

# SLIJTAGE – ONBEMIND MAAKT ONBEKEND

Jan MOENS

**H**OEWEL SOMMIGE NUMISMATEN MISSCHIEN ZULLEN STELLEN DAT EEN muntstuk pas echt ‘getuigt van het verleden’ indien het sporen van circulatie – m.a.w. van slijtage – vertoont, geven de meeste verzamelaars toch de voorkeur aan munten in de hoogste kwaliteitsklassen. Slijtage is dus een allesbehalve populair fenomeen in de numismatiek, en dit vormt waarschijnlijk ook de reden waarom hierover – zeker in het Nederlands – zeer weinig is gepubliceerd. Wij hopen met deze bijdrage deze lacune in te vullen, maar zullen daarbij doelbewust àl te technische uitweidingen vermijden.

## TRIBOLOGISCH OPTIMALE DIMENSIONERING VAN EEN MUNT

Hoewel we pas verder zullen zien hoe het slijtageproces bij munten – of het nu gaat om antieke, middeleeuwse of moderne – juist in zijn werk gaat, zal de lezer wel akkoord gaan met de stelling dat slijtage het gevolg is van het feit dat een muntstuk in aanraking komt met een ander voorwerp (in de meeste gevallen zal hierbij trouwens een ander muntstuk betrokken zijn). De wetenschappelijke discipline die bestudeert wat er dan gebeurt, wordt sinds de jaren 1960 *tribologie* genoemd; deze term is afgeleid van het Griekse woord  $\tau\rho\iota\beta\omega$ , dat wrijven betekent. Tribologen houden zich dus concreet bezig met de fenomenen die optreden wanneer bewegende materialen met elkaar in contact komen. Die materialen kunnen vast zijn (wrijving), maar één van beide kan ook vloeibaar zijn (erosie). In ieder geval is het resultaat van het proces dat voorwerpen sporen van slijtage beginnen te vertonen, die zo belangrijk kunnen worden dat ze moeten worden vervangen, wat dus leidt tot een economische kost. Tribologen streven er dan ook naar om manieren te vinden die het slijtageproces kunnen beperken of vertragen, zodat de levensduur van voorwerpen kan worden verlengd, hetgeen dus economisch gezien neerkomt op een besparing.

De eerste ‘triboloog *avant la lettre*’ was Leonardo da Vinci (° 1452 – † 1519), die uit grondige observatie twee eigenlijk voor de hand liggende zgn. wrijvingswetten afleidde:

- de eerste wet stelt dat de kracht die nodig is om wrijving te overwinnen (bijvoorbeeld om een voorwerp te verschuiven over een ander voorwerp), evenredig is met de grootte van het contactoppervlak tussen beide voorwerpen; anders gezegd, leidt een verdubbeling van de grootte van het contactoppervlak, ook tot een verdubbeling van de kracht die nodig is om het voorwerp te verplaatsen;
- de tweede wet stelt dat de benodigde kracht ook evenredig is met het gewicht van het voorwerp dat moet worden verschoven; anders gezegd, is voor een twee keer zo zwaar voorwerp, bij een gelijk blijvend contactoppervlak, ook een twee keer zo grote kracht nodig om het voorwerp te verplaatsen.

Sindsdien heeft deze wetenschappelijke discipline natuurlijk heel wat vooruitgang geboekt, en we kunnen ons nu de vraag stellen of er – vanuit tribologisch standpunt gezien – zoiets bestaat als een ‘optimale dimensionering’ van een muntstuk. Meer concreet kunnen we dus proberen na te gaan of er, bij een vooropgestelde massa die het muntstuk moet hebben, zoiets bestaat als een ‘beste’ verhouding tussen de diameter en de dikte van het muntplaatje, die leidt tot een zo traag mogelijk verslijten van het muntstuk in kwestie.

Dit vraagstuk is natuurlijk des te belangrijker naarmate het (edel) metaal waaruit het muntstuk is gemaakt, meer waardevol is. Zeker toen munten nog een intrinsieke metaalwaarde hadden die nauw aansloot bij hun nominale waarde – m.a.w. ruwweg tot aan Wereldoorlog I – was het voor een regering (althans voor zover die opdraaide voor de kosten van het door slijtage verloren edel metaal; *zie verder*) van belang om munttypes te kiezen die zo traag mogelijk versleten.

We kunnen dit vraagstuk nog concreter maken, door in de huid te kruipen van de Franse minister van Financiën, die in de jaren 1854-55 moest beslissen wat de diameter moest worden van de nieuwe goudstukken van 5, 10, 50 en 100 frank die in omloop zouden worden gebracht: de eerste twee waren nodig om te verhelpen aan het, door de stijging van de zilverprijs, steeds schaarser worden van de zilveren 5 frank-stukken — de laatste twee konden worden aangemunt dankzij het feit dat er sinds enkele jaren grote hoeveelheden goud op de markt kwamen vanuit Californië en Australië.

Logischerwijze werden eerst de afmetingen geanalyseerd van de reeds bestaande goudstukken van 20 en 40 frank. Om te komen tot een ‘homogene’ reeks, lijkt het voor de hand te liggen om te kiezen voor een identieke verhouding tussen de diameter  $D$  van de verschillende stukken en hun dikte  $d$ , zodat m.a.w.

$$\frac{D_5}{d_5} = \frac{D_{10}}{d_{10}} = \frac{D_{20}}{d_{20}} = \frac{D_{40}}{d_{40}} = \frac{D_{50}}{d_{50}} = \frac{D_{100}}{d_{100}}$$

Omdat de gemiddelde dikte van muntplaatjes moeilijk kan worden gemeten, zullen we proberen deze parameter te elimineren uit de berekeningen. Nu hebben muntplaatjes (doorgaans) een cilindervorm, en wordt hun volume gegeven door de formule  $V = \pi/4 \times D^2 \times d$ . Anderzijds kan het volume ook worden berekend door de massa van het muntstuk (in g) te delen door de soortelijke massa  $\gamma$  (in g/cm<sup>3</sup>) van de metaallegering waarmee het muntstuk werd geslagen. En de massa van het muntstuk kan natuurlijk eenvoudig worden berekend aan de hand van de snede  $N$ , d.w.z. het aantal stukken per 1000 g. Anders gezegd, geldt dus  $1000/(N \times \gamma) = \pi/4 \times D^2 \times d$ ; en omdat we uitgaan van een constante verhouding, doorheen de ganse muntenreeks, tussen  $D$  en  $d$  (stel:  $D/d = C_1$ ), kan deze formule nog worden herschreven als  $D^3 \times N = 4000 \times C_1/(\pi \times \gamma)$ . De rechterterm van deze formule bevat alleen maar constante factoren, d.w.z. waarvan – met de gemaakte veronderstellingen – de grootte niet afhangt van de nominale waarde van het beschouwde muntstuk. Bijgevolg geldt dus uiteindelijk dat  $D \times \sqrt[3]{N} = C^{te}$  (*merk op dat in deze formule de dikte  $d$  niet meer voorkomt*).

We kunnen dus relatief eenvoudig verifiëren in welke mate de toenmalige minister van Financiën zijn keuze heeft laten bepalen door overwegingen van ‘homogeniteit’, eerder dan door andere – eventueel tribologische – overwegingen. Deze berekeningen zijn samengevat in de volgende tabel:

Waarde	Gekozen diameter $D$	Snedes $N$ (per kg)	$D \times \sqrt[3]{N}$	‘Perfect homogene’ diameter
5 fr.	14 mm	620	~ 119	13,2 mm
10 fr.	17 mm	310	~ 115	16,7 mm
20 fr.	21 mm	155	~ 113	21,- mm
40 fr.	26 mm	77 1/2	~ 111	26,5 mm
50 fr.	28 mm	62	~ 111	28,5 mm
100 fr.	35 mm	31	~ 110	35,9 mm

De berekeningen tonen aan dat de gemaakte veronderstelling van een constante verhouding doorheen de ganse muntreeks tussen de diameter en de dikte in goede benadering opgaat, maar toch niet helemaal (de waarde van  $D \times \sqrt[3]{N}$  varieert tussen 110 en 119). Indien we het 20 frank-stuk als referentiepunt zouden nemen (dit is het stuk dat het meest courant was), en aan de hand daarvan dan de ‘perfect homogene’ diameters zouden berekenen voor de andere munten (*zie de laatste kolom*), dan blijken de gekozen diameters voor de lagere waarden iets te groot, en voor de hogere waarden iets te klein, maar de afwijkingen zijn kleiner dan 1 mm.

Kan hieruit worden afgeleid dat onze minister zich, bij zijn keuze, heeft laten leiden door nog andere (*lees*: tribologische) overwegingen? Dit lijkt eerder onwaarschijnlijk, des te meer daar hij nog geen 15 maand na zijn keuze, al van mening veranderde. De reden hiervan was dat het publiek de goudstukjes van 5 en 10 frank blijkbaar te klein vond, zodat ze nauwelijks in omloop konden worden gebracht. Vandaar dat werd gekozen voor een iets grotere diameter van resp. 17 (i.p.v. 14) en 19 (i.p.v. 17 mm), wat leidt tot een waarde voor  $D \times \sqrt[3]{N}$  van resp. ~ 145 en ~ 129. Indien deze waarden – *quod non* – ook van toepassing zouden zijn geworden op de andere stukken, dan zou de diameter van het 20 frank-stuk hebben moeten toenemen tot resp. 27 en 24 mm, en die van het 100 frank-stuk zelfs tot resp. 46 en 41 mm, waardoor deze stukken veel ‘platter’ zouden zijn geworden. Vreesde de minister misschien dat dergelijke ‘plattere’ stukken sneller zouden verslijten, omwille van hun grotere oppervlakte?

In wat volgt zullen we deze cruciale vraag – *wordt, bij een vooropgezette massa en metaallegering, de slijtage(snelheid) beïnvloed door de dimensionering van een munt?* – proberen te beantwoorden, maar eerst moeten we preciseren wat we juist bedoelen met de term ‘slijtage(snelheid)’, en hoe we die dan meten.

