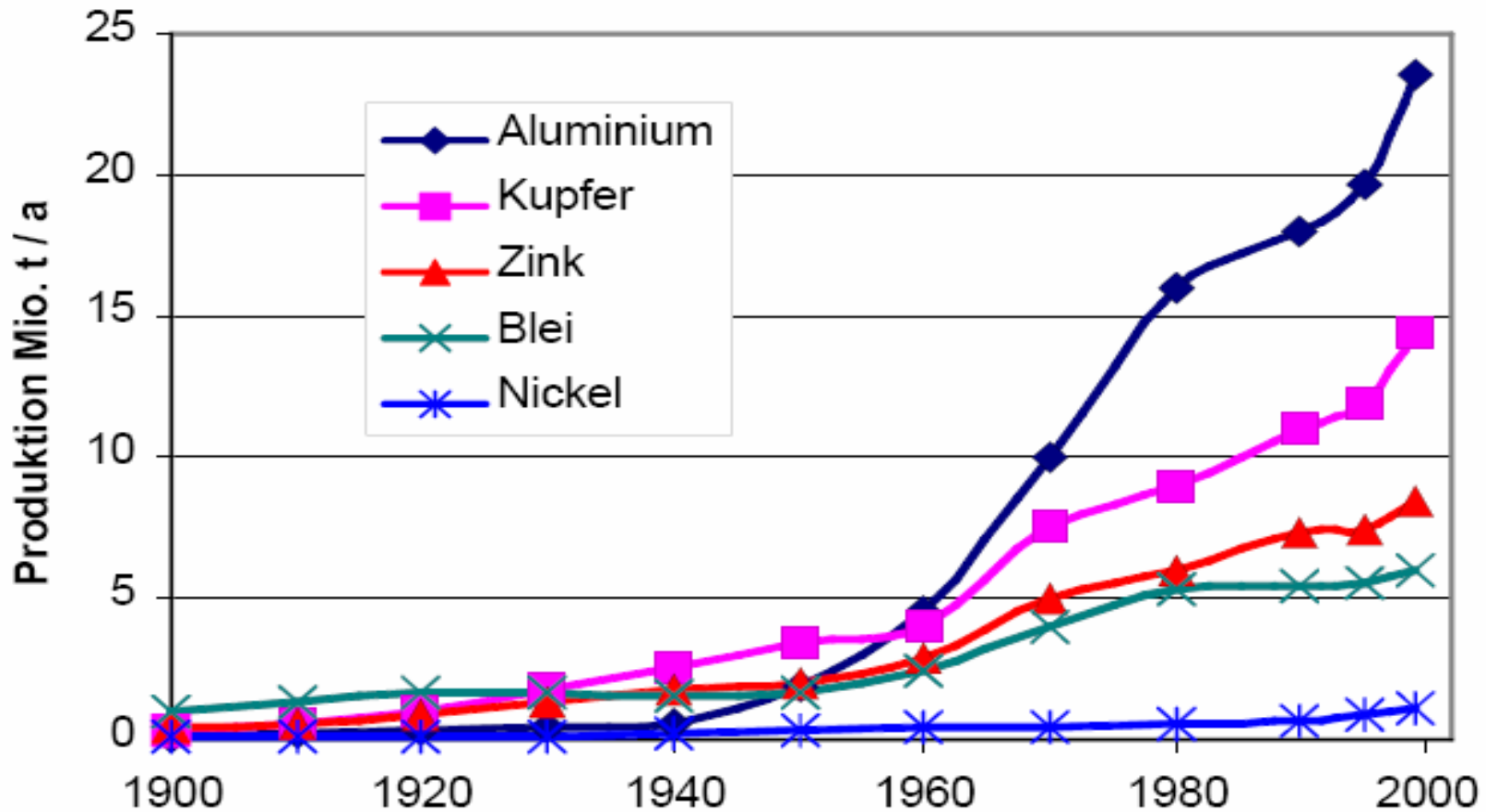
Énergie et environnement : les défis de l'industrie de l'aluminium

production mondiale d'aluminium électrolytique 1900-2000 (d'après
Kuckshindrichs W., Poganietz W.R. Aluminium-supply and international trade. Findings of CRC 525 for Aluminium)



Énergie et environnement : les défis de l'industrie de l'aluminium

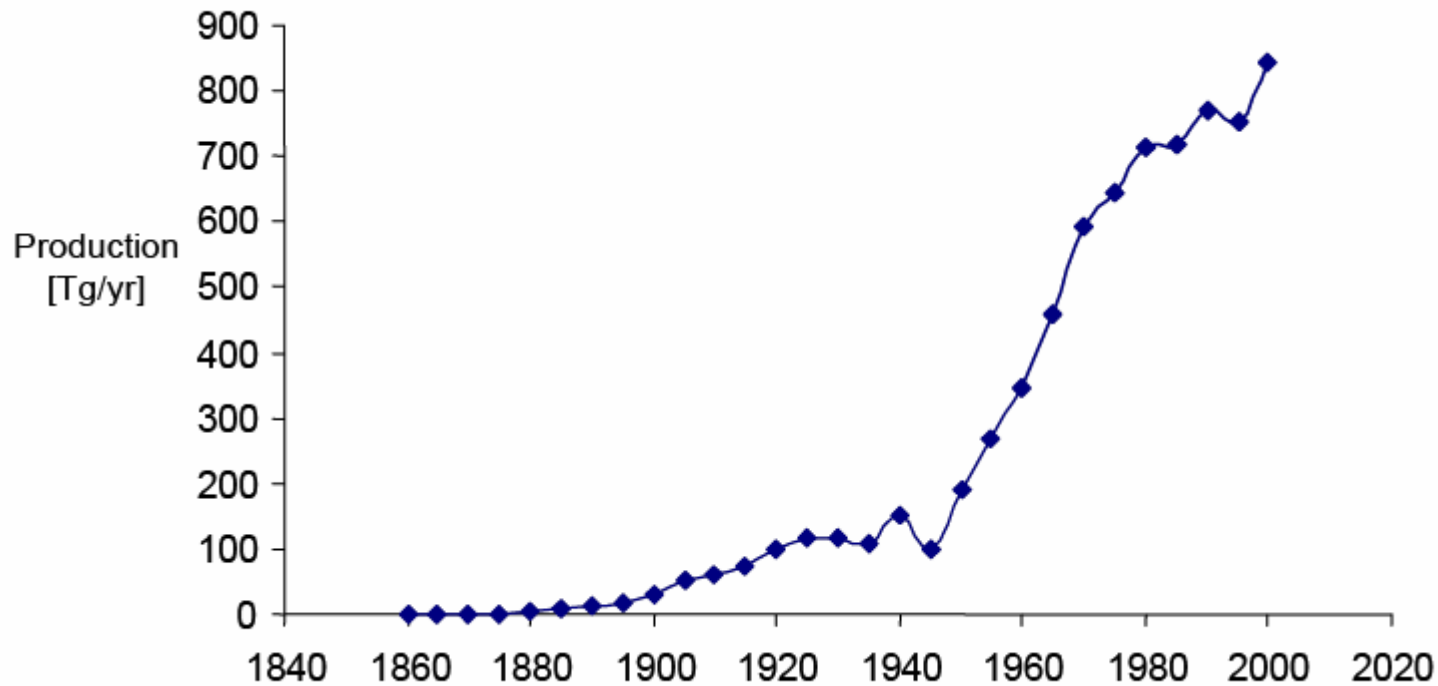
historique de la production des principaux métaux non ferreux



