

In het voetspoor van Camerman: de opmars van de Franse steen in België

Roland Dreesen¹, Veerle Cnudde², Michiel Duser^{3,4}, Marleen De Ceukelaire³, Dominique Bossiroy⁵, Eric Groessens³, Jan Elsen⁶, Tim De Kock² & Jan Dewancke²

¹ Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek

² Universiteit Gent, Vakgroep Geologie en Bodemkunde

³ Koninklijk Belgisch Instituut voor Natuurwetenschappen, Belgische Geologische Dienst

⁴ Provinciale Hogeschool Limburg, Departement Architectuur en Beeldende Kunsten

⁵ Institut Scientifique de Service Public, Liège

⁶ Katholieke Universiteit Leuven, Afdeling Geologie

1 Inleiding

Sinds in onze contreien in steen werd gebouwd, dus tijdens de Romeinse periode, behoorden de bleke kalkstenen uit het Franse Maasbekken tot het gebruikelijke steenaanbod. De hol-oölitische Savonnières en bioklastische Reffroy, of eerder nog grofkorrelige kalkstenen die in de omgeving van Verdun aan de dag treden, werden op grond van hun eigenschappen aangewend voor monumentaal sculptuurwerk zoals sarcofagen en beelden of in kleurpolychromie gecombineerd met donkere vuursteen en zandsteen. Tijdens de Merovingische periode kwam hierbij nog de hol-oölitische Jaumont kalksteen uit de omgeving van Metz die omwille van zijn mosterdgele kleur niet in het plaatje van de Franse witstenen paste. De Maas was duidelijk een verkeersader die deze Franse steen naar de Lage Landen bracht, net zoals de Schelde deze functie vervulde voor de Doornikse kalksteen. Daarna verdween de Franse steen voor lange tijd uit het beeld. In romaanse bouwwerken domineerden de zware Paleozoïsche kalkstenen en zandstenen; vanaf de gotiek namen de lokale bleke kalkstenen (Ledesteen, Brusseliaanse steen, Lincent tufsteen, Maastrichtersteen) de overhand en bepaalden het straatbeeld van menig Vlaamse en Brabantse stad, meestal in combinatie met baksteen. Wallonië bleef meer trouw aan zijn eigen en zeer diverse steensoorten, die meestal wat somberder van timbre zijn. Witstenen zijn zo kenmerkend geworden

voor het cultureel erfgoed in Vlaanderen en in mindere mate in Nederland, en werken duidelijk identiteitsondersteunend. Het was derhalve niet meer dan logisch dat het jonge België in de eerste helft van de negentiende eeuw, bij gebrek aan beschikbare streekeigen witsteen, een vervangproduct zocht in Frankrijk, dat rijkelijk voorzien is van bleke kalksteen in verschillende kwaliteiten. Deze boden ruimere verwerkingsmogelijkheden en gecombineerd met blauwe hardsteen oververden ze snel de markt. Dit in tegenstelling met Wallonië waar de productie van blauwe hardstenen nog toenam en combinatie met Franse steen achterwege bleef.

Voor al tijdens de Belle Epoque en tot Wereldoorlog I (periode 1860 - 1914) nam de stadsuitbreiding een ongekennde vlucht. Dankzij de industriële revolutie was het land voldoende welvarend om te investeren in natuursteen. Bij de betere gebouwen in neostijl paste wel een Franse witsteen. Om in al deze behoeften te voorzien werd ook het aanbod gediversifieerd. Het is desondanks opmerkelijk dat de voornaamste Franse steensoorten, de Euville en de Savonnières, uit hetzelfde leveringsgebied kwamen waaruit reeds de Romeinen hun kwaliteitssteen voor de Lage Landen betrokken. Wat voor de streekeigen witstenen gold deed zich ook voor met de bleke Franse kalkstenen in de loop van de twintigste eeuw: groeves raakten uitgeput en gebruiken veranderden. In het tijdperk van de globalisering

en monocultuur bleef quasi alleen de Massangis over-eind. De meeste Franse steensoorten behoren intussen tot het erfgoed. Hoewel de kennis van deze stenen in de negentiende eeuw relatief groot was - de architecten waren er op zijn minst goed mee vertrouwd - is deze in de loop van de twintigste eeuw grotendeels verdwenen en voer voor bouwhistorici geworden. Gelukkig is er een bevoorrechte getuigenis in de persoon van Carl Camerman die het overzicht behield over de eigenschappen en de inzet van de diverse steensoorten in het bouwkundig patrimonium. Deze informatie is nu van groot belang omdat de waardering voor de neostijlen duidelijk is toegenomen en het streven naar het behoud van authentieke materialen een adequate materiaalkennis vereist. Geen enkel materiaal heeft het eeuwige leven, zeker niet een poreuze halfharde kalksteen (ongeacht of die van Belgische of Franse origine is) die zwaar te lijden heeft gehad onder de luchtvervuiling, maar in het nieuwe klimaat allicht een betere toekomst tegemoet gaat.

2 Belang van Carl (Charles) Camerman (1885-1958)

Carl Camerman (afbeelding 1) werd geboren te Leuze op 15 november 1885. Hij begon zijn universitaire studies aan de Rijksuniversiteit Gent in 1903 en sloot ze af in 1908 aan de Université libre de Bruxelles (ULB) met de graad van burgerlijk mijningenieur. Hij specialiseerde zich vervolgens in de materiaalkunde in het laboratorium van zijn vader Emile Camerman. Deze was directeur van het Technisch Laboratorium van de Nationale Maatschappij der Belgische Spoorwegen te Mechelen en vermaard in binnen- en buitenland. In 1919 publiceert zoon Carl, onder de naam C. Camerman-Asou, « *Le Gisement Calcaire et l'industrie chaux-fournière du Tournaisis* », een zeer origineel werk. Immers, tot dan toe was het fabricageproces van kalk, clinker en cement goed gedocumenteerd, maar was



Afbeelding 1 Carl Camerman (bron familie-archief).

nog niets bekend over de samenstelling noch de textuur van de Doornikse kalksteen. Alhoewel er reeds verscheidene stratigrafische studies bestonden was de laag-per-laag opmeting, zoals de ontginning die vereist, nooit uitgevoerd. Dit belangrijk werk was in 1921 het onderwerp van een excursie van de Belgische Vereniging voor Geologie. **Daarna zou hij nog een reeks publicaties maken over de stratigrafie van het Dinantiaan van het Doornikse, meestal op basis van boringen.** Ter gelegenheid van het XIII^e Internationaal Geologisch Congres dat in 1922 in België werd gehouden, hebben C. Camerman en F. Halet geologische excursies geleid over de geologie van Belgische bouwstenen, beschreven in een excursiegids (Camerman 1922) en in de verhandelingen van het Congres (Camerman 1926).

In 1920 neemt hij als geoloog een betrekking aan bij Petrofina en wordt uitgezonden naar de Verenigde Staten, het Midden-Oosten, Noord-Afrika en Roemenië. Vervolgens wordt hij directeur benoemd van « *Asphalt Block Pavement Cy* », een functie die hij bekleedt tot aan de Tweede Wereldoorlog. Tijdens dezelfde periode neemt Camerman met de titel van Raadgevend Ingenieur de leiding van het laboratorium van het “*Office de Recherche et d’Expérimentation (O.R.Ex.)*”. Na de oorlog herneemt Camerman zijn functies aan het O.R.Ex. en gelijktijdig wordt hij verbonden aan de ULB waar Professor Baes hem een cursus toevertrouwt over gesteenten, uitbloeiingen en bakstenen. Hij geeft ook les over dezelfde onderwerpen aan de *Ecole Supérieure d’Architecture de la Cambre*. In 1939 maakt hij een publicatie over de scheikundige samenstelling van de Belgische kleien, de voorbode van een reeks publicaties over sulfatatie in metselwerk en baksteen (Camerman 1939). In 1943 leidt hij een natuursteenwandeling in het Justitiepaleis te Brussel als basis voor de praktische identificatie van de aldaar gebruikte Franse stenen. Een Mémoire over de Doornikse steen, zowat het standaardwerk over deze steen, leverde hem de Prijs A. Wetrems op van de Koninklijke Belgische Academie (Camerman 1944).

In 1948 vervoegt Camerman de Belgische Geologische Dienst, waar hij belast wordt met een reeks studies over de verwerking van bouwstenen door rookgasen en studies over de baksteenindustrie. In 1954 traden verzakkingen op tijdens graafwerken voor de nieuwe gebouwen van het Instituut voor de Burgerlijke Bouwkunde en van de studentenwijk van de Brusselse Universiteit te Elsene - Solbosch. Tegelijkertijd treedt er een verzakking op in de Meyerbeerstraat, op de grens tussen Ukkel en Vorst. Deze verzakkingen zijn te wijten aan instortingen van oude ondergrondse steengroeven van de befaamde Ledesteen, die verspreid over de Brusselse agglomeratie voorkwamen. Weinig mensen hadden nog weet van deze oude ontginningen

die teruggaan tot de Middeleeuwen. Camerman’s grondige kennis van de lokale geologie liet hem toe een synthese te maken van de Brusselse ondergrond. Het tijdschrift van de Belgische Federatie van de Nijverheid “Industrie” vermeldt dit exploit met deze woorden:

« L’auteur avait, non seulement retrouvé la passionnante histoire de ces carrières à ciel ouvert ou de ces profondes galeries souterraines dont est sortie toute la pierre blanche des plus beaux monuments bruxellois. Mais de plus, il avait pu en déterminer l’emplacement avec précision, en dresser la carte, évitant ainsi de graves mécomptes aux entrepreneurs en épargnant des millions à l’industrie de la construction. Ce vieillard intrépide n’hésita pas à descendre suspendu au bout d’un filin jusque dans les galeries antiques qui sinuent la Cité universitaire et où les excursions ne sont pas sans danger”.

Tijdens de maanden voorafgaand aan de opening van de Wereldtentoonstelling van 1958 op de Heizel in Brussel volgt Camerman van nabij de uitgebreide grondwerken en bouwwerken op. Hij overlijdt op 1 november 1958 in zijn landhuis te Biez, een lieflijk dorp in Waals-Brabant waar hij zich gevestigd had na de oorlog.

Het “In Memoriam” voor Carl Camerman werd door Jean de Roubaix uitgesproken tijdens de vergadering van de “Belgische Vereniging voor Geologie” van 16 december 1958. Deze tekst werd gepubliceerd in de Bulletin van deze vereniging en overgenomen in de “Annales der Openbare Werken van België”. Hieraan werd ook de lijst van zijn publicaties toegevoegd. De lesnota’s van zijn cursussen, eerst aan de ULB in het kader van de cursus burgerlijke bouwkunde, vervolgens aan de Hogeschool voor Architectuur in Ter Kameren (La Cambre) waren nooit gepubliceerd. Daarom hebben enkele vrienden na zijn dood het initiatief genomen deze nota’s te verzamelen en te publiceren als een “Mémoi-

re” in de bovengenoemde annalen. Deze postume publicaties, de rapporten die aan de grondslag liggen van deze publicaties en de excursieverslagen die gepubliceerd zijn in de Bulletins van de Belgische Vereniging voor Geologie, zijn nog steeds de voornaamste bron van informatie over het gebruik van Franse steen in België in de periode van de Jonge Bouwkunst. Tot vandaag vormen deze bijzonder betrouwbare werken het eerste naslagwerk dat ter hand wordt genomen. Vandaag gaan we nog steeds ‘Camerman achterna’.