De numismatische definitie van slijtage, die wordt ‘gemeten’ aan de hand van kwalificaties zoals FDC, Prachtig, Zeer fraai, enz., is hierbij van geen nut: niet alleen gebeurt het toekennen van deze adjectieven op een enigszins subjectieve manier, maar bovenal zijn ze niet kwantitatief<sup>[1]</sup>. Meer objectieve definities zijn de volgende:

- slijtage als een absoluut verlies aan massa  
*vb.: een stuk heeft 0,25 g aan metaal verloren*
- slijtage als een relatief verlies aan massa ten opzichte van een referentiemassa (logischerwijze de beginmassa); het resultaat kan dan worden uitgedrukt in procenten  
*vb.: een stuk met een beginmassa van 8 g heeft 0,25 g aan metaal verloren; relatief gezien is dit dus  $0,25/8 \times 100 = 3,125\%$*
- slijtagesnelheid in absolute massatermen per tijdseenheid  
*vb.: een stuk heeft na 10 jaar in omloop te zijn geweest, 0,25 g aan metaal verloren; de (absolute) slijtagesnelheid bedraagt dus gemiddeld 0,025 g/jaar*
- slijtagesnelheid in relatieve massatermen per tijdseenheid  
*vb.: een stuk met een beginmassa van 8 g heeft na 10 jaar in omloop te zijn geweest, 0,25 g aan metaal verloren; de (relatieve) slijtagesnelheid bedraagt dus gemiddeld 0,3125%/jaar*
- slijtagesnelheid in absolute massatermen per tijdseenheid en per oppervlakte-eenheid  
*vb.: een stuk met een diameter van 2 cm (dus een oppervlakte, voor- en keerzijde samen, van ca.  $6,28 \text{ cm}^2$ ), heeft na 10 jaar in omloop te zijn geweest, 0,25 g aan metaal verloren; de slijtagesnelheid bedraagt dus gemiddeld  $4 \text{ mg/jaar/cm}^2$*
- slijtage als een absoluut verlies aan afmeting (logischerwijze de dikte)  
*vb.: een stuk heeft een metaallaagje verloren met een gemiddelde dikte van  $25 \mu\text{m}$  aan de voorzijde, en van  $20 \mu\text{m}$  aan de keerzijde*
- slijtagesnelheid als een absoluut verlies aan afmeting (logischerwijze de dikte) per tijdseenheid  
*vb.: een stuk heeft na 10 jaar in omloop te zijn geweest een metaallaagje verloren met een gemiddelde dikte van  $25 \mu\text{m}$  aan de voorzijde, en van  $20 \mu\text{m}$  aan de keerzijde; de slijtagesnelheid bedraagt dus  $2,5 \mu\text{m/jaar}$  aan de voorzijde, en  $2 \mu\text{m/jaar}$  aan de keerzijde.*

Uit de laatst gepreciseerde definitie kan impliciet worden afgeleid dat de slijtagesnelheid van voorzijde van een munt kan verschillen van die van de keerzijde. In ieder geval is het voor instanties die verantwoordelijk zijn voor de uitgifte van munten, relevant om te redeneren in termen van *relatieve slijtagesnelheden* (dus in procent per jaar; zie de definitie op grijze achtergrond), al was het maar

<sup>[1]</sup> Onder invloed van de Amerikaanse numismatische markt wordt nu meer en meer gebruik gemaakt van een kwaliteitsquotering op een schaal tussen 0 en 70, maar deze is niet proportioneel met de slijtage: zo zijn munten met een quotering tussen 60 en 70 in principe niet in omloop geweest (en dus niet afgesleten, m.a.w. even zwaar), maar ze onderscheiden zich niettemin door de kwaliteit van de muntslag.

omdat doorgaans wordt bepaald dat een muntstuk uit omloop moet worden genomen wanneer het een bepaald percentage van zijn oorspronkelijke massa heeft verloren (waarbij een verlies aan massa natuurlijk ook tot gevolg heeft dat de afbeeldingen op de munt moeilijker herkenbaar worden, waardoor die een gemakkelijkere prooi wordt voor vervalsers!).<sup>[2]</sup>

Met dit in ons achterhoofd, kunnen we nu een evaluatie maken van de volgende stellingen (de geïnteresseerde lezer kan hier een keuze maken of hij al dan niet akkoord gaat met de uitspraak; we zullen dan aan het einde van het artikel zien in welke mate zijn keuze juist was):

- *stelling 1*: bij eenzelfde massa en diameter verslijten stukken in een zachter metaal sneller dan deze in een harder metaal *ja / neen*
- *stelling 2*: bij eenzelfde massa en diameter verslijten stukken met een hoger reliëf sneller dan deze met een lager reliëf *ja / neen*
- *stelling 3*: bij eenzelfde massa verslijten stukken met een grotere diameter (dus ‘plattere’ munten met een grotere oppervlakte) sneller dan deze met een kleinere diameter *ja / neen*
- *stelling 4*: bij eenzelfde diameter verslijten stukken met een grotere massa (dus ‘zwaardere’ munten) sneller dan deze met een kleinere massa (dus ‘lichtere’ munten) *ja / neen*

Vermoedelijk zullen de meeste lezers telkens spontaan ‘ja’ hebben geantwoord. Laat ons deze vragen nu eens wat meer in detail bekijken.

De eerste vraag lijkt misschien de eenvoudigste, want het lijkt evident dat een harder metaal beter bestand is tegen slijtage dan een zachter metaal. Om uit te maken of dit daadwerkelijk klopt, zouden we eerst moeten bepalen wat we juist verstaan onder de term ‘hardheid (van een metaal)’. In tegenstelling tot andere fysische eigenschappen zoals soortelijk gewicht of soortelijke warmte, die onduidelijk zijn, bestaat er evenwel geen éénduidige manier om de ‘hardheid’ van een materiaal uit te drukken, maar wordt gewerkt met de volgende drie fysische kenmerken:

- de *krasbestendigheid* van een materiaal, die wordt gemeten aan de hand van de zgn. schaal van Mohs. Het is dit aspect van ‘hardheid’ dat misschien het best gekend is, want de meesten onder ons zullen op de vraag ‘wat is het hardste materiaal?’ wellicht spontaan ‘diamant’ antwoorden. Dit klopt, omdat er inderdaad geen enkele vaste stof gekend is die in staat is een kras te maken in een diamant, terwijl met een diamant wel degelijk krassen kunnen worden gemaakt in alle andere (natuurlijke) vaste stoffen. Maar de schaal van Mohs wordt enkel gebruikt voor mineralen en niet voor metalen en hun legeringen, en we kunnen ze dan ook verder buiten beschouwing laten.

<sup>[2]</sup> Het verlies in termen van dikte per jaar is dus waarschijnlijk nog meer relevant, omdat dat begrip nog nauwer aansluit bij het verlies aan herkenbaarheid van de afbeeldingen, maar het is vanzelfsprekend moeilijker meetbaar dan een massaverlies, dat met een eenvoudige balans kan worden vastgesteld.

- de *terugslagweerstand* van een materiaal. Deze eigenschap wordt gemeten door – in gestandaardiseerde omstandigheden – een bolvormig gewicht te laten vallen op het materiaal dat men bestudeert, en dan te meten tot op welke hoogte dit gewicht terugstuitert. Hoe groter deze hoogte, hoe groter de fractie van zijn oorspronkelijke (potentiële) energie die het gewicht heeft behouden – hoe kleiner deze hoogte, hoe kleiner deze fractie. En omdat nu eenmaal de wet van behoud van energie geldt, betekent dit dat het verschil tussen de energie van het gewicht vòòr en nà zijn val, is overgegaan in het materiaal waarop het viel, en daar logischerwijze heeft geleid tot een vervorming. Bij een ‘hard’ metaal zal deze vervorming kleiner zijn dan bij een ‘zacht’ metaal, wat dus betekent dat het vallend gewicht bij een ‘hard’ metaal minder energie zal overdragen en dus meer energie zal behouden, waardoor het dus tot op een grotere hoogte terugstuitert.
- de *indrukweerstand* van een materiaal. Deze eigenschap wordt gemeten door – weerom in gestandaardiseerde omstandigheden – een harde punt te laten vallen op het materiaal dat men bestudeert, en dan de diepte van de indruk te meten die deze punt nalaat. Hoe ‘zachter’ het materiaal, hoe dieper die indruk zal zijn – hoe ‘harder’ het materiaal, hoe minder diep.

Met de twee beschreven proefopstellingen kan men dus verschillende metalen en hun legeringen op een objectieve cijfermatige basis rangschikken in termen van ‘hardheid’. Hierbij moet worden opgemerkt dat de resultaten meestal wel gelijklopend, maar niet noodzakelijk identiek zijn: zo kan een legering die op het vlak van de terugslagweerstand iets beter scoort dan een andere legering, toch iets minder scoren dan deze laatste op het vlak van de indrukweerstand. Overigens bestaan er voor het meten van deze laatste eigenschap meerdere opstellingen, die elk hun eigen schaal hanteren (Brinell, Rockwell, Vickers).

Laat ons nu terugkeren naar de geponeerde *stelling 1* dat ‘bij eenzelfde massa en diameter, stukken in een zachter metaal sneller verslijten dan deze in een harder metaal’. Zoals reeds gezegd, zullen de meeste lezers dit waarschijnlijk evident vinden. Maar als we ons de bedenking zouden maken dat munten toch vooral verslijten door onderling contact (*zie verder*), d.w.z. doordat ze tegen elkaar wrijven en botsen, dan kunnen we de vraag anders formuleren: wat leidt tot de meeste schade: een ‘hard’ muntstuk dat tegen een ander ‘hard’ stuk botst, of een ‘zacht’ muntstuk dat tegen een ander ‘zacht’ stuk botst? Op die manier hergeformuleerd, is het antwoord op de vraag misschien toch niet meer zó voor de hand liggend...

We laten deze vraag voorlopig voor wat ze is, en kijken naar *stelling 2*, nl. dat stukken met een hoog reliëf – *ceteris paribus*, d.w.z. bij gelijke afmetingen en metaallegeringen – sneller verslijten dan stukken met een laag reliëf. Ook dit lijkt een evidentie te zijn, zodat we – indien de beslissing aan ons lag – dus onze muntgraveurs de opdracht zouden geven om zich te beperken tot ontwerpen met een laag reliëf, ook al gaat dat ten koste van de esthetische eigenschappen van de muntstukken.