Énergie et environnement :

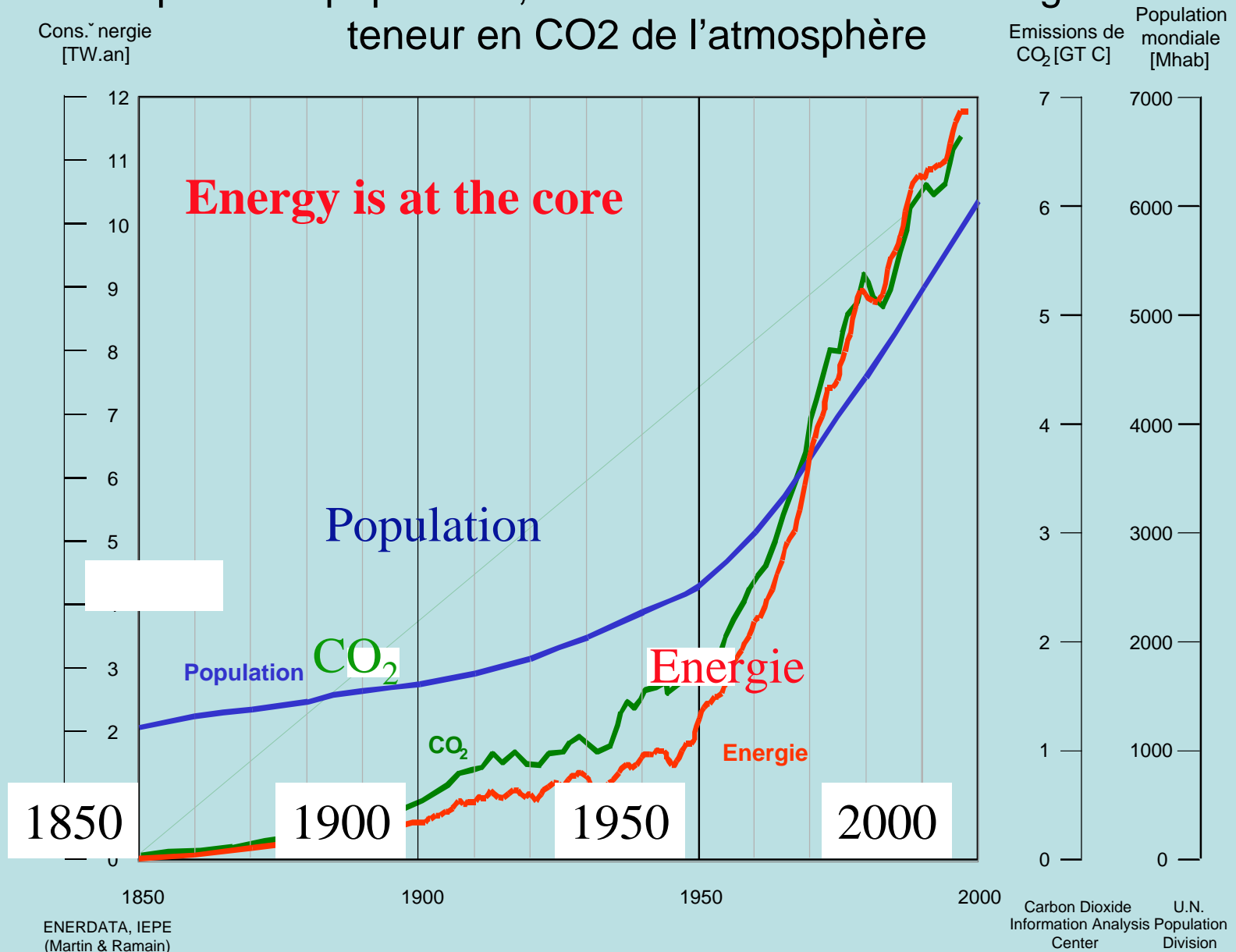
les défis de l'industrie de l'aluminium

production mondiale d'acier (Tg/année) de 1860 à 2004



Énergie et environnement : les défis de l'industrie de l'aluminium

historique de la population, de la consommation d'énergie et de la teneur en CO₂ de l'atmosphère



Énergie et environnement :

les défis de l'industrie de l'aluminium

le succès des applications de l'aluminium

Les propriétés

Remarquables

- >> résistance à la corrosion (durée)
- >> légèreté (dématérialisation)
- >> mise en œuvre

Bonnes

- >> propriétés thermiques
- >> propriétés électriques

Médiocres

- >> propriétés mécanique à chaud

Énergie et environnement :
les défis de l'industrie de l'aluminium
le succès des applications de l'aluminium

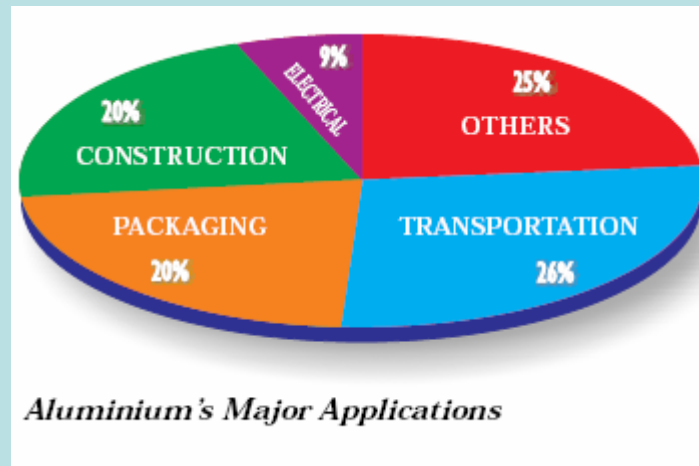
L'aluminium est

>> irremplaçable dans l'application
aéronautique (1% des applications)