3 Overzicht van Franse steensoorten en alternatieven

Ondanks talrijke thematische studies door Franse specialisten (Noel 1970; Blanc et al 1985, 2002; Blondeau 1970; Perrier 1993, 1997; Fronteau 1998; Fronteau et al 2010; Pomerol 1992. e.a.) bestaat er geen eenvoudig en volledig lithologisch overzicht noch eenvoudige petrografische classificatie van de historische en nog beschikbare commerciële Franse kalksteensoorten. Veelal betreft het regionale studies, studies over historisch gebruik of inventariseringen per sedimentair bekken, geologische periode of geografische streek. Een opsomming (inventaris), summier lithologische beschrijving en winningslocalisatie van Franse steensoorten en van hun gebruik (ook in België) vinden we terug bij Durand-Claye (1890), verder in het hoofdstuk “Renseignements sur les principales exploitations” van de Catalogue Civet, Pommier & Cie (1900) en in het hoofdstuk “Connaissance du matériau pierre” in het boek “Pierre et patrimoine” (Anoniem 2009). Ook bestaan mooi geïllustreerde catalogi met commerciële doeleinden, zoals “Roches de France” van PRO ROC (1998), echter zonder goede petrografische data. Quist (2011) wees terecht op de grote verwarring die momenteel bestaat in de nomenclatuur van de Franse steen. Niet alleen worden er in éénzelfde groeve diverse namen gebruikt voor verschillende kwaliteiten van éénzelfde steensoort. Er

bestaan ook geografische en regionale varianten van éénzelfde steensoort en zelfs specifieke steenbanken krijgen soms een aparte naam. De onderscheiden namen hebben vooral betrekking op verschillen in hardheid (specifieke druksterkte) zoals *extra dure* (zeer hard), *dure* (hard), *ferme* (middelhard) en *tendre* (zacht). Soms worden ook namen gecreëerd op basis van andere kenmerken: *liais* (korrelij), *fine* (fijnkorrelij), *construction* (geschikt voor de bouw) en *marbrier* (fijn bewerkbaar met marmerglans).

Camerman was zich terdege bewust van de relatie die er bestond tussen de verweringsgevoeligheid en de intrinsieke karakteristieken van de steen (mineralogische samenstelling, graad en aard van cementatie, porositeit, microstructuur). Zo speelt porositeit een belangrijke rol bij onder andere vorstgevoeligheid: er bestaat immers een rechtsreeks verband tussen poriegrootte en -verbinding, waterverzadiging en vorstgevoeligheid. Via microscopische weg (petrografie) bijvoorbeeld kunnen de intrinsieke kenmerken van een steen en de hieruit afgeleide potentiële verweringsgevoeligheid, vrij goed bepaald worden.

In België wordt in het kader van de certificatie van natuursteenproducten, sinds 2005 een classificatiesysteem gebruikt (Technisch Voorschrift PTV 844), gebaseerd op petrografisch onderzoek volgens de normen NBN EN 12407, 12440 en 12670. De meest gebruikte en internationaal erkende petrografische classificatiesystemen voor kalksteen zijn deze van Folk (1959) en van Dunham (1962). Een eerste gedetailleerde petrografische beschrijving van een aantal Franse steensoorten in België werd ten behoeve van de Waalse restauratiesector uitgevoerd (Dingelstadt & Dreesen 1996). Een selectie van Franse steensoorten (Euville, Massangis en Savonnières) die regelmatig voor de restauratie van Vlaamse witstenen werden en nog steeds worden gebruikt, zijn uitvoerig microscopisch beschreven in Duser et al. (2009).

Camerman (s.d.) gebruikte een pragmatische bena-

dering bij de classificatie van kalksteensoorten, ondersteund door beperkt petrografisch onderzoek. Zo onderscheidde hij: crinoïdenkalksteen, oölitische kalksteen (met volle en/of holle oöiden), grofkorrelige kalksteen en zandige kalksteen. In het volgende beknopte overzicht van enkele van de meest voorkomende in België gebruikte Franse steensoorten (pierres “blanches” françaises) en verwanten, gebruiken we een analoge pragmatische classificatie met een aantal extra onderverdelingen, hoofdzakelijk gebaseerd op de dominante carbonaatcomponenten (allochems). Kalkstenen zijn voornamelijk uit calcium- en calciummagnesiumcarbonaat opgebouwd (calciet en ondergeschikt dolomiet), maar kunnen mineralogisch ook “onzuiverheden” bevatten zoals kwartskorrels, glauconiet en opake mineralen (onder andere pyriet, goethiet). Bij sterke contaminatie door zandkorrels (hoofdzakelijk kwarts) spreekt men van zandige kalksteen. Bij belangrijke dolomietgehalten spreekt men van gedolomiti-seerde kalksteen.

In de volgende paragrafen wordt de petrografische samenstelling van de Franse kalksteensoorten uiteengezet. Tabel 1 geeft een overzicht volgens deze petrografische samenstelling van de meest gebruikte Franse kalksteensoorten in België en Nederland.

3.1 Crinoïdenkalksteen

Crinoïdenkalksteen (calcaire crinoïdique; calcaire à entroques; entroquite - afbeeldingen 2-8) bestaat voornamelijk uit een min of meer dichte stapeling van minuscule cilindrische stengelleden van crinoïden of zeelelies. Karakteristiek is het heldere calcietcement dat zich preferentieel rond deze stengelleden afzet: de intensiteit hiervan bepaalt de uiteindelijke porositeit. De steen bevat frequent grote stekels van zeeëgels (*Cidaris*), sommige niveaus bevatten ook schelpengruis en koralen. De perfecte rhomboëdrische splijting van de calcietkristallen is met de loep goed zichtbaar. De witte tot lichtbeige Euville (Entroquite de Meuse) en Sen-

Tabel 1 Schematisch overzicht volgens petrografische samenstelling van de meest gebruikte Franse kalksteensoorten in België en Nederland.

Petrografische groep	Steensoort
Crinoïdenkalksteen	Euville, Senonville, Lérouville, Pouillenay
Oölitische kalksteen	Chauvigny, Ravières, Morley, Anstrude, Larrys, Tercé, Savonnières, Brauvilliers
Bioklastische kalksteen	Massangis (Vaurion), Reffroy, Saint-Joire, Caen, Hauteville
Oncolitische kalksteen	Comblanchien, Rocherons
Foraminiferenkalksteen	Saint-Maximin, Saint-Vaast, Saint-Leu
Microbiële kalksteen	Château-Landon (Souppes)
Krijtachtige kalksteen	Avesnes (Hordain), Lézennes, Crazannes



Afbeelding 2 Combinatie van Euvillesteen (boven) en Pouillenaysteen (onder) in een twintigste-eeuws pand in Hasselt.



Afbeelding 3 Macroscopisch detail van meteorisch verweerde Euvillesteen: kristalvlakken van calciet zijn duidelijk herkenbaar in de stengelleden. Afbrokkeling door vorstschade.



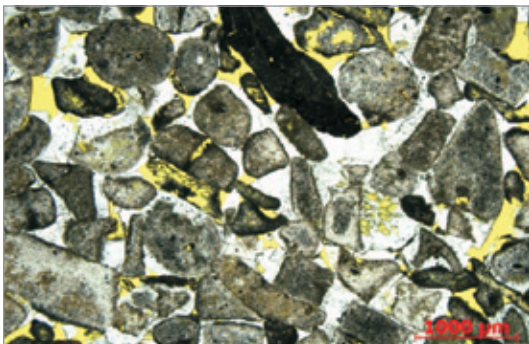
Afbeelding 4 Macroscopisch detail van de Pouillenaysteen, met differentieel verweerd oppervlak waarbij de crinoïden goed afsteken tegen een oranjebruine achtergrond van gedolomitiseerde kalksteen.



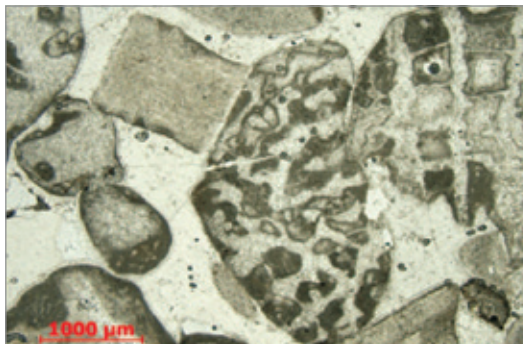
Afbeelding 5 Euvillesteen onder de loep: wit calcietcement omhult de ovale doorsneden van de crinoïdenstengelleden.



Afbeelding 6 Senonvillesteen onder de loep: behalve crinoïden herkennen we ook ander grote bioklasten zoals kalksponzen en koraaltjes.



Afbeelding 7 Euvillesteen: microscopisch beeld van een slijpplaatje. Crinoïdenrijke grainstone met wit calcietcement rond de crinoïdenstengelleden. Gebruik van geel hars accentueert de intergranulaire porositeit (doorvallend gepolariseerd licht).

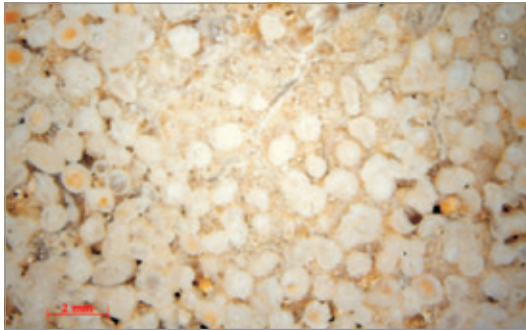


Afbeelding 8 Senonvillesteen: microscopische opname van een slijpplaatje. Naast crinoïden zijn vooral grote gerolde fragmenten van kalksponzen (met karakteristieke labyrintstructuur) goed herkenbaar (doorvallend gepolariseerd licht).

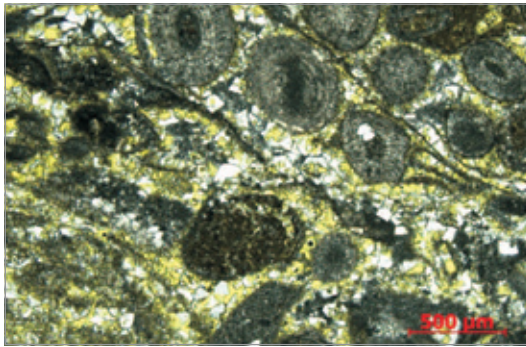
onville zijn quasi identieke geografische varianten. Senonville is minder poreus. De licht rozige Lérouville bevat naast crinoïden ook gerolde fragmenten van kalksponzen. Pouillenay is een beige tot roze crinoïdenkalksteen die oranjebruin verweert als gevolg van de aanwezigheid van ijzerhoudend carbonaat. Hij wordt ook gekenmerkt door vrij talrijke stylolieten.

3.2 Oölitische kalksteen

Oölitische kalksteen (afbeeldingen 9-16) is opgebouwd uit min of meer dicht gestapelde kalkbolletjes (oöiden) met afmetingen kleiner dan 1 mm. Deze oöiden komen in talrijke vormen en bouwstructuren voor die men al-

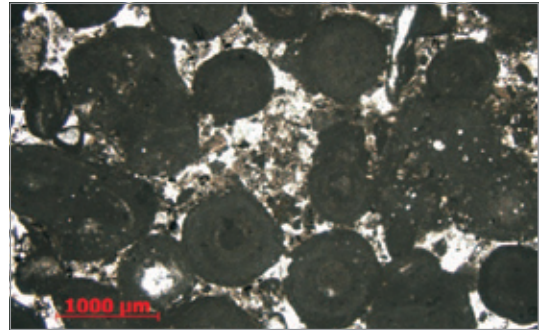


Afbeelding 9 Chauvignysteen onder de loep: witte structuurloze kalkbolletjes (oöiden) met enkele geoxideerde (bruinoranje) kernen en enkel zeldzame langwerpige schelpfragmenten.



Afbeelding 11 Microscopische opname van een slijpplaatje van Morley steen: gedolomitiseerde oölitische grainstone, met volle oöiden die deels gemicritiseerd zijn, naast dunschalige schelpen van tweeleppigen. Geel hars wijst naar belangrijke intergranulaire porositeit (doorvallend gepolariseerd licht).