Laat ons echter proberen dit intuïtief aanvoelen cijfermatig te onderbouwen. We zullen hierbij – om de zaken niet nodeloos ingewikkeld te maken – werken met een vereenvoudigd model, waarbij we aannemen dat de afbeelding op een muntstuk in goede benadering kan worden gelijkgesteld met een reeks kegeltjes. Het volume van een kegel met een grondvlakdiameter  $D$  en een hoogte  $H$  wordt gegeven door de formule  $V_a = \pi/12 \times D^2 \times H$ . Als we de hoek die de ribbe van de kegel maakt met het muntplaatje voorstellen door  $\alpha$ , dan geldt  $\cotg \alpha = D/H$ , zodat we de formule kunnen herschrijven als  $V_a = \pi/12 \times \cotg^2 \alpha \times H^3$ . Veronderstel nu dat na verloop van tijd een topplaatje met dikte  $h$  is afgesleten. Daardoor is er dus een klein kegeltje met volume  $v_s = \pi/12 \times \cotg^2 \alpha \times h^3$  verloren gegaan door slijtage; ten opzichte van het oorspronkelijk volume van de afbeelding in reliëf vertegenwoordigt dit een fractie ter grootte van  $v_s/V_a = (h/H)^3$ . Het volume  $V_a$ , nl. de hoeveelheid metaal die bij het slaan werd verplaatst om de afbeelding te vormen, is op zich slechts een fractie van het totaal volume van het muntstuk; we stellen deze grootheden voor door resp.  $\sigma$  en  $V_m$ . Bijgevolg wordt de fractie aan volume, dus ook aan gewicht, van het muntstuk die door slijtage is verloren gegaan, gegeven door de formule  $v_s/V_m = \sigma \times (h/H)^3$ .

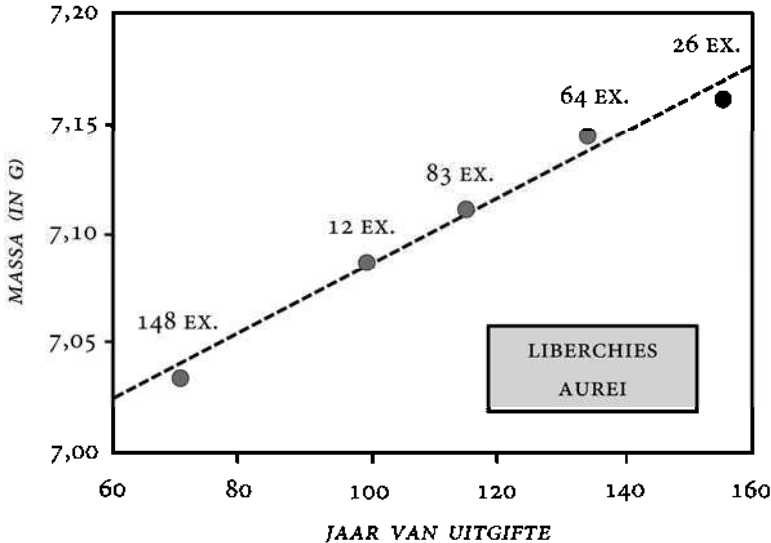
Om de ideeën te vestigen, kunnen we de volgende getalwaarden nemen:

- een muntstuk met een afbeelding in normaal reliëf heeft een waarde van  $\sigma$  van ongeveer 10%, d.w.z. dat voor het slaan van de afbeelding 10% van de massa van het muntplaatje moet worden verplaatst; als we nu aannemen dat de dikte van het topplaatje dat is afgesleten 10% van de oorspronkelijke hoogte van het reliëf bedraagt, dan is de fractie van de totale massa van het muntstuk die door slijtage is verloren gegaan, slechts  $10\% \times (10\%)^3 = 0,01\%$ .
- wanneer we nu een stuk in iets groter reliëf nemen, dan heeft dit per definitie een grotere  $\sigma$  en zal ook de relatieve dikte  $h/H$  van het slijtagelaagje, na verloop van eenzelfde tijdsperiode, groter zijn. Laat ons – om de ideeën te vestigen – aannemen dat de waarden van deze parameters het dubbel zijn van die van een muntstuk met een normaal reliëf, dan is de fractie die door slijtage is verloren gegaan, gelijk aan  $20\% \times (20\%)^3 = 0,16\%$ . Dit is weliswaar 16 keer zo veel als bij een munt met een normaal reliëf, maar het blijft, in absolute termen uitgedrukt, nog altijd verwaarloosbaar.

Ook al hebben we hier gewerkt met een sterk vereenvoudigd model, toch is de conclusie die we eruit kunnen trekken, algemeen geldig: de massa metaal die de hoogste reliëftoppen uitmaken, is *de facto* zodanig gering t.o.v. de totale massa van een muntstuk (ze is waarschijnlijk zelfs kleiner dan de foutenmarge die wordt toegestaan op de massa bij de productie van de muntplaatjes), dat de hoogte van het reliëf *de facto* nauwelijks een rol speelt in de globale slijtagesnelheid van een muntstuk.

De kritische lezer zal zich wellicht de vraag stellen of dit ook wordt bevestigd door vaststellingen aan de hand van massabepalingen van munten die effectief een aantal jaar hebben gecirculeerd. Als eerste voorbeeld nemen we de bekende

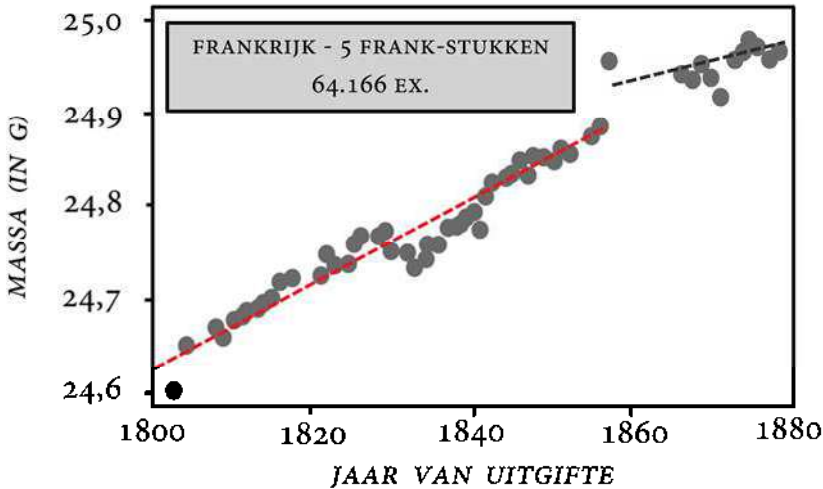
muntschat van Liberchies, met *aurei* die werden geslagen over een periode van ca. 70 tot 155 n.C. Wanneer we de gemiddelde massa uitzetten ten opzichte van het jaar van uitgifte, dan bekomen we onderstaande figuur.



Deze figuur wijst op een lineair verband tussen de reële massa (en bijgevolg ook de massa die door slijtage is verloren gegaan, en die niets anders is dan de oorspronkelijke massa verminderd met de reële massa) en het jaar van aanmunting (en dus ook op het aantal jaar dat de munten hebben gecirculeerd). Anders gezegd, blijkt er dus een constant verlies aan massa te zijn geweest per jaar, zodat m.a.w. deze *aurei* een constante *slijtagesnelheid in absolute massatermen per tijdseenheid* (g/jaar) hadden. Merk op dat we ons in dit stadium nog niet uitspreken over hoe het slijtageproces juist in zijn werk is gegaan: we stellen alleen vast dat voor stukken met (in goede benadering) dezelfde diameter, dezelfde massa, dezelfde metaalsamenstelling en (vermoedelijk) dezelfde of gelijkaardige circulatieomstandigheden, *maar met een brede waaier aan afbeeldingen, dus aan reliëfvormen*, de jaarlijkse slijtagesnelheid dezelfde blijkt te zijn geweest.

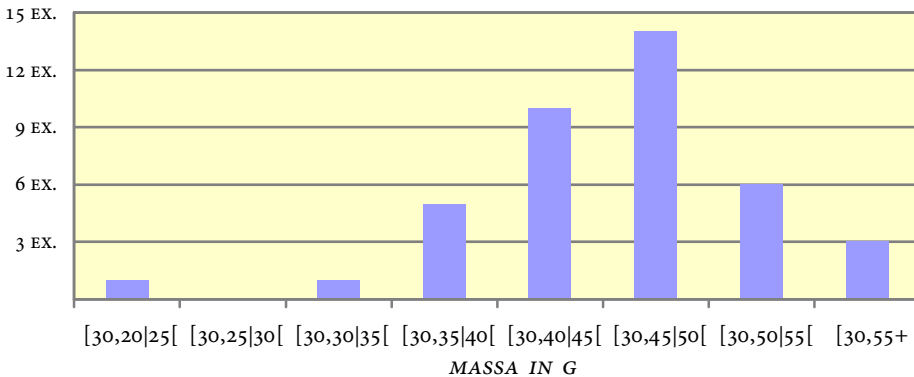
Laat ons een ander voorbeeld nemen, met de resultaten van metingen die de *Monnaie de Paris* rond 1885 heeft uitgevoerd op zo'n 65.000 zilveren 5 frankstukken. In de volgende figuur is hun massa uitgezet t.o.v. het jaar van uitgifte. Uit deze figuur blijkt er een verschil in jaarlijkse slijtagesnelheid te zijn tussen stukken van vóór en na ca. 1860. Bovendien blijken de stukken uit de jaren 1830-35 om één of andere reden relatief meer (dus sneller) afgesleten te zijn dan die van de jaren ervoor en erna. Men zou geneigd kunnen zijn om de vastgestelde verschillen in slijtagesnelheid toe te schrijven aan verschillen in reliëf en/of in circulatieomstandigheden, aangezien de bestudeerde stukken toch dezelfde diameter, massa en metaalsamenstelling hebben. Maar is dit laatste allemaal wel zo zeker? :





- volgens de muntwet van *germinal an XI* die de karakteristieken van deze zilveren 5 frank-stukken vastlegde, moesten die een massa hebben van 25 g, bij een diameter van 37 mm en in een legering van 90% Ag en 10% Cu. Vanzelfsprekend waren dit allemaal richtwaarden, waarbij lichte foutenmarges werden toegestaan, zij het niet op de diameter. Niettemin worden in de praktijk, zeker bij de vroegste uitgiften, toch relatief belangrijke afwijkingen in de *diameter* vastgesteld;
- daarnaast is het een feit dat de affinatetechnieken die tot *ca.* 1830 werden toegepast, er niet in slaagden kleine sporen aan goud en andere edele metalen (samen goed voor enkele ‰) uit het zilver te halen. En bij legeringen is het vaak zo, dat zelfs kleine hoeveelheden 'onzuiverheden' een belangrijke impact kunnen hebben op de (verstoring van de) kristalstructuur, dus op de fysicochemische eigenschappen van de legering (waaronder dus eventueel de 'hardheid'). In ieder geval kan dus niet zomaar worden gesteld dat al deze stukken dezelfde *metaalsamenstelling* hadden;
- *last but not least*, is het ook zo, dat er afwijkingen kunnen worden vastgesteld t.o.v. de theoretische *massa* van 25 g die groter waren dan de wettelijk toegestane niveaus. Het probleem hierbij is natuurlijk, dat dergelijke afwijkingen zouden moeten kunnen worden bestudeerd op een voldoende groot aantal stukken die niet hebben gecirculeerd, om daaruit dan een correctiefactor af te leiden, maar dit is niet realistisch: zeker de oudste uitgiften van de 5 frank-stukken (waar de afwijkingen t.o.v. de richtwaarden vermoedelijk het grootst waren) komen nauwelijks voor in topkwaliteit, en het beschikbaar aantal is te gering om er statistisch verantwoorde uitspraken mee te doen.