>> remplaçable dans toutes les autres

Énergie et environnement : les défis de l'industrie de l'aluminium

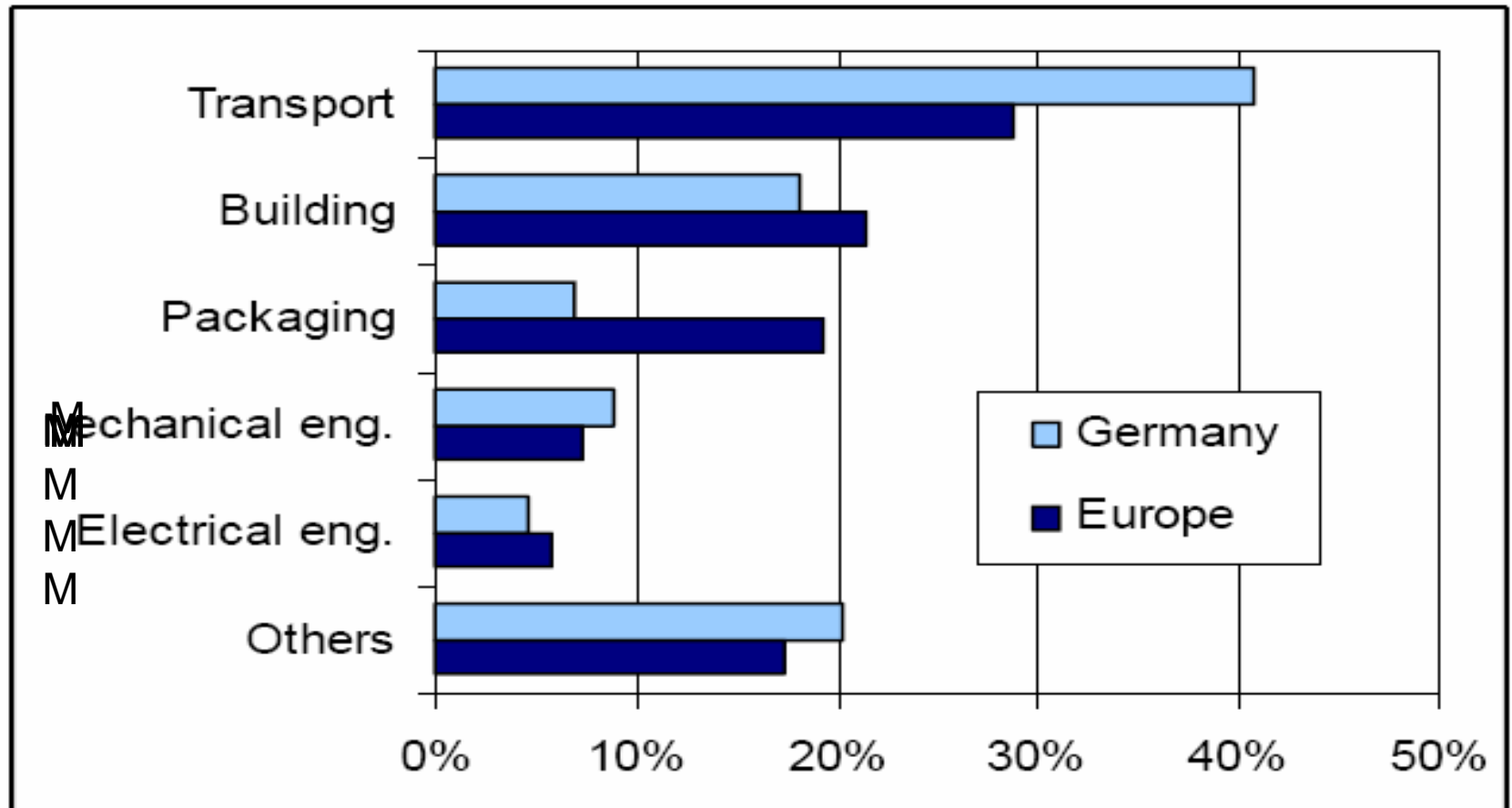
les applications mondiales de l'aluminium
(IAI, the aluminium industry's sustainable development report)



Énergie et environnement :

les défis de l'industrie de l'aluminium

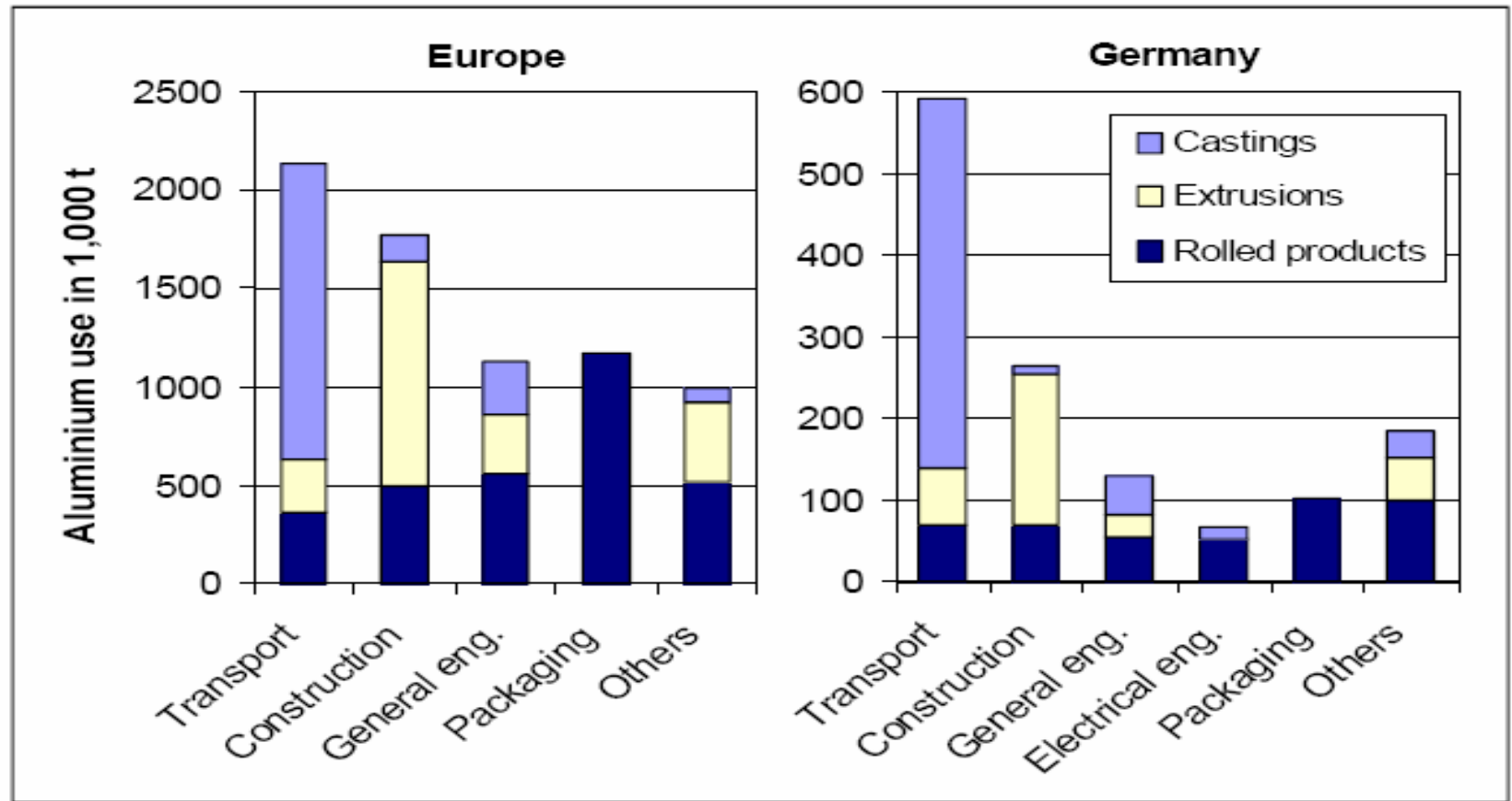
Applications de l'aluminium en Allemagne et en Europe



Énergie et environnement :