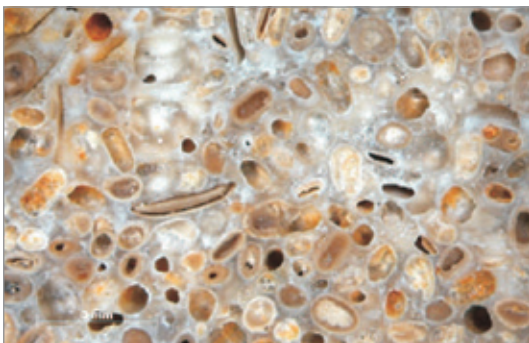
leen microscopisch goed kan onderscheiden. Zo zijn er mooi concentrisch opgebouwde oöiden bestaande uit één of meerdere calcietlaagjes, micritische oöiden zonder duidelijke concentrische opbouw en bestaande uit zeer fijnkorrelig calciet (micriet), pseudo-oöiden en cortoiden of sterk afgeronde en afgeplatte al dan niet gemicritiseerde fragmenten van fossielen. Ook de kern van de oöiden kan verschillen: dit kan een zandkorrel, een klein fossiel fragment of een cluster van verschillende kleine oöiden (composietoöide of grapestone) zijn. Behalve oöiden (dominant) kunnen deze kalkstenen ook nog andere componenten bevatten zoals structuurloze minuscule kalkbolletjes (pellets of peloiden),



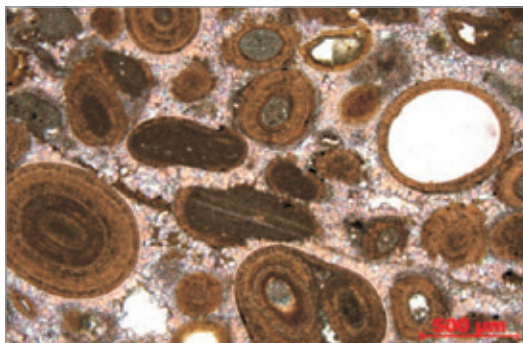
Afbeelding 10 Chauvignysteen microscopisch: oölitische grainstone rijk aan donkere micritrijke oöiden, composietoöiden en intraklasten (doorvallend gepolariseerd licht).



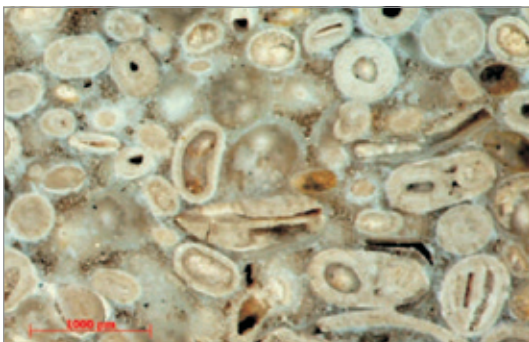
Afbeelding 12 Macroscopische opname van een vers breukvlak in Savonnièressteen: dichte stapeling van kalkbolletjes en schelpen in wisselende verhoudingen en intensiteiten van cementatie.



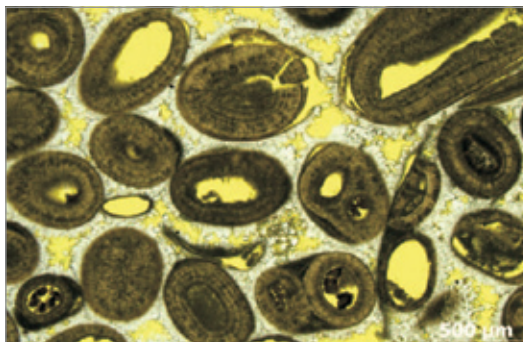
Afbeelding 13 Gezaagd oppervlak van Savonnièressteen onder de loep: volle en holle oïden naast langwerpige schelpfragmenten.



Afbeelding 14 Microscopisch beeld van een slijpplaatje van Savonnièressteen, met selectieve carbonaatkleuring: mooie concentrisch-radiaalstralig opgebouwde volle en holle oïden, composietoïden en gecorrodeerde oïden in een cement bestaande uit ijzervrij calciumcarbonaat ("dog tooth" calcietskristallen) (doorvallend gepolariseerd licht).



Afbeelding 15 Gezaagd oppervlak van Brauvillierssteen onder de loep: vrij dichte stapeling van oïden, composietoïden en (holle)schelpfragmenten.



Afbeelding 16 Microscopisch beeld van een slijpplaatje in Brauvillierssteen: gele hars accentueert de inter- en intra-granulaire porositeit. Oïden zijn gedeeltelijk gecompacteerd en gearsten door compactie. Let op het heldere calciete-cement (dog tooth kristallen).

fragmenten van fossielen (bioklasten: schelpen, slakjes, foraminiferen, echinodermen, e.d.) of afgeronde fragmenten van kalksteen (intraklasten). Een bruikbaar criterium is de aanwezigheid van volle of holle oïden, die men met het blote oog of met de loep goed kan observeren. Deze oölitische kalkstenen bevatten regelmatig laagvormige concentraties van dunschalige schelpen (langwerpige holten of schelpgeesten). Het aandeel schelpengruis schommelt sterk met sommige banken die bijna volledig uit schelpengruis bestaan.

Met het blote oog zijn gekruiste gelaagdheden duidelijk te herkennen. Voorbeelden van oölitische kalkstenen met dichte oïden (calcaire à oolites pleins) zijn Chauvigny, Ravières, Morley, Anstrude, Larys en Tercé. De meest bekende oölitische kalkstenen met holle oïden (calcaires à oolithe creux; oolithe vacuolaire) zijn de roomkleurig tot asgrijze Savonnières en Brauvilliers steen (lokale variant van de eerste).

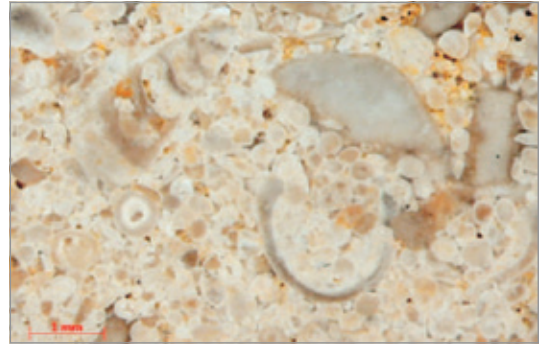
3.3 Bioklastische kalksteen

Bioklastische kalksteen (calcaire à débris d'organismes - afbeeldingen 17-24) wordt dominant opgebouwd door talrijke, vaak gerolde en hierdoor afgeronde fragmenten (klasten) van de diverse skeletdeeltjes ("schelpengruis") zoals schelpen van brachiopoden en tweekleppigen, mosdiertjes (bryozoa), stekelhuidigen (zeeëgels en zeelelies), koralen, slakjes, schelpkreeftjes (ostracoden), ééncellige organismen met kalkschaal (foraminiferen) en ook algen (kalkwieren). Daarnaast bevatten deze bioklastische kalkstenen vaak nog talrijke oïden, intraklasten en peloiden. We kunnen dan ook vaak spreken van *bioklastische-oölitische kalkstenen*. De

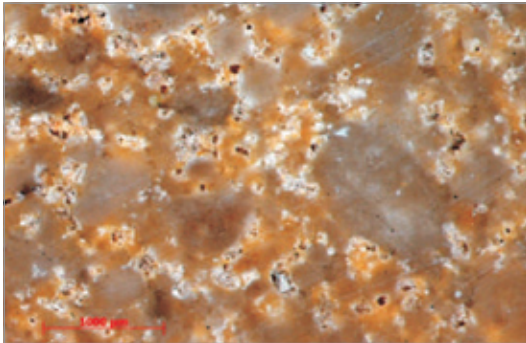


Afbeelding 17 Macroscopisch beeld van een gefrijnd oppervlak in Massangissteen: opvallend zijn de grote witte crinoiden.

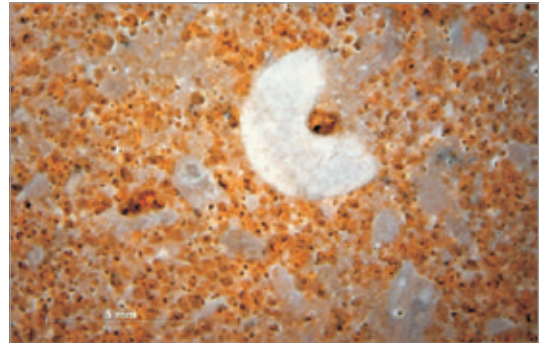
meest bekende bioklastische-oölitische kalksteen is de Massangis (Vaurion). Deze bleek oranje tot lichtbruine steen kan met het blote oog worden herkend aan het voorkomen van verspreide middelmatig tot grote crinoiden in een overigens oölitische-crinoidenrijke kalksteenmassa. Er bestaan verschillende kwaliteiten met als belangrijkste de Roche Claire, de Roche Jaune Claire en de Roche Jaune. Deze laatste zijn dolomietrijke varianten waarbij de oplossing van rhomboëdrische dolomietkristallen aanleiding heeft gegeven tot een belangrijke secundaire macroporositeit. In de bleke Roche Claire variëteit zijn geen grote poriën aanwezig, maar talrijke fijn poreuze micrietrijke bioklasten en



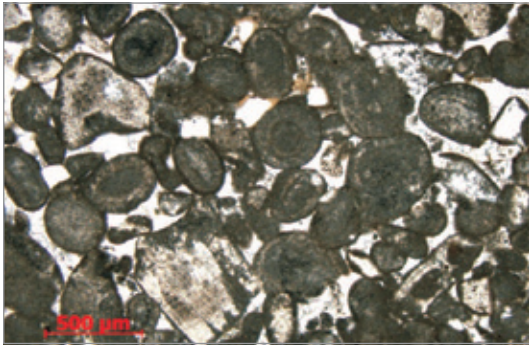
Afbeelding 18 Gepolijst oppervlak van Massangissteen (Roche Claire) onder de loep: bioklastische kalksteen opgebouwd uit een combinatie van oïden en diverse grotere bioklasten waaronder slakjes en tweekleppigen.



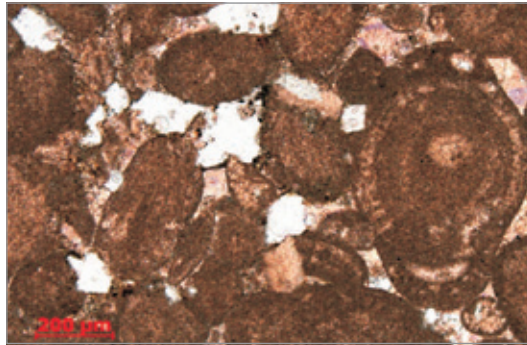
Afbeelding 19 Gezaagd oppervlak van Massangissteen (Roche Jaune) onder de loep: opvallend zijn de witte dolomietvlekjes tussen de grijze, onduidelijk afgetijnde bioklasten.



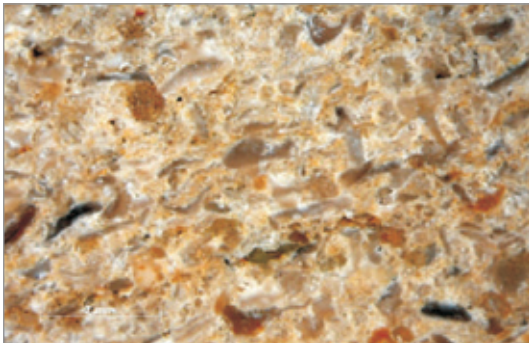
Afbeelding 20 Gezaagd oppervlak van Massangissteen (Roche Jaune) onder de loep: idem als voorgaande foto met grote doorsneden van crinoiden.



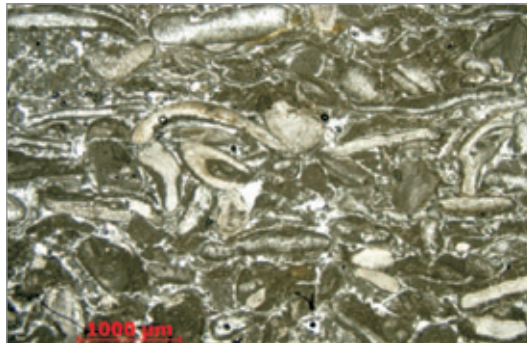
Afbeelding 21 Microscopische opname van Massangissteen (Roche Claire): grainstone bestaande uit een dichte opeenstapeling van gemicritiseerde volle ooiden, micrietrijke pseudo-ooiden en grotere gerolde bioklasten (doorvallend gepolariseerd licht).



Afbeelding 22 Microscopische opname van Massangissteen (Roche Jaune): let op de rhomboëdrische holten ontstaan door de dolomitisatie. De roze kleur wijst naar ijzervrij carbonaat (doorvallend gepolariseerd licht).