Het belang van dit laatste aspect, nl. afwijkingen t.o.v. de theoretische massa, kan worden geïllustreerd aan de hand van onderstaand histogram met de massa van 40 Franse zgn. *écus vertugadins* uit de jaren 1716-18 (weliswaar zowat een eeuw vroeger dan de hierboven bedoelde 5 frank-stukken).



Het betreft stukken uit eenzelfde muntschat, die niet hebben gecirculeerd. Niettemin vertonen ze toch significante massaverschillen, waarbij het verschil tussen het zwaarste en het lichtste stuk uit de schat (beide ‘vers van de pers’) overeenstemt met 8 à 10 jaar slijtage door circulatie. Dit laat aanvoelen hoe moeilijk het is om lessen te trekken uit proefondervindelijk vastgestelde resultaten m.b.t. de slijtagesnelheid (en de elementen die haar eventueel beïnvloeden).

Terugkomend op de proeven van de *Monnaie de Paris*, blijkt dus dat we ons uitgangspunt van dezelfde diameter, dezelfde massa en dezelfde metaalsamenstelling zeker moeten nuanceren. Hoe zit het dan met de parameters ‘reliëf’ en ‘circulatieomstandigheden’?:

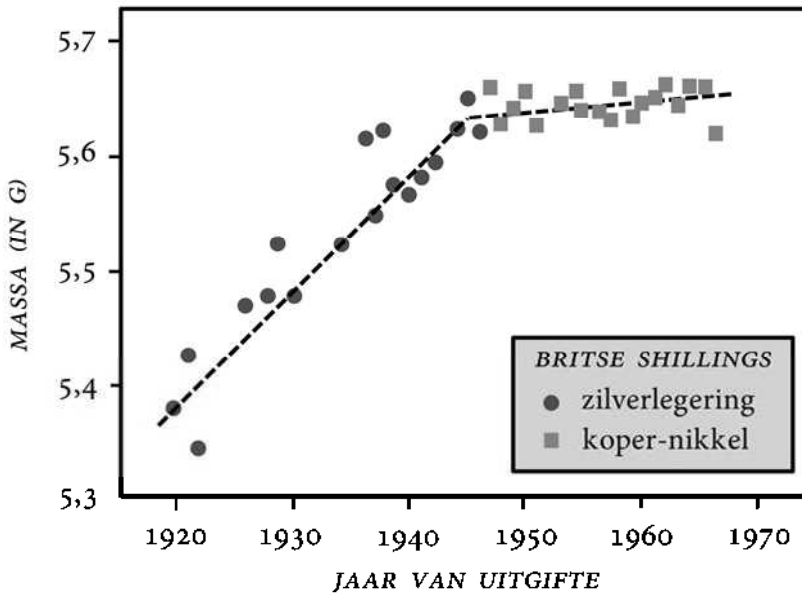
- tussen het begin van de aanmunting en *ca.* 1860 werden 13 types (dus reliëfvormen) uitgegeven : Union & Force (eerste type), Bonaparte Premier Consul, Napoléon Empereur (blootshoofds), Napoléon Empereur (gekroond), Louis XVIII (buste), Louis XVIII (hoofd), Charles X, Louis-Philippe (blootshoofds), Louis-Philippe (gekroond), Union & Force (tweede type), Cérès, Louis-Napoléon en Napoléon III (blootshoofds). Het feit dat (met uitzondering van de jaren 1830-35) de jaarlijkse slijtagesnelheid constant blijkt te zijn geweest, bevestigt dat de afbeelding, dus het reliëfniveau, geen merkbare invloed blijkt te hebben. Ook de ‘abnormale’ slijtagesnelheid van de stukken uit de jaren 1830-35 kan niet worden verklaard door verschillen in reliëf: in 1830 is weliswaar een nieuw type in omloop gebracht (Louis-Philippe blootshoofds met een ‘frivool’ kapsel in tamelijk hoog reliëf), maar dit type werd reeds in 1831 vervangen voor een nieuw (Louis-Philippe blootshoofd met een ‘normaal’ reliëf), dat tot in 1848 werd gebruikt. De verklaring van de ‘anomalie’ uit 1830-35 moet dus niet worden gezocht in de gebruikte afbeeldingen;
- kan een analyse van de circulatieomstandigheden ons iets leren? Voor de meeste tijdvakken weten we – ondanks bijvoorbeeld zorgvuldige analyses van muntvondsten – zeer weinig over de praktische circulatieomstandigheden van de munten. Voor de 19<sup>de</sup> eeuw hebben we meer geschreven bronnen die ons inzicht verschaffen in de toenmalige macro-economische fenomenen die een impact hebben gehad op de muntomloop, maar voorzichtigheid blijft na-

tuurlijk geboden: in feite heeft elk muntstuk zijn eigen historiek, die sterk kan afwijken van die van zijn soortgenoten, en hoe langer een stuk heeft gecirculeerd (dus hoe meer het is afgesleten), hoe groter de discrepantie kan zijn. Dit gezegd zijnde, weten we dat er in Frankrijk tot halfweg de jaren 1850 (*zie ook hierboven*) relatief weinig goud werd aangemunt, en de overgrote meerderheid van de betalingen (toen nog bijna uitsluitend in 'klinkende munt') dus plaatsvond in zilveren 5 frank-stukken. Vanaf dan komt daarin verandering, niet alleen door het feit dat er meer gouden munten werd geslagen (die uiteraard handiger waren bij het betalen van grotere bedragen), maar ook door de ontwikkeling van het bankwezen (en dus van het giraal geldverkeer). Daardoor nam het aantal betaalverrichtingen in zilveren 5 frank-stukken af, en daalde hun omloopsnelheid. Dit verklaart dus meteen ook het verschil in slijtagesnelheid tussen de stukken van vóór en ná 1860.

Maar waaraan is de 'anomalie' van 1830-35 dan toe te schrijven? Het verslag van de *Monnaie de Paris* bevat geen verklaring, maar het is wel zo dat in die periode de oude zilverstukken van het *Ancien Régime* eindelijk (meer dan 40 jaar na de Franse Revolutie!) definitief uit omloop werden genomen en hermolten tot nieuwe 5 frank-stukken. Het werk werd daarbij aan de hand van een nauwkeurig bepaalde verdeelsleutel toegewezen aan 13 verschillende ateliers over heel Frankrijk, waaronder meerdere kleinere. Werden de voorgeschreven kwaliteitsnormen op het vlak van de massa van de nieuwe stukken misschien niet overal even nauwgezet gerespecteerd? Dit lijkt althans een plausibele verklaring, en het is ook begrijpelijk dat de *Monnaie de Paris*, als overheidsinstelling, daar toen geen ruchtbaarheid aan wenste te geven in haar verslag, en verkoos de vraag open te laten.

Hoe dichter de periode waarin de munten hebben gecirculeerd bij ons ligt, hoe meer we weten over hun effectieve circulatieomstandigheden, en hoe minder speculaties we moeten maken. Laat ons het voorbeeld nemen van de metingen die de *Royal Mint* in Londen heeft gedaan in 1970, en die zijn samengevat in de onderstaande figuur.

Deze figuur bevat de massa van de stukken van 1 *shilling*, uitgezet tegen het jaar van aanmunting. Ook hier kunnen er duidelijk twee verschillende jaarlijkse slijtagesnelheden worden vastgesteld, nl. een grotere voor de stukken van 1920 tot 1946, en een kleinere voor de stukken daarna. Aangezien de eerste stukken in een zilverlegering zijn (Ag 500‰, Cu 400‰, Ni 50‰, Zn 50‰) en de tweede in koper-nikkel (Cu 750‰, Ni 250‰), ligt het voor de hand om het verschil in slijtagesnelheid toe te schrijven aan het verschil in legering, dus in 'hardheid' van het gebruikte metaal. Maar juist het feit dat er een andere (*lees vooral ook: goedkopere*) legering werd gebruikt, wijst erop dat de koopkracht van het stuk over de beschouwde 50 jaar merkbaar is afgenomen. En allicht heeft de koopkracht ook een impact op de circulatie-intensiteit van een muntstuk, zodat we ons dus weer geconfronteerd zien met het feit dat de verandering van de slijtagesnelheid aan meer dan één fenomeen kan zijn toe te schrijven, waarbij het bepalen van de impact van elk fenomeen afzonderlijk zo goed als onmogelijk is.



Hoe interessant deze analyses en speculaties ook kunnen zijn, ze leren ons alvast één ding, nl. dat de circulatieomstandigheden – of algemener gesproken, de monetaire omstandigheden – zeker een impact hebben op de effectieve slijtagesnelheid. Spijtig genoeg weten we – tenzij dan voor de meer recente tijdvakken – heel weinig over die omstandigheden, zodat we m.a.w. uit de analyse van de slijtage van munten die lang in omloop zijn geweest, weinig kunnen halen dat ons zou kunnen helpen om te komen tot een ‘tribologisch optimaal’ munttype (dit zou immers veronderstellen dat we eerst de impact van de fluctuerende circulatieomstandigheden zouden moeten kunnen neutraliseren, om dan nog enkel rekening te houden met de impact van de fysische parameters van de stukken). Maar de figuurlijke keerzijde van de medaille hierbij is dat we uit een analyse van de slijtage – mits we te maken hebben met homogene muntreeksen van voldoende grootte – misschien dan wel iets kunnen leren over de monetaire (en indirect, de politieke) omstandigheden in een bepaalde periode waarvoor geen andere bronnen beschikbaar zijn.