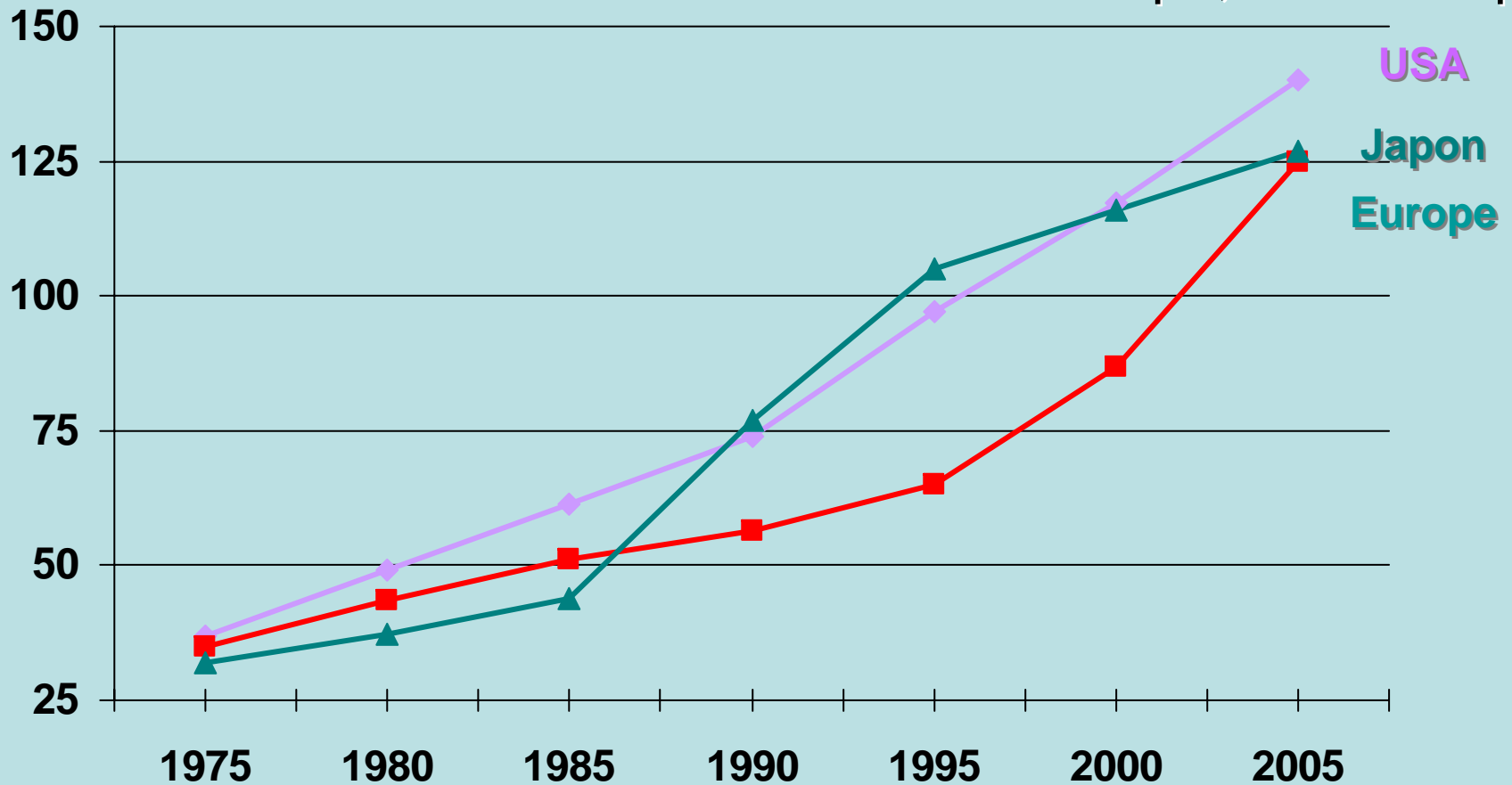
les défis de l'industrie de l'aluminium

Semi-produits et applications en Allemagne et en Europe
en 1998

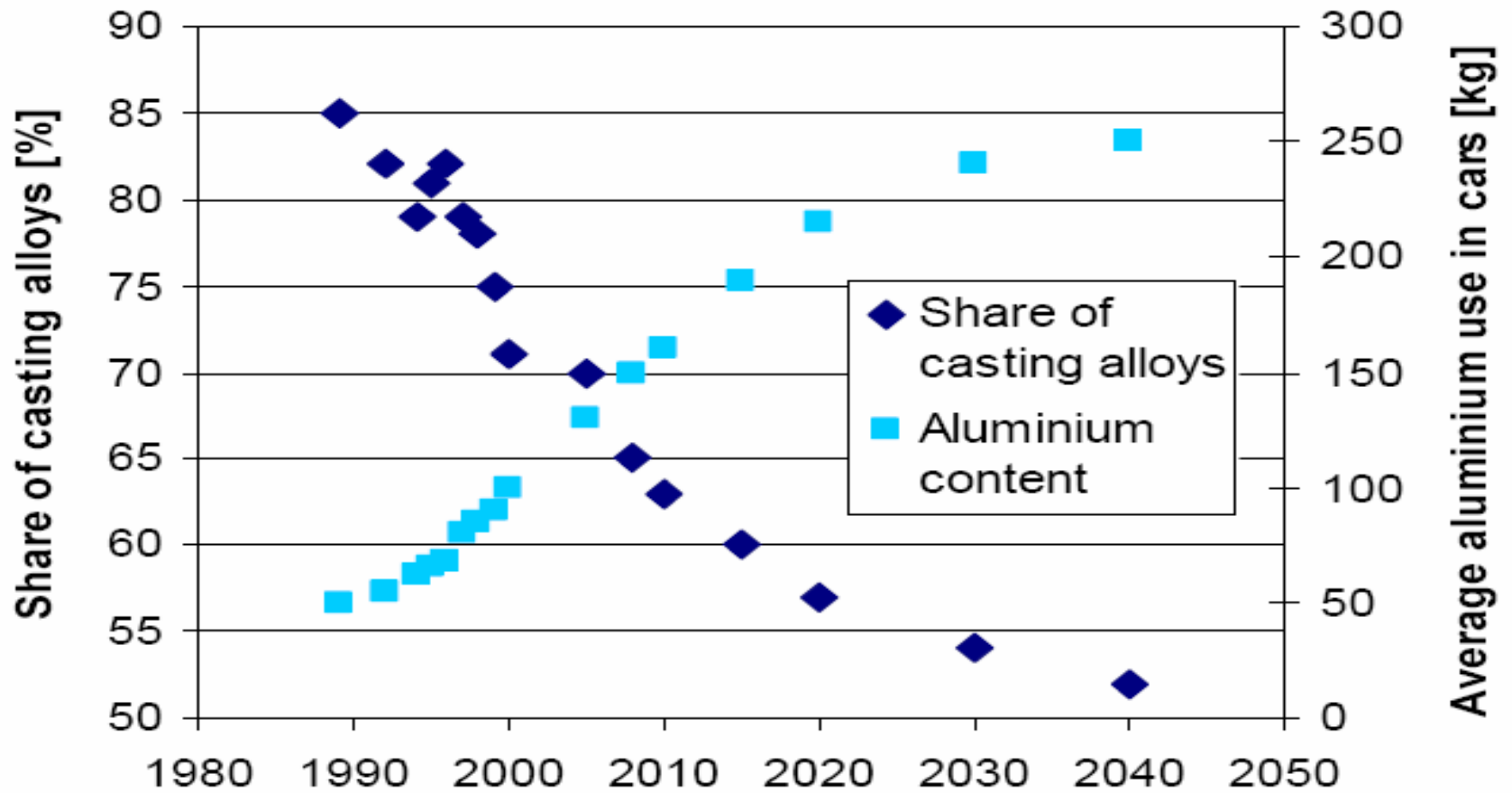


Énergie et environnement : les défis de l'industrie de l'aluminium

Contenu aluminium d'un véhicule - Europe, USA & Japon

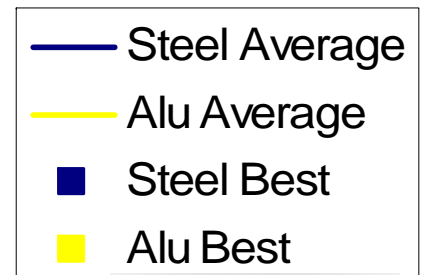