Afbeelding 23 Gezaagd oppervlak van St.-Joire steen onder de loep: opeenstapeling van langwerpige slecht determineerbare, deels geoxideerde en hierdoor bruine afgeronde bioklasten.



Afbeelding 24 Microscopische opname van een slijpplaatje van St.-Joire steen: dichte stapeling (packstone) van langwerpige gemicritiseerde bioklasten (cortoiden), intraklasten en pseudo-ooiden (doorvallend gepolariseerd licht).

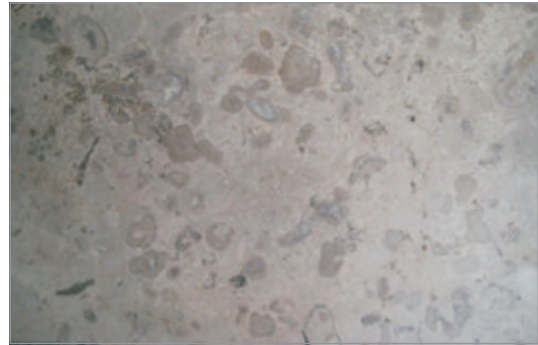
matrix resulterend in een belangrijke microporositeit, waardoor hij ook vorstgevoeliger is dan de Roche Jaune. Petrografisch onderzoek heeft duidelijk aangetoond dat verschillen in de poriënstructuur determinerend zijn voor de vorstgevoeligheid van de Massangissteen (Elsen et al., 2007). De steen van Reffroy en deze van St.-Joire zijn crêmekleurige pseudo-öolitische bioklastische kalksteensoorten die vooral zijn opgebouwd door deels of volledig gemicritiseerde afgeronde bioklasten (pseudo-ooiden en cortoiden) en structuurloze micrietrijke pellets en intraklasten. De

preferentiële oriëntatie van de langwerpige bioklasten en pseudo-ooiden geeft de steen dikwijls een gelaagd aspect. De steen van Caen is een fijnkorrelige lichtgele zandige bioklastische kalksteen, opgebouwd uit fijn fossielgruis waarvan de origine vaak niet zo duidelijk is. Deze steen bestaat uit kleine dunschalige schelpfragmenten naast crinoiden, foraminiferen, gemicritiseerde bioklasten en peloiden. Een verdere onderverdeling van bioklastische of öolitische-bioklastische kalkstenen is mogelijk op basis van de aanwezigheid van opvallende componenten, zoals bijvoorbeeld onco-

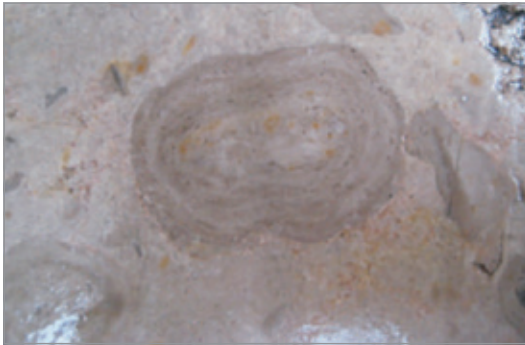
lieten en foraminiferen. Crinoïdenkalksteen is strikt genomen ook een variant van bioklastische kalksteen maar door de overweldigende dominantie van crinoïden, kan hij vrij gemakkelijk als een aparte soort herkend worden.

3.4 Oncolitische kalksteen

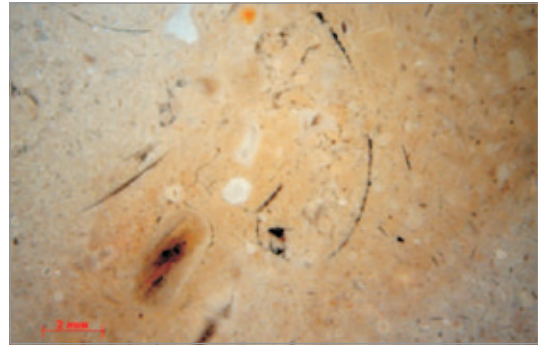
Oncolitische kalksteen (calcaire à oncolithes - afbeeldingen 25 tot 29) bevat opvallende ronde tot ellipsvormige kalkknolletjes (oncoïden) van enkele millimeter tot enkele centimeter groot, die zijn opgebouwd uit opeenvolgende laagjes van calciet (vaak zijn interne



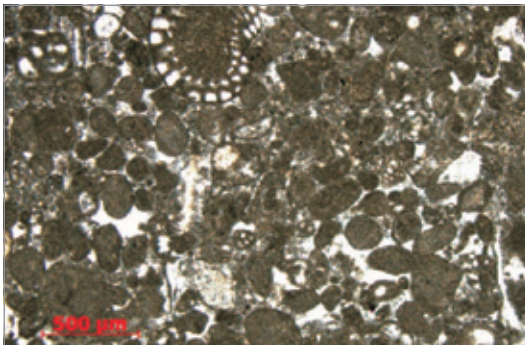
Afbeelding 25 Macroscopische opname van een gepolijste trapsteen in Comblanchien steen: beige-rose fijnkorrelige kalksteen met kleine oncoïden.



Afbeelding 26 Detailopname van Comblanchien steen: concentrisch opgebouwd algair kalksteenknolletje (detail van foto 25).



Afbeelding 27 Gepolijst oppervlak van Comblanchien steen onder de loep: bleke ooiden, bioklasten en oncoïden in een beige-geelbruine kalksteenmatrix. Lokaal bruin geoxideerde pyrietrijke intraklast.



Afbeelding 28 Microscopische opname van een slijpplaatje van Comblanchien steen: vrij dichte stapeling (packstone/grainstone) van micrietrijke ooiden, micrietrijke intraklasten en bioklasten (kleine en grote foraminiferen herkenbaar) (doorvallend gepolariseerd licht).



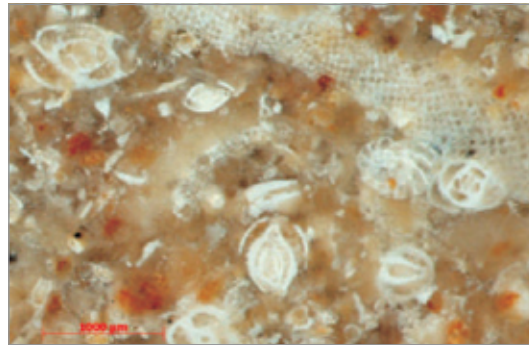
Afbeelding 29 Gepolijst oppervlak van Rocherons onder de loep: stapeling van ooiden, kleine bioklasten en oncoïden, met karakteristieke grillige rode stylolieten.

algare structuren of cyanobacteriën zichtbaar) rond een kern. Net zoals bij de oïden kan deze kern sterk verschillen. Een goed herkenbare oncolitische kalksteen is de rozig beige Comblanchien, met oncoiden die “zweven” in een overigens fijnkorrelige oölitisch-bioklastische kalksteenmatrix. In deze steen, maar vooral in de hierop liggende geologisch jongere variant, de steen van Rocherons, komen opvallende grillige roodgekleurde styliolieten voor.

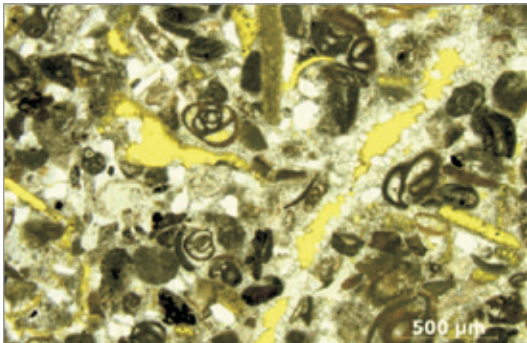
3.5 Foraminiferenkalksteen

Foraminiferenkalksteen (calcaire grossier; calcaire militaire - afbeeldingen 30-32) is herkenbaar aan de overvloed van ééncellige organismen met karakteristieke meerkamerige kalkschaaltjes, foraminiferen genoemd. De vormvariatie bij foraminiferen is enorm, maar tijdens bepaalde geologische perioden en in functie van de toenmalige levensomstandigheden komen heel specifieke vormen voor, zodat deze als gidsfossielen kunnen gebruikt worden, waaronder: Milioliden, Orbitolinen en Nummulieten. Met het blote oog lijken deze foraminiferen op kleine witte rijstkorreltjes terwijl met de loep hun interne opbouw goed herkenbaar is. Bij de vrij grofkorrelige Franse steensoorten uit het Île de France (“calcaire grossier” of “calcaire lutétien”) zijn

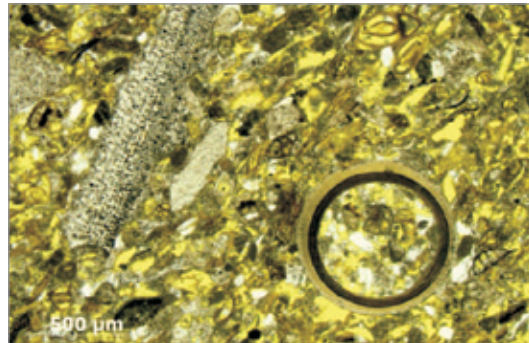
de steenvarianten Saint Maximin, Saint-Vaast en Saint-Leu het meest bekend en gebruikt. Vaak komen hierin ook grotere slakkenhuisjes voor die na oplossing als schroefvormige holten (“schelpgeesten”) zijn achtergebleven: deze variëteit wordt ook “Calcaire à Céritthes” genoemd. De hoger genoemde steensoorten zijn licht tot matig zandig, dat wil zeggen ze bevatten allemaal zandkorrels (hoofdzakelijk kwarts) en verschillen door de onderlinge verhouding van bioklasten (foraminiferen, crinoiden, echiniden, etc.), de macroporositeit (secundaire porositeit door oplossing van bioklasten) en het zandgehalte. Ze gelijken dus sterk op de Lede-



Afbeelding 30 Gepolijst oppervlak van St. Maximin Liais Dur onder de loep. Stapeling van diverse bioklasten met hierin opvallende de aanwezigheid van witte schaaltes van pluriloculaire foraminiferen (Milioliden).



Afbeelding 31 Microscopische opname van een slijpplaatje in St. Maximin Liais Dur: zandige en sterk poreuze bioklastische grainstone met talrijke pluriloculaire foraminiferen (Milioliden) naast andere bioklasten en micritische intraklasten (doorvallend gepolariseerd licht).



Afbeelding 32 Microscopische opname van een slijpplaatje in St. Vaast: licht zandige poreuze bioklastische grainstone rijk aan Milioliden, met opvallende grote fragmenten van echinodermen en kokerwormen (doorvallend gepolariseerd licht).

steen, die ongeveer dezelfde geologische ouderdom en ontstaansgeschiedenis heeft, maar komen wel voor in dikkere banken. Blanc et al. (2002) gebruikten gesofisticeerde technieken zoals spoorelementenanalyse via neutronenactivatie om de verschillende foraminiferenkalksteen-soorten uit de Parijse monumenten, van elkaar te onderscheiden.

3.6 Lacustriene kalksteen

Een aparte kalksteensoort is de lacustriene kalksteen (calcaire lacustre - afbeeldingen 33 en 34) Château-Landon (Pierre de Souppes) waarin geen bioklasten, oïden of oncoïden zichtbaar zijn. Het is een compacte beige tot bruingele kalksteen met onregelmatige holten (lokaal sponsachtig aspect) en witte calcietvlekjes, soms duidelijk geband met interne subhorizontale laagdheden (stromatolieten). Dit is een **microbiële kalksteen** of microbialiet (*'micrite cement boundstone'*) opgebouwd door cyanobacteriën waarvan we alleen de calcietprecipitaties ("clotted" of korrelig micriet en grofvezelig calciet) herkennen. De karakteristieke kleine onregelmatige mm- tot cm-grote glazige of witte calcietvlekjes zijn z.g. fenestrae of venstertjes, oorspronkelijk gasbellen gevormd tijdens de afzetting, vermoedelijk in een lacustriene (zoetwatermeer) omgeving.