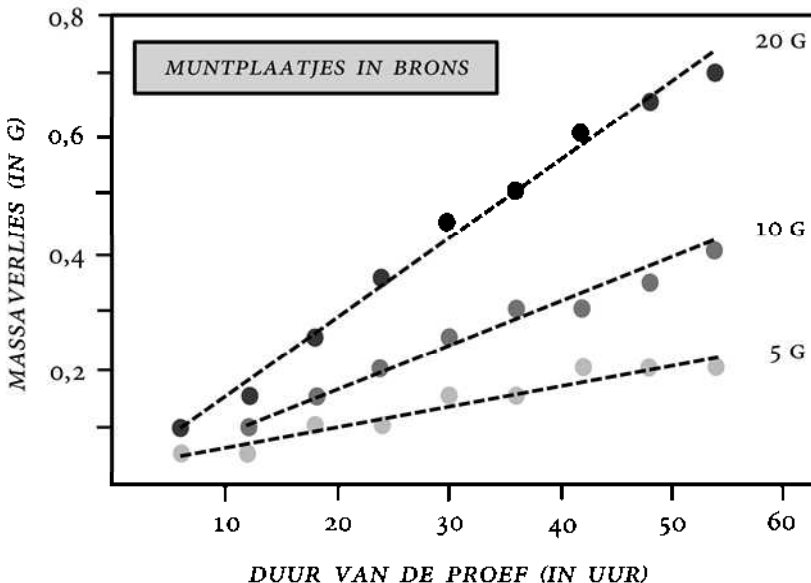
Een tweede belangrijke bedenking bij de beschreven analyses is natuurlijk, dat deze gebaseerd zijn op munten die effectief meerdere tientallen jaren hebben gecirculeerd, maar dat we in de praktijk – bijvoorbeeld als we een keuze zouden moeten maken uit twee legeringen, of uit twee diameters, enz. – moeilijk zo lang kunnen wachten op resultaten.

Vandaar dat men natuurlijk gezocht heeft naar methodes om de reële circulatieomstandigheden na te bootsen in laboratoriumopstellingen, die wel snel resultaten opleveren, waaruit dan – hopelijk – conclusies kunnen worden getrokken m.b.t. de optimale tribologische dimensionering van de muntstukken. Hierbij worden twee uiteenlopende types opstellingen gebruikt:

- het eerste type is een afsluitbare trommel, vergelijkbaar met modellen, gebruikt voor het trekken van nummers in een loterij. De munten worden in de trommel gestoken, waarna die een bepaalde tijd wordt gedraaid, zodat de muntstukken daarin voortdurend tegen elkaar en tegen de trommelwand botsen en dus worden beschadigd, waardoor ze aan gewicht verliezen;
- het tweede type is een soort mozaïektafel, waarbij de verschillende elementen van de mozaïek telkens in een ander materiaal zijn vervaardigd, met verschillende ruw- en hardheden (vb. hout, metaal, steen, stof, ...). Door de tafel telkens in een andere hoek te doen hellen, schuiven de stukken kriskras over de verschillende elementen van de mozaïek, waardoor de wrijving van het slijtageproces in reële omstandigheden wordt nagebootst.

Merk dus op dat de twee soorten opstellingen eigenlijk een ander uitgangspunt hanteren: bij de trommel gaat men ervan uit dat slijtage vooral het resultaat is van contacten tussen munten onderling (en natuurlijk ook wel met de trommelwand), terwijl bij de tafel vooral wrijving met ‘derde lichamen’ wordt geïmiteerd. Wat er ook van zij, door de resultaten van eenzelfde proefopstelling voor stukken met verschillende massa's, diameters en/of metaalsamenstelling met elkaar te vergelijken, kan worden afgeleid welk type het best bestand is tegen (de gesimuleerde) slijtageprocessen.

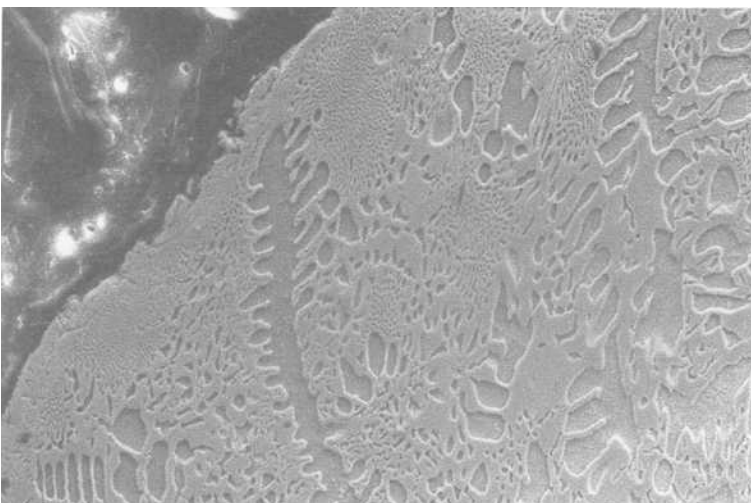
De onderstaande figuur geeft de resultaten van trommelproeven van de *Monnaie de Paris* uit ca. 1885. Hierbij werd het massaverlies gemeten van bronzen muntplaatjes met massa's van 5, 10 en 20 g; bij deze laatste werd bovendien gewerkt met twee diameters: 25 en 30 mm.



De proeven tonen aan dat de absolute slijtagesnelheid quasi lineair toeneemt met de massa: een verdubbeling van de massa leidt m.a.w. tot een bijna twee maal zo grote jaarlijkse absolute gewichtsafname. In relatieve termen uitgedrukt (waarbij m.a.w. het verlies aan massa wordt gerelateerd aan de beginmassa van de stukken) komt dit neer op een constante slijtagesnelheid: de drie beschouwde muntplaatjes verloren in de gebruikte proefopstelling (van het trommeltype) een bijna even grote fractie van hun massa per tijdseenheid.

De proeven tonen ook aan dat de diameter geen rol speelt: de slijtagesnelheid in massa per tijdseenheid was m.a.w. dezelfde voor het ‘plattere’ stuk van 20 g als voor het ‘dikkere’. Wanneer we aannemen dat drukkrachten een rol moeten spelen bij het slijtageproces, dan lijkt dit toch in te gaan tegen ons intuïtief aanvoelen: beschouwen we voor de eenvoud – zoals in de proefopstelling van de *Monnaie de Paris* – vlakke muntplaatjes met een massa van 20 g en een diameter van 2,5 en 3 cm, dus een oppervlakte van resp. ca. 4,91 en 7,07 cm<sup>2</sup>; wanneer we twee muntplaatjes van dezelfde soort op elkaar leggen, dan oefent het bovenste een drukkracht uit op het onderste van resp. ongeveer 4,1 en 2,8 g/cm<sup>2</sup>. Anders gezegd, leidt een verhoging van de diameter van 20% (van 2,5 naar 3 cm), tot een afname van de druk met ongeveer 45% (van 4,1 naar 2,8 g/cm<sup>2</sup>). Zou het dan niet logisch zijn te verwachten dat deze kleinere drukkrachten (bij ‘plattere’ munten) zouden leiden tot minder snelle slijtage? Daartegenover staat natuurlijk dat een plattere munt juist ook over een grotere oppervlakte is blootgesteld aan slijtage, hetgeen dus blijkbaar het effect van de lagere drukkrachten compenseert. *In ieder geval moet het nu stilaan duidelijk worden dat intuïtieve redeneringen ons geen uitsluitsel meer kunnen brengen.*

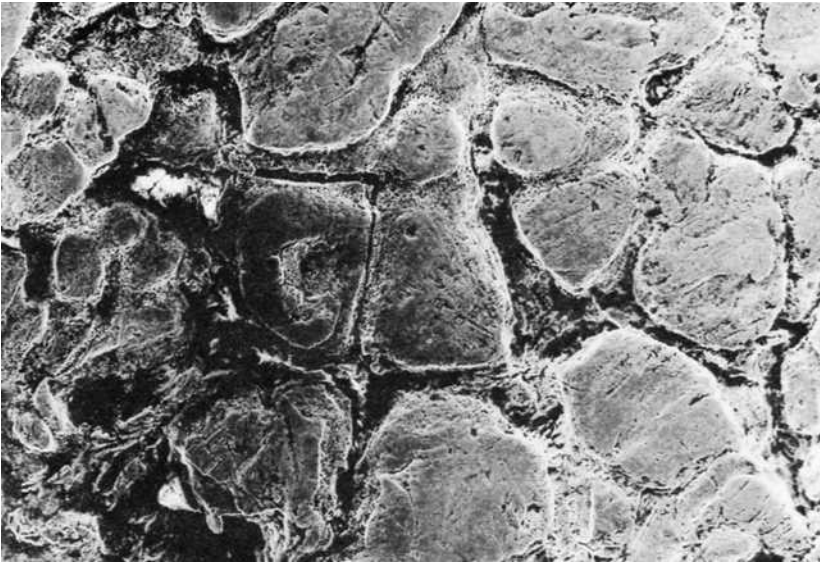
Het moment is dan ook gekomen om het slijtageproces eens (letterlijk en figuurlijk) grondig onder de loep te nemen. Laat ons beginnen met eerst een sterk uitvergroott muntoppervlak te bekijken.



vergrotingsfactor 425

De bovenstaande foto toont een metaallegering van 56% Ag en 44% Cu. Hoewel deze metalen doorgaan als goed mengbaar, blijkt uit de foto dat het oppervlak van de legering allesbehalve homogeen is: in feite zien we een mengsel van twee homogene legeringen, nl. een matrix bestaande uit 87% Ag en 13% Cu, met daarin zgn. dendrieten bestaande uit 18% Ag en 82% Cu. Wanneer we het hebben over de 'hardheid' van de legering gevormd uit 56% Ag en 44% Cu, blijkt dit dus geen eenduidig begrip te zijn, want de 'hardheid' van de matrix verschilt van die van de dendrieten.

Een tweede foto toont een sterke uitvergroting van een oude Griekse munt, zogezegd in zuiver zilver dat echter – met de toenmalige affinagetechnieken – toch nog ongeveer 2% onzuiverheden, vnl. koper en lood, bevat. De foto toont aan dat het muntoppervlak bestaat uit kristallen van nagenoeg zuiver zilver, met daartussenin zones met een laag zilveragehalte en de andere metalen.



*vergrotingsfactor 150*

Muntoppervlakken blijken dus, zelfs in het geval van goed mengbare metaallegeringen, allesbehalve homogeen te zijn. Nochtans blijkt uit de waarnemingen dat de slijtagesnelheid per tijdseenheid nagenoeg constant is, wat erop schijnt te wijzen dat het dus *niet* zo is, dat eerst de zachtere delen (snel), en dan de hardere delen (trager) wegslijten.

Dit schijnt er dus ook op te wijzen dat er bij het slijtageproces fenomenen/krachten spelen die zich nauwelijks iets schijnen aan te trekken van (hoe dan ook relatief kleine) verschillen in hardheid over het niet-homogeen muntoppervlak. We kunnen hierbij in twee richtingen denken: chemische processen en fysische processen.