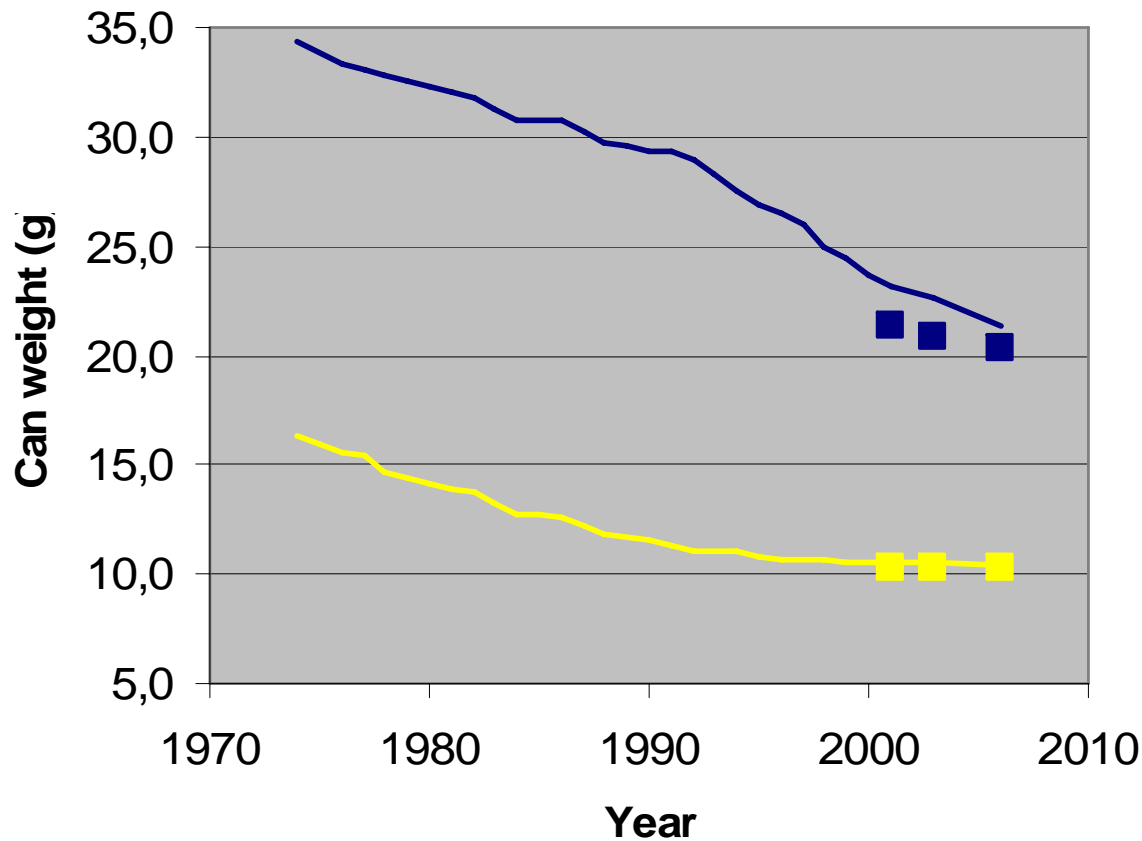


Énergie et environnement : les défis de l'industrie de l'aluminium aluminium total et part des alliages de moulage dans l'automobile



Énergie et environnement : les défis de l'industrie de l'aluminium

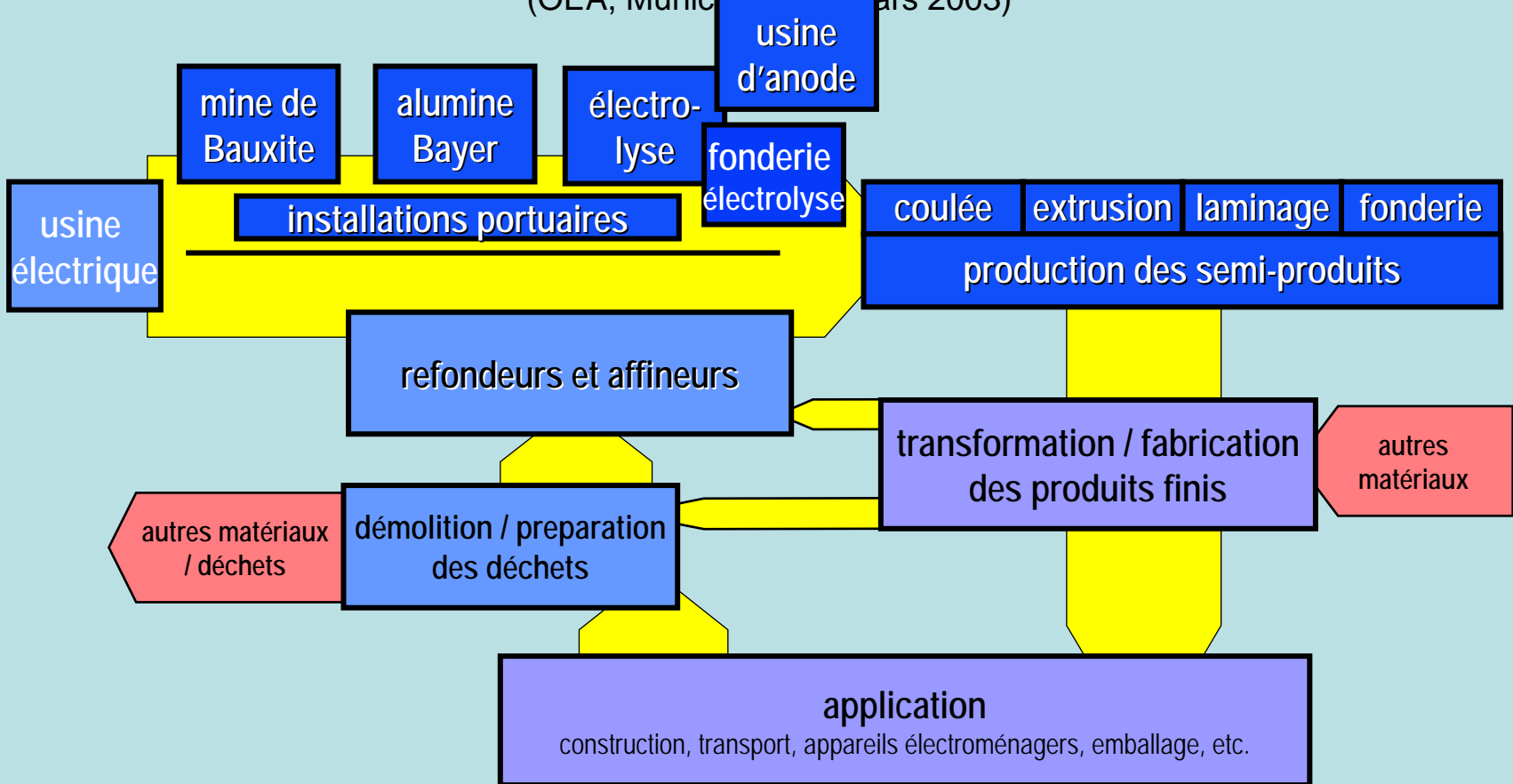
Can weight evolution in Europe (33cl cans)