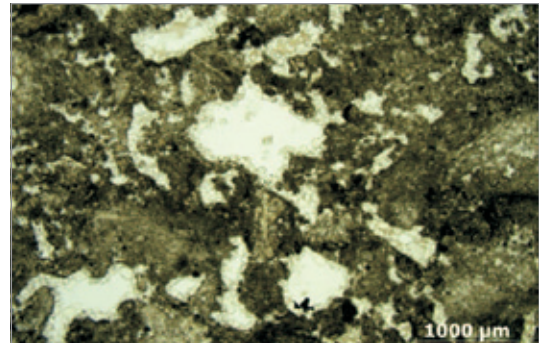


Afbeelding 33 Macroscopische opname van een gezaagd oppervlak (trapsteen) van Château Landon: roos-beige, poreuze (sponsachtige) kalksteen met fijn geband aspect door stromatolietische opbouw.

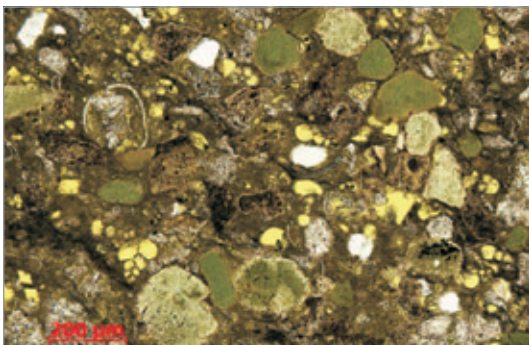
3.7 Krijtachtige kalksteen

De fijnkorreligste en relatief sterk poreuze kalksteensoort is **krijtachtige kalksteen** (afbeeldingen 35 en 36). Deze steen is hygroscopisch en bestaat volledig uit fijn gruis van kleine dunschalige planktonische foraminiferen (onder andere Globigerinen) en nog andere maar veel kleinere poreuze microscopische kalkpartikeltjes behorende tot het kalkig nanoplankton, coccolieten (mariene algen) genoemd. Hun skeletdeeltjes kunnen alleen met behulp van een elektronenmicroscop geobserveerd worden: door hun typische structuur (zeefachtige kalkplaatjes) is het gesteente zeer poreus (infraporositeit veroorzaakt door ontelbare submicroscopisch kleine poriën) en hierdoor ook zeer vorstgevoelig. De meest bekende bouwsteen is de steen van Avesnes (Avesnes-le-Sec, Hordain, Lézennes) of Avendersteen. Macroscopisch kunnen in deze steen lokaal zwak afgetekende beige tot grijze getinte cm-grote graafgangen of bioturbaties herkend worden. Met de loep herkennen we ook nog minuscule zwarte tot donkergroene glauconietkorreltjes, evenals donkerbruine fosfaatrijke kleine intraklasten, waardoor de steen van banaal pleister kan onderscheiden worden (Tolboom et al. 2009).

Ook de steen van Crazannes behoort tot deze categorie. De steen van Crazannes werd uitgebaat in de

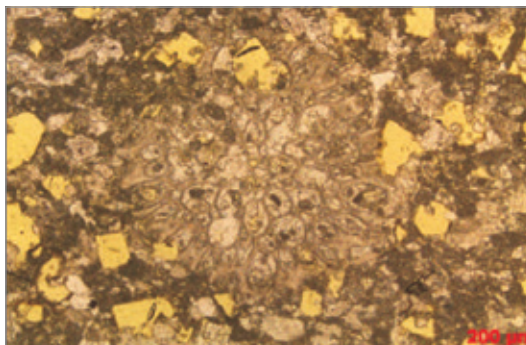


Afbeelding 34 Microscopische opname van Château Landon: microbiële kalksteen (microbial boundstone of micrite cement boundstone) met donkere micrietclusters en talrijke onregelmatige met helder calciet afgeboorde holten of fenestrae (doorvallend gepolariseerd licht).



Afbeelding 35 Microscopische opname van een slijpplaatje in Avendersteen: dicht gepakte zeer fijnkorrelige bioklastische packstone (krijtachtige kalksteen) met talrijke planktonische foraminiferen (let op de intragranulaire porositeit) en groene glauconietkorrels (doorvallend gepolariseerd licht).

streek van de Charentes. Deze zachte kalksteen van Turoniaan ouderdom werd reeds vanaf de Romeinse periode op grote schaal en voornamelijk ondergronds ontgonnen in de buurt van de dorpjes Crazannes en Plassay, gelegen op ongeveer 25 km ten zuidoosten van de overslaghaven Rochefort in het departement Charente Maritime (Camerman 1961; De Clercq 2002). Deze bouwsteen is beter bekend onder de commerciële benamingen “Anthéor” en “Angelès”. Deze benamingen werden gegeven door de firma Fèvre et C^{ie} aan twee verschillende variëteiten, steenbanken in de groeve, met bovenaan de Anthéor en daaronder de Angelès, helemaal onderaan in de groeve werd een 2 meter dikke steenbank uitgebaat die als “Angelès marbrier” op de markt gebracht werd (Camerman, 1931). Ook de benaming ‘steen van Rochefort’ is waarschijnlijk een synoniem voor de steen van Crazannes. Het is een zachte bioklastische kalksteen met een kleur die varieert van een bleek-crème naar een geel-roodachtige tint. De steen van Crazannes is waarschijnlijk veelvuldig gebruikt als vervangsteen voor het Hourdinkrijt (Avendersteen) in nieuwe gebouwen (Theater Gent) en bij de restauratie van Vlaamse monumenten vanaf 1837 tot het begin van de twintigste eeuw (De Clercq 2002). In



Afbeelding 36 Microscopische opname van een slijpplaatje in Crazannes steen: fijnkorrelige bioklastische packstone met ondefinieerbare bioklasten, enkele zeldzame grotere bioklasten (hier bryozoa) en opvallende secundaire porositeit (je herkent de rhomboëdrische omtrekken van dolomietkristallen) (doorvallend gepolariseerd licht).

het boek van Mauclair (1938) bijvoorbeeld wordt het gebruik van deze steen vermeld in Leuven voor de restauratie van de Sint-Pieterskerk door architect Goovaerts en voor de restauratie van de universiteitshallen door architect Van Ysendijck. De steen van Crazannes is opgebouwd uit verschillende bioklasten waaronder: koraal (fragmenten), ostracoden, crinoiden (met syntaxiale overgroeiing), schelpfragmenten (waarschijnlijk bivalven), en foraminiferen. De bioklasten worden omgeven door een matrix van microkristallijn gerekristalliseerd micriet. Het gesteente kan geclassificeerd worden als een bioklastische wackestone. Diagenetische mineralen bestaan uit kleine pyrietkubusjes en dolomiet. Dolomiet is echter niet meer aanwezig maar werd opgelost: de porositeit van het gesteente is dan ook bijna volledig te wijten aan de opgeloste dolomietrhomboëders.

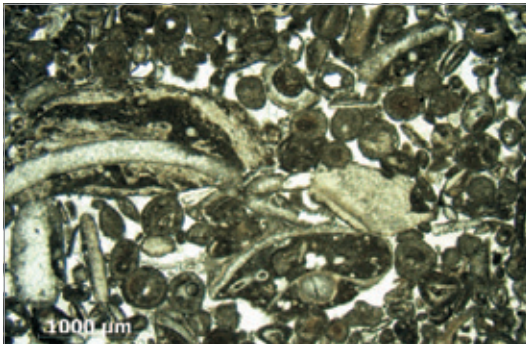
3.8 Alternatieve niet-Franse kalksteensoorten

Een aantal *alternatieve niet-Franse kalksteensoorten* (afbeeldingen 37-40) zijn momenteel commercieel beschikbaar en komen mogelijk in aanmerking ter vervanging of als aanvulling van de eerder genoemde Franse

stenen, bijvoorbeeld de nieuwkomer Spaanse Azul Bateig of de vertrouwde Britse Portlandsteen. De Azul Bateig werd al in Gent gebruikt bij recente restauratiewerken ter vervanging van Ledesteen (Cnudde et al. 2009). Het is een grijs-beige compacte, licht zandige, fijnkorrelige bioklastische kalksteen, voornamelijk opgebouwd uit kleine foraminiferen (waaronder planktonische) en grote fragmenten van echinodermen (zeeëgels). De Portlandsteen is een witte tot crêmekleurige relatief fijnkorrelige oölitische kalksteen die in Vlaanderen en Noord-Frankrijk vooral werd gebruikt voor de grafstenen van gesneuvelde Commonwealth soldaten

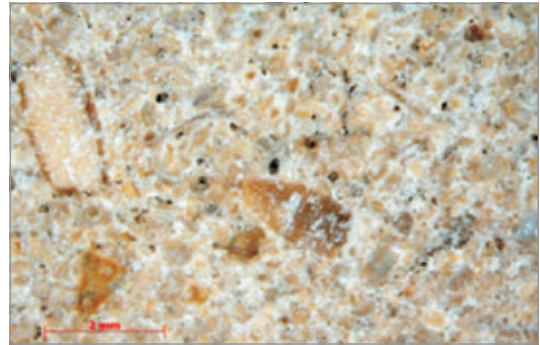


Afbeelding 37 Met groene algen gekoloniseerd verweerd oppervlak (grafsteen) van Portlandsteen: in de grondmassa van kleine kalkbolletjes (ooiden) zijn grotere fossielfragmenten (schelpen) goed herkenbaar.

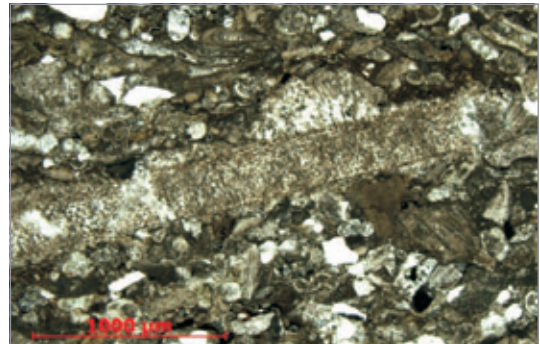


Afbeelding 39 Microscopisch beeld van een slijpplaatje in Portlandsteen: oölitische grainstone met een grote variatie aan kalkbolletjes: ooiden, pseudo-ooiden en sterk gerolde fossielfragmenten (bioklasten) waaronder tweekleppigen (doorvallend gepolariseerd licht).

uit de twee wereldoorlogen. Behalve diverse types van (micrietrijke) ooiden wordt de steen ook opgebouwd uit afgeronde en vaak gemicritiseerde bioklasten (pseudo-ooiden), intraklasten en grote schelpfragmenten (bivalven, oesters), die vaak ook macroscopisch herkenbaar zijn in de steen. Naargelang de uitgebate bank (Whitbed geeft de mooiste witte steen) varieert de verhouding ooiden/bioklasten.



Afbeelding 38 Gezaagd oppervlak van Portlandsteen onder de loep: naast de beige ooiden zijn diverse gerolde bruine fossielfragmenten zichtbaar.



Afbeelding 40 Microscopische opname van een slijpplaatje in Azul Bateig: licht zandige, fijnkorrelige bioklastische packstone, rijk aan planktonische foraminiferen en grote resten van echinodermen (zeeëgels) (doorvallend gepolariseerd licht).

4 Gebruik en geografische spreiding

Frankrijk wordt in de negentiende eeuw de vrijwel exclusieve leverancier van bleke kalksteen ter vervanging van de historische Vlaamse witstenen, een rol die ook in de twintigste eeuw behouden blijft. De Franse stenen komen uit de grote sedimentatiebekkens die dit land kenmerken, het Bekken van Parijs in het noorden en het Aquitaans bekken in het zuidwesten (afbeelding 41). Historisch gezien is de voornaamste bron het Maasbekken ten zuiden van Verdun, op de oostrand van het Bekken van Parijs, op de overgang van Champagne naar Lotharingen. Ook voor de Jonge Bouwkunst bleef dit historisch belangrijke gebied de voornaamste bron van natuursteen, met name door de massale hoeveelheden Euville en Savonnières en hun varianten die zowel naar België als Nederland werden uitgevoerd. Verschillende toepassingen vergden meer variatie, zodat een breed gamma van bleke kalkstenen uit Frankrijk werd ingevoerd. Wellicht zal ook de bevoorradingszekerheid een rol hebben gespeeld.