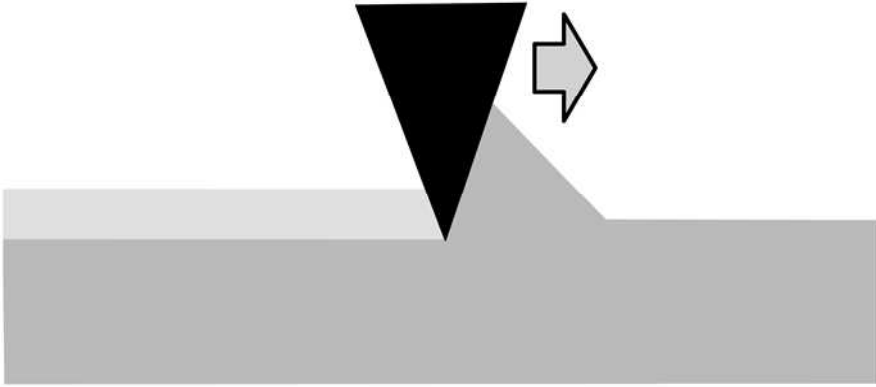
Chemische processen (*lees*: corrosie) kunnen we echter bijna onmiddellijk elimineren op grond van de vaststelling dat ook gouden munten aan slijtage onderhevig zijn, terwijl dit metaal bestand is tegen nagenoeg alle bijtende stoffen die we kennen. De waargenomen slijtagesnelheden bij gouden munten zijn weliswaar lager dan die bij munten in andere metalen, maar de oorzaak hiervan moet eerder worden gezocht in het feit dat goudstukken nu eenmaal minder intensief circuleerden. Vanzelfsprekend zijn een aantal metalen (vb. ijzer, zink, tin) wel degelijk gevoelig aan corrosie, maar deze worden doorgaans niet als muntmetaal gebruikt, tenzij in noodgevallen (vb. tijdens of in de nasleep van oorlogen), waarbij het aspect van de levensduur van de muntstukken die ermee worden geslagen, van secundair belang was. Bovendien kan corrosie soms zelfs een positieve rol spelen: zo is aluminiumoxyde harder dan zuiver aluminium, en beschermt m.a.w. een fijn laagje aluminiumoxyde tegen snelle slijtage. Maar zoals gezegd, we moeten de oorzaak van slijtage niet zoeken in de richting van chemische processen.

We moeten het dus wel zoeken in de richting van fysische (slijtage)processen, en daar kan de tribologie ons ter hulp schieten. In het voorgaande hebben we steeds impliciet verondersteld dat muntslijtage het gevolg is van het feit dat twee munten met elkaar in contact komen, en dit wordt in de tribologie omschreven als *two body contact*. Maar de tribologie kent ook *three body contact*: dit fenomeen doet zich voor wanneer kleine deeltjes zoals stof, zandkorrels e.d. tussen twee grotere lichamen terechtkomen, en daarbij zorgen voor zgn. abrasie (*zie verder*).

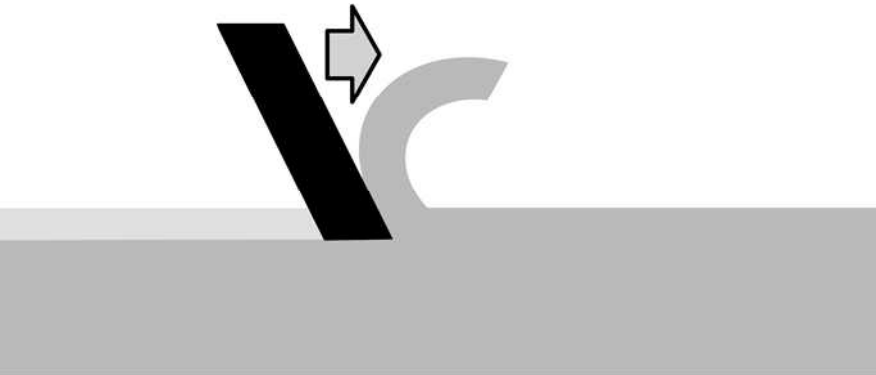
De volgende zeer vereenvoudigde voorstelling geeft een idee van welke krachten daarbij optreden: beschouwen we weer een muntplaatje van 20 g met een doormeter van 2,5 cm. We hebben al berekend dat wanneer we twee van dergelijke muntplaatjes op elkaar leggen, het bovenste een drukkracht uitoefent op het onderste van iets meer dan 4 g/cm<sup>2</sup>. Veronderstel nu dat er tussen beide muntplaatjes een aantal vaste deeltjes zijn geslopen, die we voor de eenvoud de vorm geven van een kleine kubus met een zijde van 1 μm (= 1/10.000 of 10<sup>-4</sup> cm). Neem aan dat we  $N$  van die deeltjes hebben per cm<sup>2</sup>, dan rust dus het bovenste muntplaatje niet rechtstreeks op het onderste, maar wel op deze vaste deeltjes, die per cm<sup>2</sup> een dragende oppervlakte hebben van  $N \times 10^{-8}$  cm<sup>2</sup>. Anders gezegd, oefent elk vast deeltje, zij het zeer lokaal, een druk uit op het onderste muntplaatje van zo'n 400/ $N$  ton/cm<sup>2</sup>. Als we aannemen dat  $N = 4$ , komt dit dus neer op een druk van zo'n 100 ton/cm<sup>2</sup>! We benadrukken dat deze berekeningen vanzelfsprekend een sterk vereenvoudigde voorstelling geven van de werkelijkheid, maar naar orde van grootte juist zijn.

Dergelijke kleine deeltjes oefenen dus lokaal zeer grote krachten uit, en kunnen daardoor heel wat schade aanrichten, zeker wanneer ze over het muntoppervlak 'glijden'. Het fenomeen wordt abrasie genoemd, waarbij zich twee gevallen kunnen voordoen, naargelang de hoek waaronder het abrasief deeltje over het oppervlak glijdt:





- ofwel leidt het glijden enkel tot een verplaatsing van metaal, waarbij er een diepe kras wordt gevormd, maar dus zonder verlies aan massa. Dit is vergelijkbaar met het graven van een greppel, waarbij de aarde links en rechts ervan wordt opgehoopt



- ofwel leidt het glijden tot een zgn. spaan, die afbreekt, waardoor er dus wel massa verloren gaat. Dit is dus vergelijkbaar met het uitgraven van een greppel, waarbij de aarde wordt afgevoerd.

Merk op dat in beide gevallen krassen optreden, maar dat die ook het gevolg kunnen zijn van *two body contact*. Wat Amerikaanse numismaten *bag marks* noemen, is eigenlijk een ‘mooi’ voorbeeld van *two body contact*, nl. doordat twee munten (in dit geval: zilveren dollars) tegen elkaar botsen wanneer de zakken waarin ze worden bewaard, worden verplaatst. Maar dergelijke *bag marks* zijn dus een vorm van verplaatsing van metaal zonder massaverlies.

De volgende foto's tonen het effect van abrasie op resp. een oude Griekse zilveren stater van Egina (*links*) en een recent Frans 2 frank-stuk in nikkel, metaal dat nochtans doorgaat als zeer hard en dus in principe goed bestand tegen slijtage (*rechts*). In de beide gevallen spreken de beelden voor zich.



vergrotingsfactor 1600



vergrotingsfactor 1700

Nu we het fysisch proces hebben blootgelegd dat verantwoordelijk is voor (althans het overgrote deel van) de slijtage van munten, kunnen we eens terugkeren naar de vier geponeerde stellingen, en nagaan in hoeverre de antwoorden die we nu kunnen geven en argumenteren, nog dezelfde zijn als onze vroegere intuïtieve antwoorden.

*Stelling 1* betref de impact van de ‘hardheid’ van het metaal, waarbij we ons afvroegen wat het snelst tot slijtage zou leiden: twee ‘harde’ munten die tegen elkaar botsen, of twee ‘zachte’. We stellen nu vast dat deze vraag eigenlijk fout is geformuleerd, want ze gaat uit van de – verkeerd gebleken – veronderstelling dat slijtage het gevolg is van *two body contact* (twee munten die tegen elkaar botsen), terwijl we nu weten dat slijtage vooral wordt veroorzaakt door *three body contact*. Hierbij speelt dus de onderlinge ‘hardheid’ van de twee munten geen rol, maar wel de onderlinge ‘hardheid’ van het muntmetaal en het abrasief deeltje dat de schade veroorzaakt. Hierbij is het dan natuurlijk zo dat deze schade groter is naarmate het metaal zachter is. Vandaar dus de conclusie, dat munten in een hard metaal inderdaad minder snel slijten dan munten in een zacht metaal.

*Stelling 2* betref de impact van het reliëf op de slijtagesnelheid. We hadden reeds doen aanvoelen dat deze impact *de facto* niet significant kon zijn, gelet op de geringe fractie aan massa die de hoogste reliëftoppen voor hun rekening nemen; ondanks het feit dat deze hoogste toppen sneller afslijten dan indien wordt gewerkt met een lager reliëf, blijkt het verschil in massa die iets sneller verloren gaat, in de praktijk zodanig klein, dat het geen wezenlijke rol speelt. Maar deze redenering is impliciet nog altijd gebaseerd op een *two body contact*-model. De conclusie blijft echter geldig in het *three body contact*-model, omdat het abrasief deeltje zich maar weinig aantrekt van het reliëf.

*Stelling 3* had betrekking op de impact van de diameter, waarbij de vraag werd gesteld of – bij eenzelfde massa – ‘plattere’ stukken sneller zouden verslijten dan ‘dikkeren’. Uit de proeven in laboratoriumomstandigheden bleek dit niet het geval te zijn, en het *three body contact*-model kan dit verklaren: zoals al gezegd, spelen de drukkrachten die een abrasief deeltje uitoefent een doorslaggevende rol; bij een gegeven massa van de bovenste munt, zal de drukkracht kleiner zijn naarmate die over meer abrasieve deeltjes wordt verdeeld, en dus

hoe groter de munt, hoe meer abrasieve deeltjes erop zitten, hoe kleiner de druk per deeltje, en dus ook hoe kleiner de schade per abrasief deeltje; maar dit effect wordt blijkbaar gecompenseerd door het feit dat er nu eenmaal meer abrasieve deeltjes zitten op het muntoppervlak, waarbij het globale resultaat dus zó uitvalt, dat – bij een ‘plattere’ munt – elk abrasief deeltje op zich wat minder schade veroorzaakt, maar dat de schade van alle deeltjes samen – en op een plattere munt zitten er nu eenmaal meer – omzeggens constant is, zodat m.a.w. de diameter geen rol speelt.