Énergie et environnement : les défis de l'industrie de l'aluminium

l'industrie de l'aluminium, du minerai et du déchet au produit fini

(OEA, Munich, 17-19 mars 2003)



Énergie et environnement :
les défis de l'industrie de l'aluminium
l'importance du recyclage

tonnage mondial 2006

68,8 millions de tonnes mises en
oeuvre

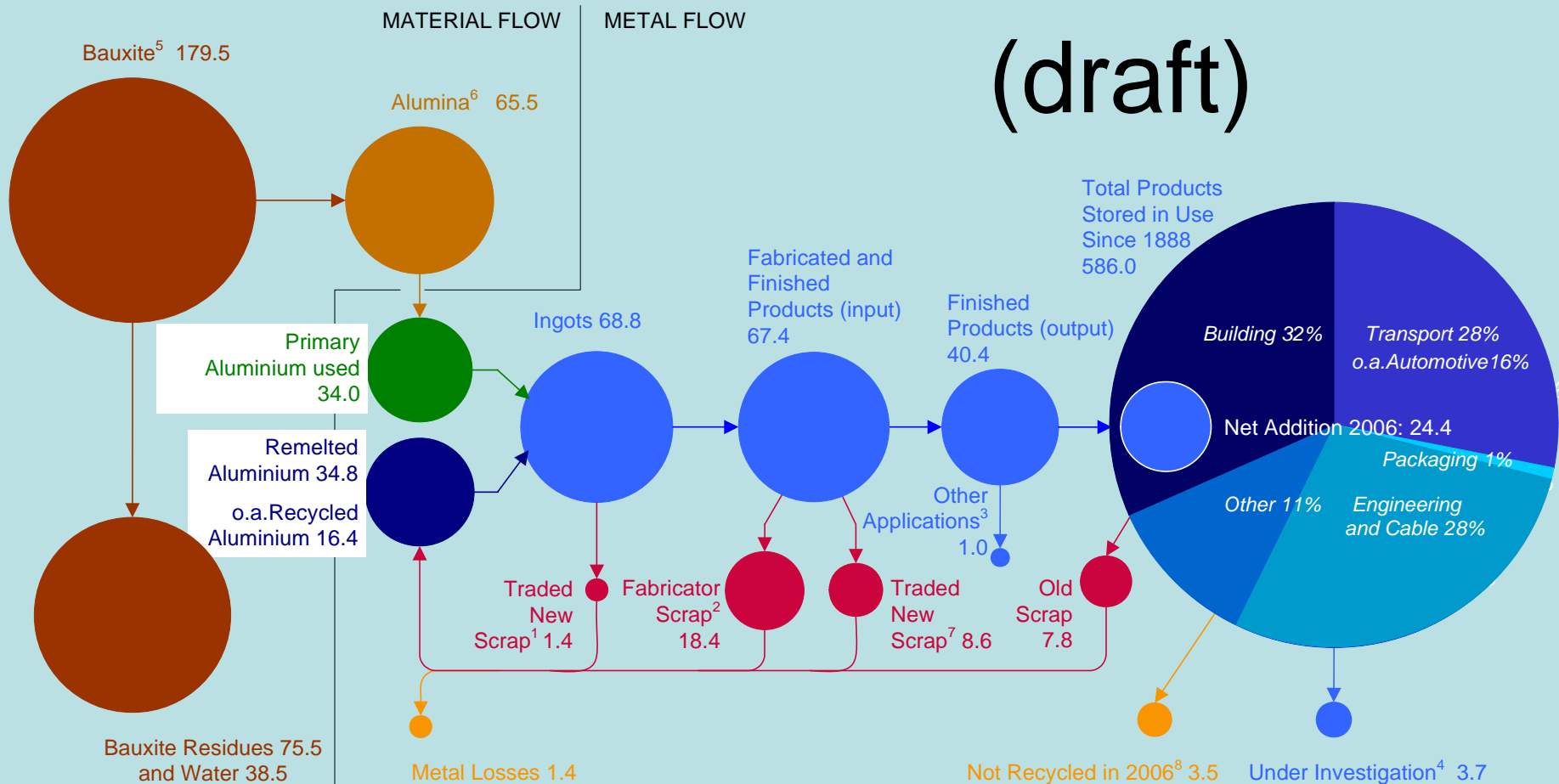
dont 34 d'aluminium électrolytique

et 38,8 d'aluminium recyclé

(dont 18 d'aluminium refondu et 16,8
d'aluminium affiné)

pour 40,4 de produits finis.

Énergie et environnement : les défis de l'industrie du recyclage. Les flux globaux en 2006.



Values in millions of metric tonnes. Values might not add up due to rounding. Production stocks not shown