De in België gebruikte Franse witstenen zijn hoofdzakelijk uit het Jura-tijdperk (Tabel 2). Uit het Krijt is voor de lage landen vooral de steen van Avesnes, Crazannes en Hauteville ingevoerd. Daarnaast zijn er ook een aantal Tertiaire (Paleogene) kalkzandstenen uit het bekken van Parijs belangrijk zoals Saint-Maximin en Château-Landon.

4.1 Herkomst

Noord-Frankrijk

Dit gebied ligt op de overgang van het Bekken van Parijs naar het Noordzeebekken. Het behoort historisch tot de Nederlanden. Een oorspronkelijk Vlaamse steen zoals de Lézennes of Henegouwse steen zoals de Avendersteen zijn in de loop van de geschiedenis Franse stenen geworden. De *Avesnes* steen, ook gekend als de

steen van *Hourdain*, komt uit het noorden van Frankrijk (Nord - Pas-de-Calais) en werd bij restauratie vooral gekozen omwille van zijn historische betekenis en niet omwille van zijn kwaliteit. De Avendersteen is een buitenbeentje: eigenlijk hoorde Avesnes tot de Nederlanden in de gloriejaren van het gebruik van die steen. Hij kan dus bezwaarlijk als een historische Franse bouwsteen worden bestempeld. Tijdens de periode van de Jonge Bouwkunst is hij door de politieke geschiedenis een Franse steen geworden.

Bekken van Parijs

Oostrand Bekken van Parijs - Maasvallei

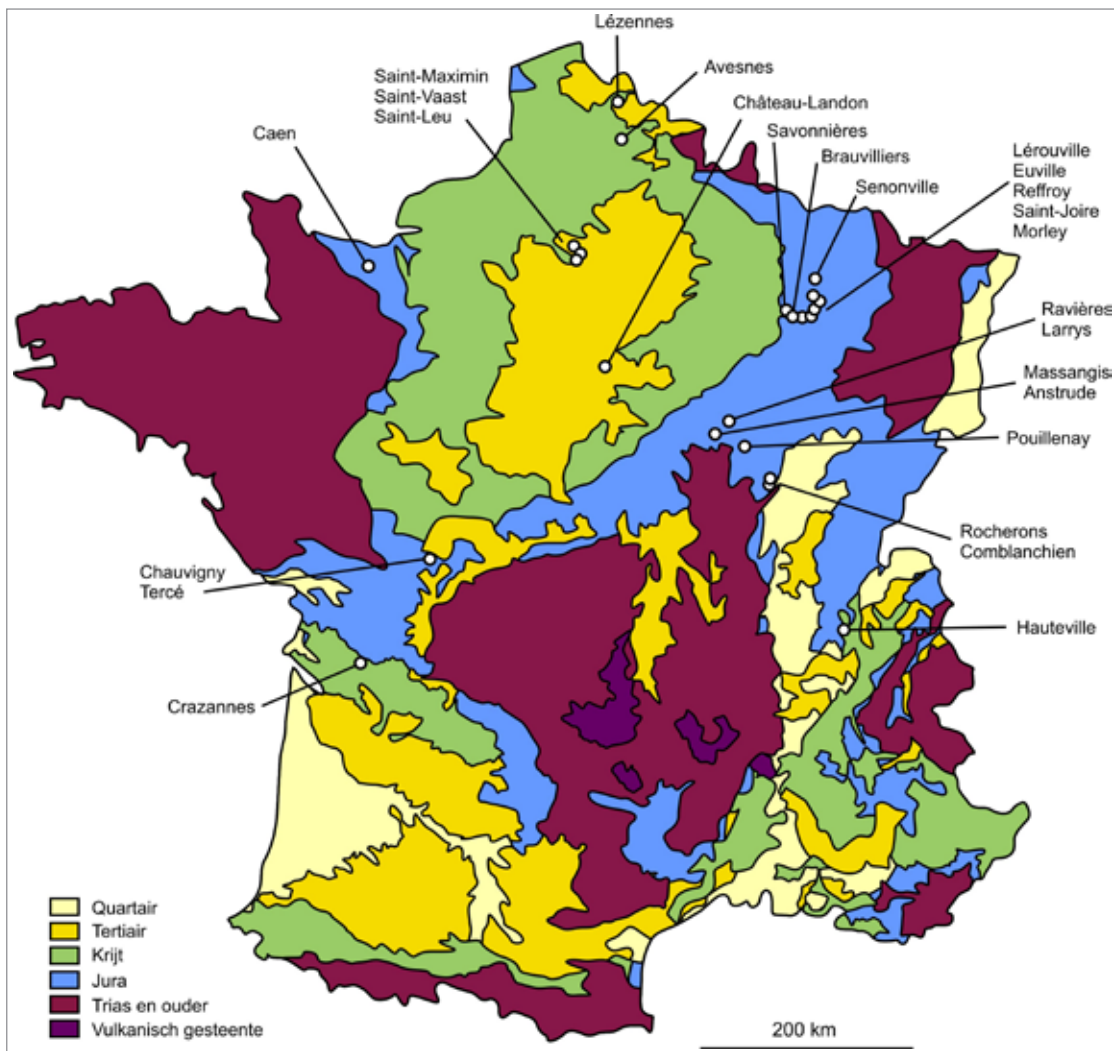
Euville (afbeelding 42) crinoïdenkalksteen en *Savonnières* oöidenkalksteen zijn de meest gekende Franse stenen. De Euville, met gelijkaardige Senonville en Lérouville, worden stratigrafisch in het Midden-Jura gesitueerd, terwijl de Savonnières behoort tot de groep van kalkstenen van het Boven-Jura (tabel 2). Tot deze laatste groep behoort ook de steen van Brauvilliers, Morley, Reffroy en Saint-Joire.

Zuidostrand Bekken van Parijs - Côte d'Or en Yonne-vallei

Ook *Massangis* (afbeelding 43) is geen onbekende bij de vervangstenen van onze witstenen. Deze steen verleent informeel zijn naam zelfs aan de "plaag" (het z.g. "massangitis" van Breda 2005) van veelvuldig gebruik van Franse steen in restauratieprojecten. Samen met de *Ravières*, met variëteit *Larrys* (beiden oölitische kalkstenen) en de *Pouillenay* (een crinoïdenkalksteen) komt deze voor in het departement Yonne in het noordwesten van de Bourgogne. Op de noordrand van het departement Cote d'Or vinden we de *Comblanchien*. Comblanchien, Massangis, Ravières en Larrys zijn allen van Bathoniaan (Midden-Jura) ouderdom, terwijl Pouillenay zich situeert in het iets oudere Bajociaan (Midden-Jura).

Tabel 2 Stratigrafische tabel met aanduiding van de beschreven Franse stenen.

Periode	Serie	Etage	Nord	Bekken van Parijs			Rhône	Poitou	Aquitaine	
				Oosten: Meuse	Zuidoost: Yonne & Côte d'Or (Bourgogne)	Nor- mandie	Centrum			
Paleoceen	Oligoceen 34 Ma	Chattiaan								
		Rupeliaan								
	Eoceen 56 Ma	Priaboniaan					Château-Landon			
		Bartoniaan								
		Lutetiaan					Saint-Maximin, Saint-Vaast, Saint-Leu			
	Paleoceen 65 Ma	Ypresiaan								
		Thanetiaan								
		Selandiaan								
	Krijt	Boven 100 Ma	Daniaan							
			Maastrichtiaan							
Campaniaan										
Santoniaan										
Coniaciaan			Lézennes							
Onder 146 Ma		Turoniaan	Avesnes						Crazannes	
		Cenomaniaan								
		Albiaan								
		Aptiaan								
		Barremiaan								
Jura	Boven Malm 161 Ma	Hauteriviaan								
		Valanginiaan					Hauteville			
		Berriasiaan								
	Midden Dogger 176 Ma	Tithoniaan		Savonnières, Brauvilliers, Morley, Reffroy, Saint-Joire						
Kimmeridgiaan										
Oxfordiaan										
Calloviaan										
Bajociaan	Bathoniaan		Euville, Lérouville, Senonville	Comblanchien, Rocherons, Ravières, Larrys, Anstrude	Caen			Chauvigny		
	Bajociaan			Massangis, Pouillenay				Tercé		



Afbeelding 41 Geologische kaart van Frankrijk (vereenvoudigd naar BRGM) met aanduiding van de ontginningsplaatsen.

Centrum Bekken van Parijs

De kalkstenen gewonnen in het centrum van het Bekken van Parijs zijn van beduidend jongere Tertiair (Eoceen) ouderdom. Als voorbeeld nemen we de *Saint-Maximin* en *Château-Landon*. De grofkorrelige

Lutetiaankalksteen van *Saint-Maximin* wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van macrofossielen. Tot deze groep van grofkorrelige kalksteen uit het bekken van Parijs worden ook de *Saint-Vaast* en *Saint-Leu* gerekend. Deze groep van Lutetiaankalkstenen vormt de



Afbeelding 42 Verlaten groeve van Euville - momenteel gebruikt als educatief centrum.

plaatselijke leverancier van bouwstenen voor Parijs (ondergronds ontgonnen en hierdoor verantwoordelijk voor het ontstaan van een enorm ondergronds gangensysteem) en ze zijn ook massaal in Brussel aangewend in de eerste helft van de negentiende eeuw. De kalksteen van Château-Landon (Calcaire de Souppes) is jonger en in het jongste Eoceen gesitueerd. Het is een lacustriene kalksteen die qua uitzicht gelijkenissen vertoont met travertijn en vrijwel uitsluitend werd aangewend als vloersteen op plaatsen met een groot beloop, zoals de Brusselse kerkportalen.

Rhône bekken

Ten zuiden van het Bekken van Parijs, maar nog in de Bourgogne, wordt in het Onder-Krijt, meer bepaald het Valanginien, de *Hauteville* steen ontgonnen.

Détroit du Poitou

Deze streek verbindt het Bekken van Parijs met het Aquitaans Bekken en levert de *Tercé* en *Chauvigny* steen. De *Tercé* steen is van Calloviaan ouderdom, terwijl de *Chauvigny* in het oudere Bathoniaan werd gevormd, beide Midden-Jura.



Afbeelding 43 Groeve Massangis, nog in ontginning.

Bekken van Aquitaine

Dit sedimentaire bekken is het tweede belangrijkste van Frankrijk. Wegens de grotere afstand tot de Nederlanden (en de reeds steenrijke tussenruimte) heeft dit gebied geen grote bijdrage geleverd in natuursteen, tenzij dan via de haven van La Rochelle: de *Crazannes* steen (Boven-Krijt - Turon) is de belangrijkste steen uit het Bekken van Aquitaine die in de Nederlanden is aangewend.