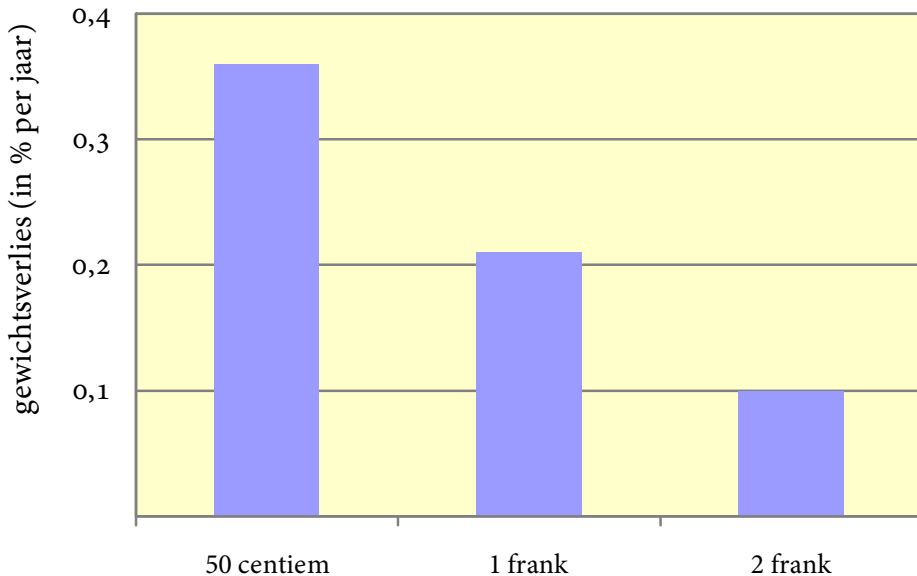
*Stelling 4* tenslotte had betrekking op de impact van de massa bij eenzelfde diameter. Uit ons – we herhalen, sterk vereenvoudigd – *three body contact*-model blijkt dat het aantal abrasieve deeltjes, bij een gelijk blijvende diameter, constant kan worden verondersteld, maar de drukkrachten die ze uitoefenen op de onderste munt zijn natuurlijk wel recht evenredig met de massa van de bovenste munt, en hoe groter deze drukkrachten zijn, hoe groter ook de schade die ze veroorzaken.

Bijgevolg luidt het antwoord op de vier stellingen resp. ‘ja’, ‘neen’, ‘neen’, ‘ja’. De lezer kan deze eens vergelijken met de intuïtieve antwoorden die hij hierboven heeft gegeven.

Nu we een meer gefundeerd antwoord kunnen geven op de vragen, kunnen we eens terugkeren naar het probleem waarmee onze minister van Financiën was geconfronteerd, nl. een ‘optimale’ dimensionering van de goudstukken van 5, 10, 50 en 100 frank. Zijn vrijheidsgraden waren natuurlijk zeer beperkt: de massa van de stukken en de legering (dus de hardheid van het metaal) lagen vast, omdat deze munten nu eenmaal een welbepaalde, in de wet voorgeschreven hoeveelheid goud moesten bevatten. En aangezien het reliëf en de diameter – althans in laboratoriumomstandigheden – geen impact hebben op de slijtagesnelheid, was de minister dus eigenlijk geconfronteerd met een ‘*non-issue*’. Of toch niet? Zoals we reeds hebben vermeld, bleek zijn eerste keuze – gebaseerd op overwegingen van homogeniteit van de muntenreeks – geen succes, althans voor de stukjes van 5 en 10 frank, die door het publiek werden ‘geboycot’ omdat ze zo klein waren. Deze stukjes hebben dus nauwelijks gecirculeerd, zijn daarom ook nauwelijks afgesleten, maar voldeden dus niet aan de verwachtingen: het blijft immers in de eerste plaats nog altijd de bedoeling dat munten zo veel mogelijk hun functie van betaalmiddel invullen, wat dus een zo groot mogelijke circulatie-intensiteit veronderstelt; het aspect van het minimaliseren van de slijtage is daarbij van secundair belang. Maar het is nu juist dit eerste aspect dat zo moeilijk kan worden voorspeld: sommige munttypes blijken nu eenmaal ‘populairder’ dan andere, zullen daardoor vaker worden gebruikt, en dus ook sneller verslijten. Dit maakt ook dat de vermelde laboratoriumproeven weinig nut hebben bij het vastleggen van de optimale dimensies.

Laat ons eens terugkeren naar de proeven met de bronzen muntplaatjes door de *Monnaie de Paris*. Daarbij bleek dat – in laboratoriumomstandigheden – de relatieve gewichtsafname per tijdseenheid quasi constant was. Maar deze vast-

stelling wordt niet bevestigd door de cijfergegevens die we kunnen worden gehaald uit metingen aan de hand van munten die *effectief* gedurende een aantal jaar hebben gecirculeerd, in dit geval zilveren pasmunten van 50 centiem en 1 en 2 frank.



Uit deze figuur blijkt dat de reële relatieve slijtagesnelheid per tijdseenheid absoluut niet constant is, maar voor het muntstukje van 50 centiem (met een massa van 2,5 g) bijna twee keer zo groot is als voor dat van 1 frank (met een massa van 5 g) en bijna vier keer zo groot als voor dat van 2 frank (met een massa van 10 g). Anders gezegd, spreken deze cijfers m.b.t. reële circulatieomstandigheden de cijfers m.b.t. laboratoriumomstandigheden tegen, aangezien de relatieve slijtagesnelheid in reële omstandigheden wel degelijk (en zelfs bijna omgekeerd lineair) afhangt van de massa.

De verklaring hiervoor moet worden gezocht in verschillen in circulatie-intensiteit, waarbij dus blijkt dat stukjes van 50 centiem intensiever werden gebruikt dan die van 1 frank, en deze op hun beurt intensiever dan die van 2 frank. Dergelijke verschillen kunnen wel *a posteriori* worden vastgesteld, maar kunnen moeilijk *a priori* worden voorspeld.

Anders gezegd, is het dus moeilijk om uitspraken te doen over de verwachte 'populariteit' van een bepaald munttype, zodat *de eindconclusie dus - spijtig genoeg - luidt dat de vraag naar de optimale dimensionering van een muntstuk, in termen van minimalisering van de slijtage, eigenlijk niet kan worden beantwoord, omdat de impact van een doorslaggevende parameter, nl. de 'populariteit' van het vooropgezette munttype, niet kan worden voorspeld.*

### HOE GINGEN OVERHEDEN OM MET (MASSAVERLIES DOOR) SLIJTAGE ?

In het tweede deel van deze bijdrage willen we nu een ander aspect van slijtage behandelen, nl. de vraag hoe Overheden er vroeger mee omgingen, en in welke mate ze dus gemotiveerd waren om te zoeken naar manieren om deze te beperken (zo dergelijke manieren al zouden hebben bestaan). Anders gezegd, zullen we bekijken wat het lot was van munten die te sterk waren afgesleten om nog langer als betaalmiddel te kunnen dienen.

In feite weten we zo goed als niets over wat er in de Oudheid gebeurde met munten die niet langer voor circulatie in aanmerking kwamen, om welke reden dan ook: slijtage of omdat de staatkundige eenheid die de munten had uitgegeven, was verdwenen na een oorlog of andere calamiteit, bijvoorbeeld een aardbeving. Schatvondsten bestaan – althans dat mag toch worden verondersteld – uit munten die nog altijd gangbaar waren op het moment dat ze werden verborgen, en bevatten soms zeer sterk afgesleten munten, waaruit we alleen maar kunnen afleiden dat munten soms vele decennia lang in omloop bleven (ten slotte werd hun waarde bepaald door de hoeveelheid edel metaal erin).

Ongetwijfeld zijn veel munten hersmolten door edelsmeden die metaal nodig hadden voor de productie van juwelen of andere siervoorwerpen, maar enerzijds ging het hierbij doorgaans om stukken die nog in omloop waren, en anderzijds en wat belangrijker is: de vraag die we ons stellen betreft de acties die de Overheden eventueel hebben ondernomen om de kwaliteit van hun muntomloop op peil te houden. Werden m.a.w. munten van overheidswege uit de omloop genomen wanneer ze te erg afgesleten waren, en dus – op kosten van de Staat – vervangen door nieuwe stukken? Voor zover mij bekend, zijn er geen epigrafische aanwijzingen in die zin teruggevonden<sup>[3]</sup>; wel zijn er een aantal teksten bewaard over wat er moest gebeuren met vreemde munten wanneer die de stad (vb. in het oude Griekenland met zijn vele stadsstaten) of het land (vb. het Ptolemäische Egypte, met zijn gesloten economie) wilden binnenkomen, maar ook deze teksten gaan dus niet over het lot van de munten dat ons hier interesseert, nl. wat er gebeurde met munten van een type dat nog in omloop was, maar die (te) erg versleten waren.

Zoals vaker vormen munten op zich ook een geschiedkundige bron, en kunnen ze ons soms informatie verstrekken over een brede waaier van verschijnselen. En dit geldt misschien ook voor het fenomeen van slijtage: uit de Romeinse tijd zijn er immers meerdere reeksen zgn. *restitutie*-munten gekend, zo genoemd naar de term *RESTITUIT* die voluit dan wel afgekort voorkomt in hun opschriften; deze munten hernemen daarbij afbeeldingen van oudere munttypes. De volgende afbeeldingen (*niet op ware grootte*) geven enkele voorbeelden, willekeurig gekozen uit de vele honderden gekende types restitutiemunten.

<sup>[3]</sup> Er zijn bijvoorbeeld wel teksten gekend waarin wordt verwezen naar het intrekken van oude munten onder keizer Nero, waarbij deze werden vervangen door nieuwe stukken, die echter minder edel metaal bevatten. Dit soort operaties valt niet onder hetgeen wij hier viseren, nl. het intrekken van versleten stukken om ze te vervangen door nieuwe met eenzelfde gewicht aan edel metaal, en dit op kosten van de Overheid.