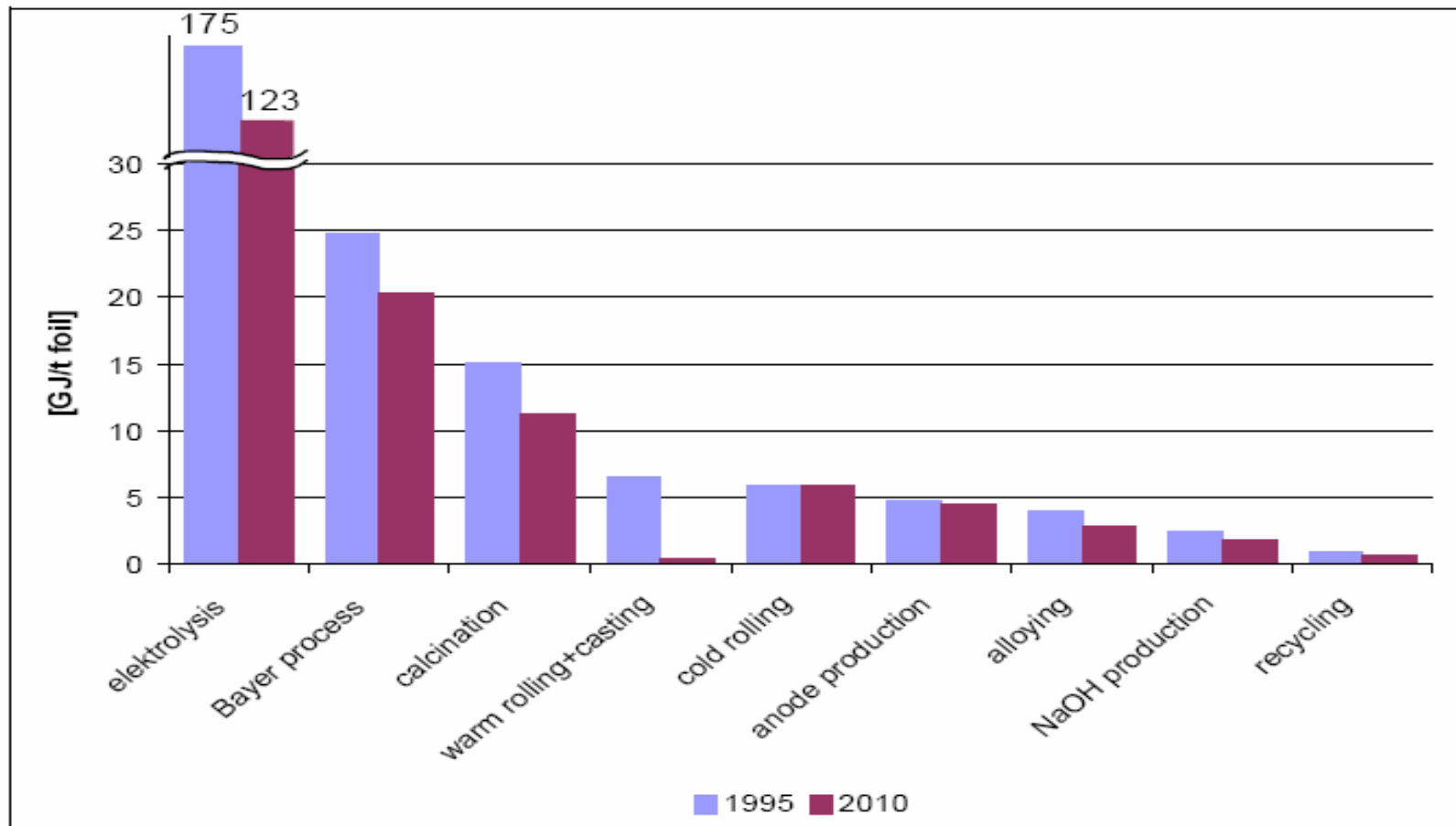
1 Aluminium in skimmings; 2 Scrap generated by foundries, rolling mills and extruders. Most is internal scrap and not taken into account in statistics; 3 Such as powder, paste and deoxidation aluminium (metal property is lost) 4 Area of current research to identify final aluminium destination (reuse, recycling or landfilling); 5 Calculated based on IAI LCI report - update 2005. Includes, depending on the ore, between 30% and 50% alumina; 6 Calculated. Includes on a global average 52% aluminium; 7 Scrap generated during the production of finished products from semis; 8 Landfilled, dissipated into other recycling streams, incinerated, incinerated with energy recovery.

Énergie et environnement :
les défis de l'industrie de l'aluminium
consommation d'énergie par tonne d'aluminium
produite à partir du minerai

étape de la fabrication	consommation d'énergie	référence électrolyse
extraction du minerai	3-5 GJ	2 - 3
fabrication de l'alumine (procédé BAYER)	22-30 GJ	15 - 16
fabrication de l'aluminium (électrolyse HALL-HEROULT)	150-185 GJ	100
fabrication des semi-produits	10-30 GJ/tonne de semi-produit	7 - 16
fabrication des produits finis	10-30 GJ/tonne de produit fini	7 - 16

Énergie et environnement : les défis de l'industrie de l'aluminium

consommation d'énergie par étapes de fabrication pour 1 t de semi-produit (feuille)



Énergie et environnement :

les défis de l'industrie de l'aluminium

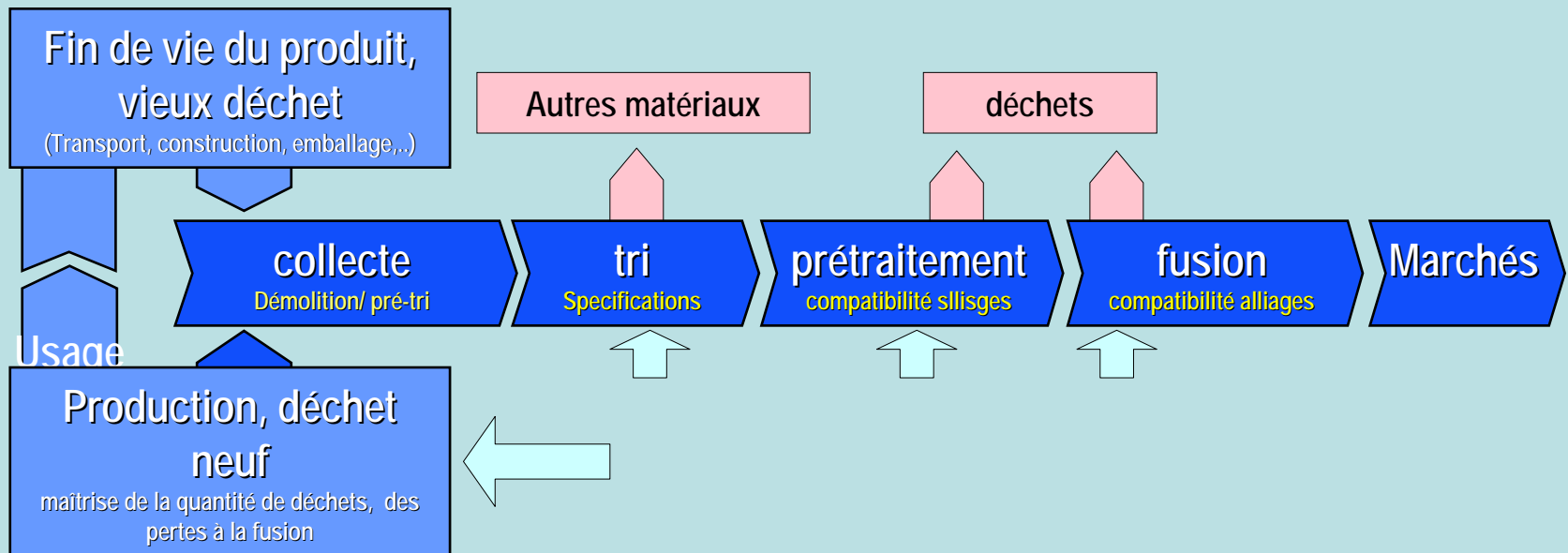
principales émissions polluantes au cours de la fabrication de
l'aluminium **à partir du minerai**

Étape de la fabrication	Émissions polluantes	quantités par tonne d'aluminium
Extraction du minerai	stériles, déblais miniers	1 – 3 tonnes
Fabrication de l'alumine (procédé BAYER)	boues rouges	1 – 3 tonnes
Fabrication de l'aluminium (électrolyse)	CO2 anodique	1,7 – 1,9 tonnes
	CO2 équivalent (produits fluorés)	2,6 – 5,2 tonnes
	total CO2 hors électricité	4,3 – 7,1 tonnes
Fabrication des semi-produits	huiles, peintures, vernis	dizaine de kilogrammes
Fabrication des produits finis	huiles, peintures, vernis	idem

Énergie et environnement : les défis de l'industrie de l'aluminium

les classes de déchets et les étapes du recyclage

(d'après IAI, Key parameters for a recycling system, OEA Munich 17-18 mars 2003)



Énergie et environnement : les défis de l'industrie du recyclage

Les déchets deux classes :

- >> les déchets neufs (de fabrication) : tout est recyclé mais il y a trop de déchets neufs (faible productivité de la transformation en semi-produits)
- >> les vieux déchets (de consommation) : tout n'est pas recyclé (collecte, marché de l'aluminium recyclé, opérateur)

Énergie et environnement : les défis de l'industrie du recyclage.