5 Gebruik

Het gebruik van Franse steen wordt in Vlaanderen vooral populair vanaf de negentiende eeuw. Verschillende oorzaken liggen hiervoor aan de basis. Uiteraard speelt de opkomst van de spoorwegen en zodoende ook de vlottere transportmogelijkheden een grote rol (Dusar, Nijland 2011). Architecten uit de Hollandse en vroeg-Belgische periode worden ook sterk beïnvloed door Parijse grootmeesters. Frankrijk speelde in de negentiende en twintigste eeuw een grote rol in de architectuur. Daarnaast eisten de stijlperiodes uit die tijd, afgeleid van het classicisme, grote massieve blokken steen. De middelharde kalksteensoorten uit Frankrijk konden in grote formaten gewonnen worden en waren



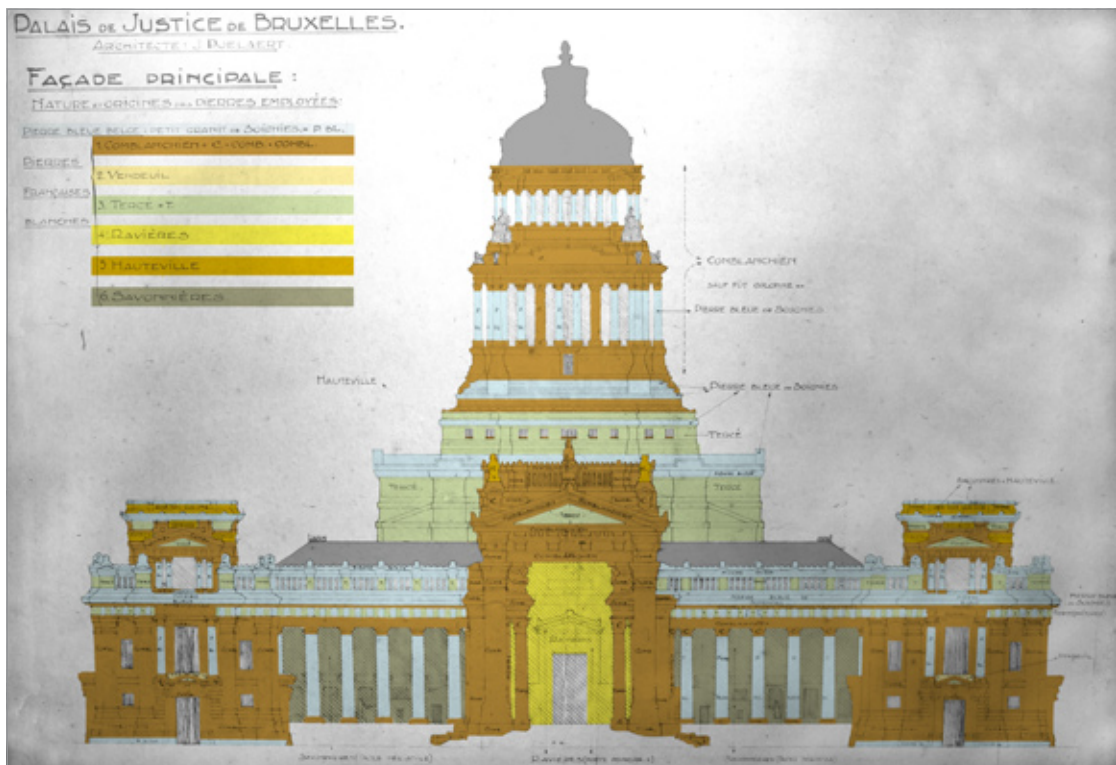
Afbeelding 44 De Beurs is ontworpen in eclectische stijl door architect Suys en uitgevoerd in de periode 1868-1873. Hierbij werden zowel zachte als harde Franse kalksteensoorten gebruikt (Château-Landon, Larrys, Ravières, Saint-Leu, Saint-Maximin en Saint-Vaast, Savonnières) naast Engelse Portland.

dus een uitstekend bouw materiaal voor die tijd. De Belgische alternatieven waren meestal te klein (vb. Gobertange) of te hard (vb. Blauwe Hardsteen).

Rond 1860 kwam hier evenwel reactie op van de Belgische steenproducenten. Diverse pogingen werden ondernomen om bijvoorbeeld de Ledesteen opnieuw productief te maken. De opbrengst was echter te gering, zeker voor nieuwbouw. Belangrijker werd het gebruik van de Gobertangesteent, maar dan enkel in klein formaat. Ook binnen de verschillende Franse steensoorten wordt een zekere evolutie vastgesteld. Ruwweg kan gesteld worden dat de Savonnières steen rond 1850 tot ongeveer 1925 een belangrijke natuursteen was op de Belgische markt. Iets later (rond 1870) werd ook de Euville steen veelvuldig gebruikt. Deze steen houdt over het algemeen niet zo lang stand en verdwijnt rond 1910 als hoofdrolspeler binnen de gebruikte natuursteensoorten. De Massangis steen wordt vanaf

1950 sporadisch gebruikt, maar vanaf 1980 wordt deze steen massaal aangewend als vervangsteen voor de Ledesteen en zijn eerdere restauratiestenen. Ook nu nog wordt deze steen gebruikt zoals recent bijvoorbeeld bij de heraanleg van de Kunstberg te Brussel.

Bij de onafhankelijkheid van België (1830) werd Brussel de hoofdstad waardoor grote infrastructuurwerken en prestigieuze koninklijke projecten werden aangevat en de stad zeer snel groeide. Deze periode van grote bouwwoede valt samen met het intensief gebruik van de Franse steen. Bij de bouw van de koninklijke Onze-Lieve-Vrouwekerk van Laken, een neogotisch prototype met eerste steenlegging in 1854, werd resoluut geopteerd voor Franse steen met aangepaste steensoort voor ieder bouwonderdeel, maar met toch een groot aandeel van Lutetiaankalkstenen uit de omgeving van Parijs. Hiervan getuigt evenzeer de Brusselse Beurs (afbeelding 44).



Afbeelding 45 Justitiepaleis Brussel: overzicht van de gebruikte stenen in de voorgevel (ingekleurd op basis van informatie op de figuur tentoongesteld in het Justitiepaleis).

Toch kan geen enkel ander gebouw in Brussel het kolossale gerechtsgebouw evenaren: dit meesterwerk van de "schieven" architect Poelaert willen we verder als case-study behandelen.

6 Justitiepaleis van Brussel

In 1858-1859 werd de "Galgenberg", een middeleeuwse terechtstellingsplaats, uitgekozen als nieuwe locatie voor de bouw van het justitiepaleis van Brussel. In 1860 werd een wedstrijd uitgeschreven die gewonnen werd door architect Poelaert die vervolgens gelast werd met het ontwerp. Architect Poelaert was op dat moment al vertrouwd met de Franse steen door onder andere de bouw van de Onze-Lieve-Vrouwekerk te Laken. In 1883 werd het gebouw, één van de grootste bouwwerken van Europa, ingehuldigd (afbeelding 45).

De belangrijkste gebruikte Franse steen is de *Comblanchien* (afbeelding 46). Van deze steen werd meer dan 11000 m³ gebruikt. Buiten wordt de steen verwerkt in het grote centrale portaal, met zijn vier korintische zuilen, het fronton en het hoofdstel. Ook verschillende kolommen en zuilen met kapiteel en basis zijn gehouwen uit Comblanchien naast de vier griffioenen aan de hoofdingang (Poelaertplein) gebeiteld door F. Bouré. Binnen herkennen we de steen in de meeste vloertegels. Comblanchien wordt gebruikt voor de hele koepel met uitzondering van de schacht van de zuilen, deze werden vervaardigd uit Blauwe Hardsteen.

De steen van *Tercé* is veelvuldig buiten verwerkt, onder meer de timpanen van de frontons en de geveldelen vanaf de eerste verdieping tot aan de koepel naast de kleine pilasters van de attiek en de griffioe-



Afbeelding 46 Justitiepaleis Brussel: Comblanchien sokkel .



Afbeelding 48 Justitiepaleis Brussel: Ravières in het hoofdportaal.



Afbeelding 47 Justitiepaleis Brussel: Griffioenen in Tercé (gevel kant Wolstraat).

nen van de gevels aan de Wolstraat (afbeelding 47) en de Miniemenstraat. Binnen wordt deze steen aangewend voor poortlijsten waaronder deze naar de galerij en van de “salle des pas-perdus”.

De *Savonnières* werd aangewend voor de gevels in het peristilium rechts en links van het hoofdportaal. Ook de trapwanden bestaan uit deze steen. Binnen werd de steen gebruikt in de rotonde en de ronde galerij van de trap naar de Miniemenstraat en ionische kapitelen en guirlandes op de begane grond.

Ravières komt veelvuldig voor in het centrale portaal (afbeelding 48), meer bepaald in het centrale deel tussen de korintische zuilen. Ook in het gebouw is een belangrijk aandeel geleverd door deze steensoort. Zo herkennen we deze steen onder andere ook in de galerijen in de “salle des pas-perdus”.

Hauteville, *Morley en Larrys* werden beperkt gebruikt. *Hauteville* is aangewend voor de balustrades (afbeelding 49), *Larrys* voor bevoering. Andere steensoorten die ook in het Justiepaleis zijn gebruikt: Pierre d’Ancy-le-Franc; Pierre de Belvoye (Damparis); Pierre de Chamesson; Pierre de Château-Gaillard (Lourdinnes), Pierre de la Planterie, Pierre de la Fontaine du Breuil, Pierre du Val-Rot en Pierre de Villebois. (Durand-Claye 1890, Camerman 1943, Catalogue Civet, Pommier & Cie 1900).



Afbeelding 49 Justitiepaleis Brussel: Balustrade in Hauteville.

7 Verwerking van Franse steen beschreven door Camerman

7.1 Inleiding

In 1957 schreef Camerman dat een goede steen voornamelijk een duurzame steen is, die zijn rol degelijk vervult in het klimaat waarvoor hij bestemd is. Steensoorten die bijvoorbeeld duurzaam zijn in een Spaans klimaat zijn niet zozeer geschikt voor een toepassing in



Afbeelding 50 Detail van chemische verwerking op de site fontainas, rue César de Paepe, Brussel (Camerman, s.d.).

een Belgisch klimaat. Volgens Camerman laten enkel laboratoriumproeven niet toe het gedrag van een steen blootgesteld aan bepaalde klimatologische omstandigheden te evalueren en kan het gedrag van steensoorten worden beoordeeld aan de hand van voldoende lange natuurlijke veroudering van bestaande constructies. Laboratoriumproeven blijven van nut om op een internationaal genormeerde wijze vast te stellen of een steen geschikt is voor een bepaald gebruik en om na te gaan of een geleverde steen wel degelijk voldoet aan de vooropgestelde materiaaltechnische eisen.

7.2 Verweringsfenomenen

Elke natuursteen heeft vroeg of laat te maken met verwerking, al dan niet met materiaalverlies tot gevolg.



Afbeelding 51 Detail van vervuilde gevel (steen van Larochette), Nationale bank, Brussel (Camerman, s.d.).

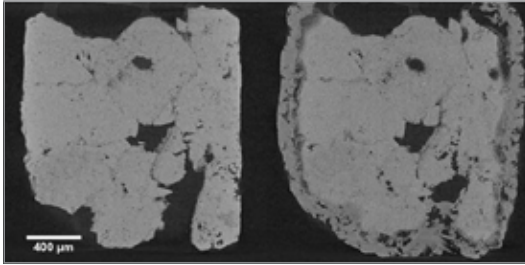
Verwerking is een continu proces waarbij de steen veranderingen ondergaat door de inwerking van zijn omgeving. Afhankelijk van intrinsieke factoren (samenstellende mineralen, cementatie, porositeit, fysische eigenschappen, microstructuur, etc.) en extrinsieke factoren (klimaat, water, organismen, temperatuurschommelingen, atmosfeer, zouten, etc.) kan verwerking uiteindelijk leiden tot het falen van het materiaal als bouwsteen. Oplossings- en afzettingsprocessen komen veelvuldig voor bij natuursteen en in het centrum van Brussel zijn hiervan tal van voorbeelden terug te vinden (afbeeldingen 50 en 51).

Camerman meldde in 1957 reeds dat men geneigd is om de porositeit van een gesteente te beschouwen als een gebrek van de steen en aan te nemen dat, hoe poreuzer de steen is, des te minder weerstand hij zal bieden tegen de vorst en andere weersinvloeden waaronder de actie van neerslagwaters en krimp- en uitzettingsverschijnselen door temperatuurswisselingen. Hij stelt voorts dat dit een volkomen verkeerd begrip is, waartegen met klem moet worden opgekomen. Waar wel rekening mee moet gehouden worden is de poriëngrootte-verdeling, de interconnectiviteit en de structuur van de poriën. Een hoog percentage aan kleine fijne poriën zal voor een kleinere wateropname zorgen, maar zal tevens een vertraagde droogsnelheid hebben, dan een gesteente met een hoog percentage aan grote poriën.