*Restitutie van een as van Augustus (27 v.C.-14 n.C.) onder Titus (79-81)*



*Restitutie van een denarius van Sulla (82-80 v.C.) onder Trajanus (98-117)*



*Restitutie van een aureus van Titus (79-81) onder Trajanus (98-117)*

Eén en ander wijst dus in de richting van oude (versleten?) muntstukken die uit de omloop zouden zijn genomen en vervangen door nieuwe, waarbij dezelfde types werden hernomen als deze die voorkwamen op de stukken die werden hersmolten, of minstens munttypes die dateerden uit dezelfde tijd als de hersmolten stukken. Merk op dat niet alle numismaten het met deze interpretatie eens zijn. Er rijzen hierbij immers twee fundamentele problemen/bezwaren:

- dergelijke restitutiemunten zijn gekend in de drie traditionele muntmetalen brons, zilver en goud. Voor munten in edel metaal, waarvan de intrinsieke metaalwaarde (in principe) samenviel met de nominale waarde, kan nog worden aangenomen dat de Overheid waakte over de goede kwaliteit (*les*: massa), maar voor bronzen stukken, die een sterk fiduciair karakter hadden, lijkt dit minder aannemelijk;
- als het bewaren van de goede kwaliteit van de geldomloop echt een permanente (en dus wettelijk geregelde) bekommernis was van de Romeinse Overheid, dan zou er een quasi-continue uitgifte moeten hebben plaatsgevonden van dergelijke restitutiemunten, maar dit blijkt niet het geval: ze komen voor tijdens de regering van slechts enkele keizers, en bovendien waren de gerestitueerde types soms helemaal niet zo oud, dus vermoedelijk nog in voldoende goede staat.

Sommige numismaten stellen dan ook dat deze restitutiemunten niet (systematisch) werden geslagen met metaal uit afgesleten munten, maar dat de uitgiften een soort *hommage* vormden aan belangrijke personages en gebeurtenissen uit de Geschiedenis van Rome. Misschien werden ze zelfs speciaal geslagen voor toenmalige verzamelaars<sup>[4]</sup>?

Wanneer we een sprong maken in de tijd, dan zien we vanaf de late middeleeuwen munttariefboekjes verschijnen waarin wordt aangegeven wat de koers was van de soms zeer grote variëteit aan munten die toen in omloop waren. Hoewel dergelijke boekjes doorgaans op privé-initiatief werden uitgegeven, zijn de tarieven die erin worden vermeld in principe gebaseerd op officiële richtlijnen van de Overheid, hetgeen inhoudt dat munten die niet in de lijsten werden vermeld (*les*: oude munttypes die te erg versleten waren), niet langer in het betalingsverkeer mochten worden aanvaard. Ze konden, mits betaling van een zgn. sleischat of *seigneurie*, worden gesmolten en herslagen tot nieuwe munten. Maar over de mate waarin de Overheid hierbij zelf op een (pro-)actieve wijze initiatieven nam, blijven we eigenlijk in het ongewisse.

We zijn wel redelijk goed geïnformeerd over de zgn. *réformations* die de Franse Bourbons – maar zij waren zeker niet de enige vorsten die deze praktijk toepasten! – hebben afgekondigd (vb. in 1689, 1693, 1701, 1704, ...). Hierbij werden inderdaad oudere stukken uit omloop genomen (juister gezegd, de bezitters ervan werden verplicht ze in te leveren, op straffe van confiscatie), en vervangen door nieuwe, die ofwel iets lichter waren – bij een gelijkblijvende koers – dan de oorspronkelijke stukken, ofwel hun gewicht behielden – al was het maar omdat de Overheid zich de moeite wilde besparen om de stukken te hersmelten, en de oude stukken liever direct als muntplaatje gebruikte, met als resultaat dat soms een deel van de oude afbeeldingen nog zichtbaar bleef – maar dan wel een hogere koers kregen.

---

[4] Van sommige vooraanstaande Romeinen is geweten dat ze een muntverzameling hadden, maar het ging daarbij om Griekse stukken.



'Réformation'-munt uit 1703. Op de voorzijde is duidelijk nog het wapenschild van het vorige munttype zichtbaar; ook vertonen de legendes op zowel de voor- als de keerzijde nog sporen van die van het oorspronkelijk muntstuk

Deze *réformations* hadden m.a.w. niets te maken met een bezorgdheid van de Overheid om de kwaliteit van de muntomloop, maar waren nauwelijks verholten vormen van belastingen, om de armlastige koninklijke Schatkist te spijsen.

Het is pas na de Franse Revolutie dat regeringen zich vragen begonnen te stellen m.b.t. hun verantwoordelijkheid op het vlak van de muntomloop. De wet van *germinal an XI* (1803), die de basis vormde voor het Frans monetair systeem (maar ook voor dat van meerdere andere landen waaronder het onze), maakte misbruiken van overheidswege zoals onder het *Ancien Régime* weliswaar wettelijk onmogelijk, maar bevatte geen bepalingen i.v.m. het lot van versleten munten. Trouwens, toen rond 1830 een aanvang werd gemaakt met de definitieve intrekking van de stukken van het *Ancien Régime* (zie ook hierboven), had de Franse Regering eerst door de *Monnaie de Paris* laten vaststellen wat het *réel* fmgewicht aan edel metaal was van deze stukken (dus na aftrek van het gewichtsverlies door slijtage); de stukken werden dan vergoed op basis van deze vaststellingen, hetgeen m.a.w. betekende dat het de Franse bevolking was die de oude stukken inleverde, die opdraaide voor het verlies door slijtage.

Voor zover mij bekend moeten we voor een concreet initiatief wachten tot in 1860, toen de Zwitserse regering – omwille van de toen hoge zilverprijs – besloot het gehalte van haar zilveren pasmunt te verlagen van 900 naar 800‰. Hierbij werd bepaald dat de winst die op die manier kon worden geboekt, in een reservefonds moest worden gestort, dat zou dienen voor het onderhoud van de muntomloop (*l'entretien de la circulation monétaire*)<sup>[5]</sup>.

Door de oprichting van de Latijnse Muntunie in 1865 kreeg het vraagstuk van de intrekking van versleten muntstukken er in principe een internationale dimensie bij, en tijdens de onderhandelingen van de verschillende akkoorden die

<sup>[5]</sup> Dit fonds werd bijvoorbeeld aangesproken in 1874, toen Zwitserland – in uitvoering van akkoorden binnen de Latijnse Muntunie – de pasmunt met een gehalte van 800‰ uit omloop moest trekken en vervangen door nieuwe, met een gehalte van 835‰. De kosten van deze operatie werden verhaald op dit reservefonds.



werden afgesloten, werd soms een pleidooi gehouden om de kosten tengevolge van slijtage te ‘solidariseren’, dus in een soort gemeenschappelijke pot te steken en dan volgens één of andere verdeelsleutel te spreiden over alle leden. Hiervan is echter niets in huis gekomen, ook en vooral omwille van het feit dat Frankrijk al zo’n 35 resp. 50 jaar vóór België en Zwitserland stukken volgens het systeem van de frank had uitgegeven, en het niet logisch leek deze laatste landen te laten delen in de kosten van de slijtage van deze oude stukken.

De oprichtingsakte van de Latijnse Muntunie beperkte zich dan ook tot de onderlinge verplichting voor de landen om hun versleten stukken die een andere lidstaat zou terugsturen, aan te nemen. Wel werkte het voorbeeld van het Zwitserse reservefonds inspirerend, en de andere lidstaten werden verplicht ook een dergelijk fonds op te richten, waarin de winst uit de aanmunting van zilvergeld (met staven of met zilveren 5 frank-stukken) moest gestort worden, om daarmee dan de kosten te dragen van het op peil houden van de kwaliteit van de in omloop zijnde munten.

Maar deze reservefondsen kwamen aanvankelijk enkel tussen in kosten, gerelateerd aan de pasmunt waarvan de aanmunting was voorbehouden aan de Overheid. Voor goudstukken, waarvan de aanmunting vrij was, hebben de Overheden lang geweigerd om op te draaien voor de aan slijtage verbonden kosten.

Zo bepaalde de muntwet van Groot-Brittannië – toen een wereldmacht waarvan de gouden *sovereign* op alle continenten werd aanvaard – dat de *Bank of England* goudstukken waarvan het gewicht, door slijtage, onder het wettelijk minimum was gevallen, in twee moest snijden en de helften dan aan de oorspronkelijke eigenaar teruggeven. Anders gezegd, kwam de Britse Overheid dus lange tijd niet tussen in de kosten tengevolge van slijtage. Het was dan ook niet verwonderlijk dat heel wat handelaars bij betalingen een kleine wipbalans bovenhaalden, om snel te kunnen nagaan of de goudstukken waarin ze zouden worden betaald, nog wel voldoende wogen.





Hierin zou pas rond 1900 enige verandering komen, toen het Britse Parlement beperkte budgetten goedkeurde om de kosten te dragen die gepaard gingen met het uit omloop nemen van afgesleten goudstukken. In Frankrijk werd toen ook aanvaard dat het vermelde reservefonds mocht worden aangesproken voor de kosten van het intrekken van versleten goudstukken, ook al waren die dus grotendeels voor rekening van particulieren geslagen geweest.

Na Wereldoorlog I, toen veruit de meeste landen de gouden standaard moesten opgeven, verloren de debatten terzake hun belang: de goudstukken verdwenen overal uit de omloop om te worden opgepot, en de vraag wie zou moeten instaan voor de kosten van de slijtage ervan, werd dan ook zonder voorwerp.

#### BEKNOPTE BIBLIOGRAFIE

- R.G. COPE, The wear of UK coins in circulation, *Wear* 13:3 (1969), p. 217-224.
- F. DELAMARE, *Le frai et ses lois. Circulation et usure des monnaies*. Cahiers Ernest-Babelon n° 5, Paris 1994, 296 p.
- H. KOMNICK, *Die Restitutionsmünzen der frühen Kaiserzeit*, Berlin 2001, XII + 292 p. + 10 pl. + 28 tab. (gedeeltelijk consulteerbaar op google.books).
- Ch. LE GRELLE, *Rapport au Ministre des Finances*, Administration des Monnaies de Belgique, 3<sup>ième</sup> année (1902), p. 61-66.
- M.J.H. RUSCOE, A predictive test for coin wear in circulation, *Wear* 119:3 (1987), p. 329-342.
- L. RUAU, *Expériences de frai*, Administration des Monnaies et Médailles, Paris 1884 & 1888.
- R.T. SPURR, The wear rate of coins, *Wear* 8:6 (1965), p. 487-489.
- M. THIRION, *Le trésor de Liberchies*, Bruxelles 1972.
- Voor informatie betreffende het intrekken van de munten van het *Ancien Régime*, zie *Monnaie de Paris*, archiefdossiers nr. L-2-7, L-3-14 en L-4-16.