Empreinte environnementale comparée de la fabrication de l'aluminium à partir du minerai et à partir du déchet

DEVELOPPEMENT DURABLE et ENERGIE :
les ENJEUX du RECYCLAGE de l'ALUMINIUM
environnement et fabrication de l'aluminium

produit nuisible pour l'environnement	voie minerai	voie déchet
déchets minier, stérile	1 t – 3 t	néant
boues rouges, crasses de fusion	1 t – 3 t	0,01 t – 0,05 t après recyclage des crasses
CO2 procédé ⁽¹⁾	1,7 t – 1,9 t (électrolyse)	0 – 0,1 t
CF4	0,4 kg – 0,8 kg	néant
total CO2 équivalent procédé ⁽¹⁾	4,3 t – 7,1 t	0 – 0,1 t

procédé ⁽¹⁾ : hors énergie

Énergie et environnement : les défis de l'industrie du recyclage

Empreinte énergétique comparée de la fabrication de l'aluminium
à partir du minerai et à partir du déchet

étape	Énergie via minerai (GJ/tonne)		énergie via déchet (GJ/tonne)		référence minerai
	simple	cumulée	simple	cumulée	
Aluminium liquide	175-220	175-220	5-10	5-10	3-6 (4)
Semi- produit	10-30	185-250	10-30	15-40	8-18 (13)
Produit fini	10-30	195-280	10-30	25-70	13-25 (20)

Énergie et environnement : les défis de l'industrie du recyclage

Quelle caractéristiques de l'industrie de
l'aluminium ?

>> jeune (1886)

>> mondialisée (énergie et minerais) depuis
plus de 50 ans

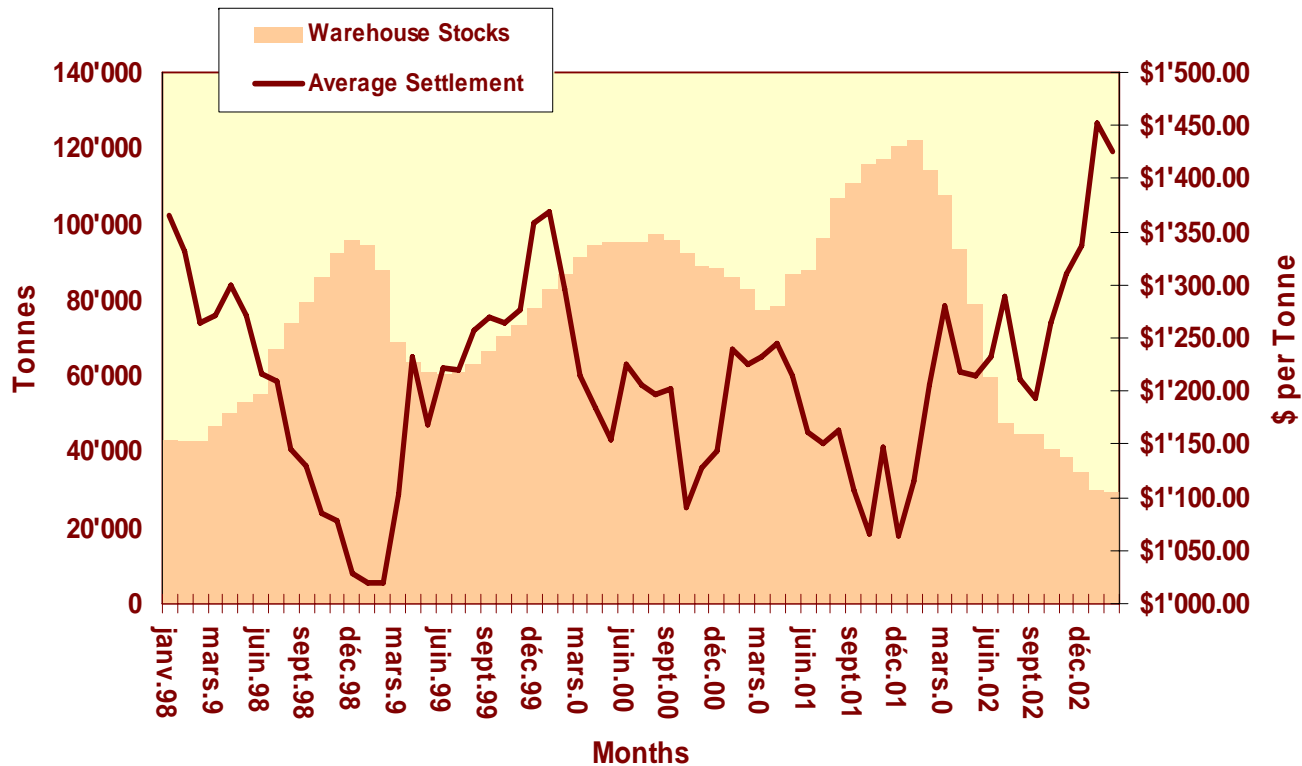
>> dynamique (+ 5%/an depuis 1886)

>> dichotomique (minerais et déchets)

>> financièrement très dépendante (car «capital
Intensive». Investissements déchets : 500 US\$/t,
et minerais : 10.000 US\$/t)

Énergie et environnement : les défis de l'industrie du recyclage prix et stocks (alliage aluminium, Al-Si 13% ?)

LME Aluminium Alloy Contract
Month end stocks and Monthly Average Settlement Prices
Jan 1998 - Feb 2003



Énergie et environnement : les défis de l'industrie du recyclage

Trois réponses :

>> mieux produire à partir du minerai

>> mieux consommer

>> mieux recycler

Énergie et environnement : les défis de l'industrie du recyclage

- >> mieux produire à partir du minerai
- > concerne d'abord l'électrolyse. Un effort permanent a donné des résultats remarquables (KWh/t, produits fluorés). Mais on bute sur la maturité de toutes les étapes (Rt énergie électrolyse = 60%).
- > la R/D = anode non consommable (sans carbone), autres procédés. Mais beaucoup a été fait.

Énergie et environnement : les défis de l'industrie du recyclage

>> mieux consommer

- l'aluminium est totalement remplaçable
- ses applications sont elles justifiées, et pour commencer écologiquement ?
- c'est l'éco-bilan, l'éco-conception prenant en compte le recyclage mais il faut disposer de méthodologies globales, rigoureuses, honnêtes, objectives. Elles sont peu nombreuses encore aujourd'hui.

Énergie et environnement : les défis de l'industrie du recyclage

mieux consommer :

>> l'importance de l'énergie et de
l'environnement gris dans les applications

>> exemple de l'automobile : remplacer 200 kg de
fer (fontes et aciers) par 100 kg d'aluminium,

* c'est investir 5 GJ et 0,5 t CO₂ pour un mix 50%
via minerai – 50% via déchet

* pour gagner 0,01 l d'essence et 22 g CO₂/km.

Il faut parcourir au moins 20.000 km pour «payer »
l'investissement.

Énergie et environnement : les défis de l'industrie du recyclage

>> mieux recycler

- > bien produire les déchets (plus de vieux, moins de neufs)
- > bien concevoir les produits donnant les vieux déchets (voir mieux consommer)
- > mieux collecter pour travailler en boucle fermée plus qu'en boucle ouverte
- > avoir une économie du recyclage

Énergie et environnement : les défis de l'industrie du recyclage