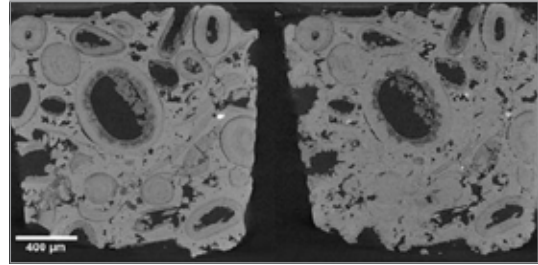
Camerman bestudeerde naast de vorstgevoeligheid en de invloed van zouten, ook verwerking te wijten aan atmosferische vervuiling. Zo meldde hij dat men in Brussel alleen 30.000 ton aan zwavelzuur (H_2SO_4) produceert ten gevolge van de verbranding van 1 miljoen ton steenkool dat aan de basis ligt voor de vorming van gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Verder meldt hij dat gips licht oplosbaar is in water (namelijk 2 g per liter) hetgeen verklaart waarom de gevels van gebouwen blootgesteld aan regen, west en zuid georiënteerde, er meestal

mooi bij staan. Aan de andere zijdes vormt er zich echter een gipskorst die roet en stof accumuleert, waardoor een zwarte verkleuring ontstaat. Bij sommige kalksteensoorten zorgt deze reactie van gipsvorming enkel voor een zwarte verkleuring op de gevel, terwijl bij andere kalksteensoorten, de gipskorst op termijn loskomt van de steen. Zo meldt Camerman dat de Ledesteen, de Gobertange steen, de Euville steen en de steen van Lérouville zeer gevoelig zijn voor deze gipskorstvorming. In grote steden en industriële centra zijn deze natuursteensoorten dan ook zeer sterk verweerd na een periode van 40 tot 50 jaar blootstelling aan de uitlaatgassen. Midden 1950 meldt Camerman dan ook dat de oude gebouwen, opgetrokken uit Ledesteen en intussen gerestaureerd met Gobertange steen en Euville steen opnieuw sterk verweerd zijn. Volgens hem zijn volgende kalksteensoorten echter goed bestand tegen uitlaatgassen: Savonnières, Brauvilliers, Comblanchien, Pouillenay, Massangis, Chauvigny en Portland, wat recent bevestigd werd door laboratoriumstudies met X-stralen tomografie. De Euvillesteen vertoont na verwerking met SO_2 een duidelijke gipskorst (afbeeldingen 52 en 53). Savonnières daarentegen vertoont bij dezelfde test een minder uitgesproken gipskorst. Gips wordt gevormd tussen de concentrische lagen waaruit de oolieten zijn opgebouwd (Fronteau et al. 2010) en doorgaans dieper in de steen. Uit beeldanalyse blijkt dat de porositeit van de Euvillesteen toeneemt na kristallisatie van gips, wat de duurzaamheid benadeligt, terwijl de porositeit van Savonnières juist afneemt (Dewanckele et al. 2010 a,b). De toename in porositeit is te wijten aan een poreuze oplossingszone juist onder de gevormde gipskorst, waarbij fragmenten van de crinoiden gedeeltelijk verweerd zijn.

In dezelfde denkwijze van Camerman (1957) wordt nog steeds onderzoek gedaan naar de relatie van de structuur van het driedimensionele poriënnetwerk in een kalksteen tot de verweringspatronen (Fronteau et al.



Afbeelding 52 Micro X-stralen CT opname van de Euvillesteen voor verwerking (links) en na verwerking met SO₂ (rechts) waar een externe gipskorst duidelijk te onderscheiden is op de crinoidenfragmenten.



Afbeelding 53 Micro X-stralen CT opname van de Savonnières steen voor verwerking (links) en na verwerking met SO₂ (rechts). De structuur van de oölieten is verloren gegaan door de kristallisatie van gips tussen de concentrische laagjes waaruit de oölieten zijn opgebouwd.

2010). Naast de structurele factor speelt ook de mineralogische en dus chemische samenstelling van een gesteente een duidelijke rol in het verweringsproces. Zo blijkt uit een petrografische studie van Dreesen en Nielsen (2009) dat de aanwezigheid van glauconiet, een ijzerrijk groenachtig mineraal dat onder andere aanwezig is in de Ledesteen, een katalyserende invloed zou kunnen hebben op de vorming van gips.

7.3 Relatie sulfatatie en atmosferische vervuiling

Camerman meldde in 1957 dat door de uitstoot van zwaveldioxide (SO₂) er grote hoeveelheden kalksteen in calciumsulfaat (of gips) worden omgezet. Antropogene emissies van SO₂ ontstaan voornamelijk door de verbranding van fossiele brandstoffen, waarbij een gering aandeel wordt veroorzaakt door procesemissies (vb. bij zwavelzuurproductie). Camerman (1957) haalde reeds aan dat stofdeeltjes en roet in de nieuw gevormde gipskorsten ingesloten kunnen worden waardoor donkerkleurige gipskorsten terug te vinden zijn op de kalkrijke bouwmaterialen. Verder meldde hij dat stof- en roetdeeltjes vooral in grote stedelijke en industriële agglomeraties voor een merkbare vervuiling zorgen van de gebouwen, terwijl ze blijkbaar zonder invloed zijn op de landelijke constructies. Behalve SO₂, roet- en stofdeeltjes die Camerman beschreef, weet men mo-

menteel dat tevens stikstofoxiden op hun beurt ook schade kunnen veroorzaken aan materialen en bijdragen tot een versnelde verwerking van gebouwen. Hierbij dient rekening gehouden te worden dat vele verwerkingseffecten het resultaat zijn van inwerkingen van verschillende componenten en het dikwijls moeilijk aan te wijzen is welke de specifieke bijdrage is van elke component. De rol van stikstofoxiden in de verweringsprocessen van natuursteen is in elk geval minder belangrijk dan de rol van SO₂ in de verwerking van kalksteen. Echter, verschillende studies (Bai et al. 2006; Graedel 2000) tonen aan dat bij een laag vochtgehalte NO₂ in combinatie met SO₂ als katalysator optreedt, waardoor SO₂ veel sneller zal oxideren. Eerst gevormd calciumsulfaat zal door de reactie met NO₂ vlugger omgezet worden naar gips.

7.4 Vlaamse en Franse witstenen: éézelfde strijd tegen verval?

In België is er een opvallende samenhang tussen de bouwstijl en het gebruikte bouw materiaal. Zo zal men voor de gotische bouwwerken vaak Ledesteen, Brusseliaanse of Gobertangesteent aantreffen. De Ledesteen en Gobertange steen (afbeelding 54) zijn door hun calcietcement en glauconietgehalte onderhevig aan omzettingen ten gevolge van zwavelrijke, bezoedelde stadslucht. Naast de gekende gipsvorming krijgt de Le-



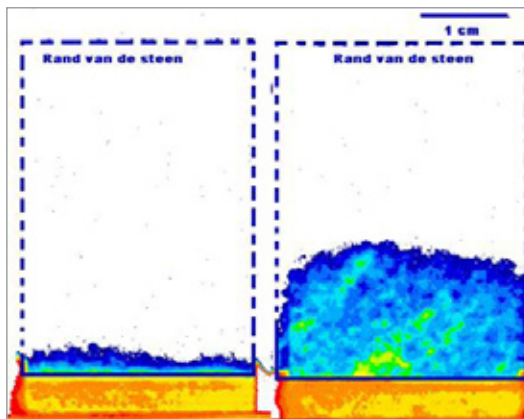
Afbeelding 54 Verweerde Gobertange steen, Sint-Goedelekathedraal, Brussel (Camerman, s.d.).

desteen ook een typerende patina te wijten aan de gevormde ijzer oxi-hydroxiden. Net zoals de Belgische witsteen zijn ook de Franse witte steen gevoelig voor sulfatatie (afbeelding 55). Echter, door verschil in mineralogische samenstelling zullen de Franse witstenen een eerder bleke patina vormen.

In 1957 meldt Camerman dat: "... ook al lijkt het paradoxaal, de lichte oplosbaarheid van de kalkstenen in de neerslagwaters, meer voordelen biedt dan nadelen". Eén van de voordelen, waar Camerman naar verwijst is dat door oplossing van het calciumcarbonaat in bepaalde delen van een gesteente, kristallisatie van calciet optreedt, waardoor lokaal hardere zones dan het originele moedergesteente ontstaan enerzijds en een soort kalkkorst aan het oppervlak van een poreuze en zachte kalksteensoort anderzijds. Camerman wijst erop dat deze kalkkorst een soort zelfbeschermende functie vervult, welke tot gevolg heeft dat deze kalkstenen dikwijls over een verbazende weervastheid beschikken. Deze korst bepaalt in grote mate het watertransport doorheen het gesteente. Om dit watertransport doorheen poreuze materialen te meten bestaan ver-



Afbeelding 55 Verweerde Franse steen van Tercé, Justitiepaleis, Brussel (Camerman, s.d.).



Afbeelding 56 Situatie in de Euvillesteen na 200 s wateropname door capillariteit. Hierbij is enkel het water in de steen gevisualiseerd. De geïnduceerde gipskorst zorgt voor een tragere wateropname in het gesteente (links) in vergelijking met het referentiemateriaal (rechts). De oranje kleur geeft het water onder het gesteente weer.

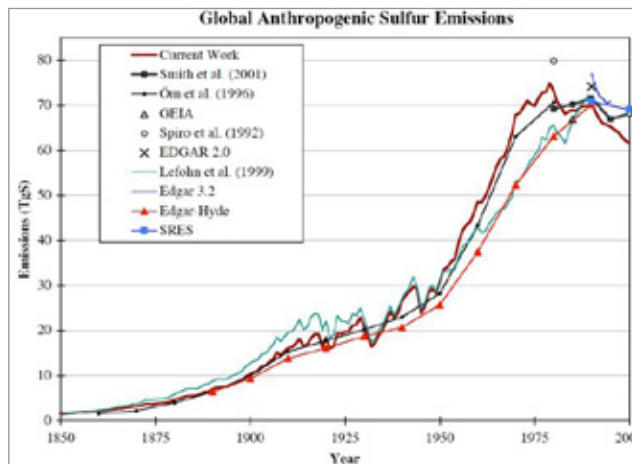
schillende technieken, waaronder capillariteitsmeting, neutronen radiografie, etc. Zo zal neutronen radiografie watertransport door capillariteit doorheen gesteenten registreren. Zoals te zien is op afbeelding 56 zorgt de geïnduceerde gipslaag op de Euvillesteen voor een barrière tegen het opstijgende water. Echter, lokaal verharde zones zoals gipskorsten evolueren waardoor ook hun invloed op het watertransport en de bescherming van de steen zal veranderen. Wat initieel een beschermende zone is, kan juist een extreem zwakke plek vormen na verloop van tijd.

7.5 Een gunstige evolutie in de tijd met betrekking tot de uitstoot van zwaveldioxide

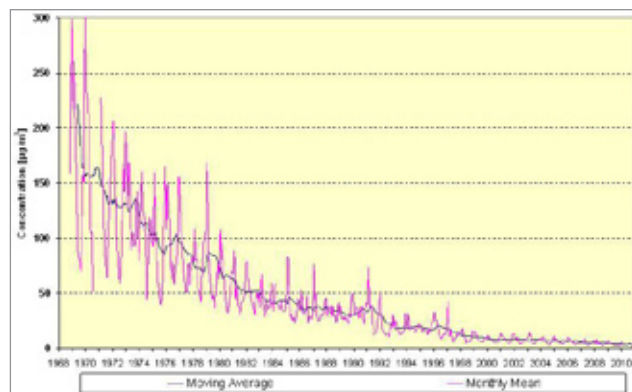
In de studie van Smith et al. (2004) heeft men getracht de reconstructie te maken van de antropogene zwaveldioxide uitstoot vanaf 1850 tot 2000 (afbeelding 57). Hierbij valt op dat deze uitstoot een grote piek vertoonde rond 1980 en algemeen weer begint af te nemen sindsdien. Deze daling is deels te wijten aan de wijzigingen in het gebruik van fossiele brandstoffen, een toenemende zwavelreductie uit de olie en niet-ijzerhoudende metalen en de afname van de op steenkool gebaseerde elektriciteitscentrales (Smith et al. 2004).

Uit de studie van Smith blijkt tevens dat ten tijde van Camerman, men zeker nog niet op een piekmoment zat qua SO_2 uitstoot, integendeel. Uit de gegevens van het Brussels hoofdstedelijk gewest blijkt wel dat de concentratie aan SO_2 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) tussen 1968 en 2010 gevoelig gedaald is (afbeelding 58). Uit deze observaties blijkt dat de gemiddelde actuele concentraties aan SO_2 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 15 tot 20 keer minder zijn dan de concentraties gemeten in het begin van de jaren 1970. Deze observaties stemmen overeen met het globale overzicht van SO_2 uitstoot.

Het dalende verloop tijdens de jaren '70 tot begin van de jaren '80 is een gevolg van diverse factoren:

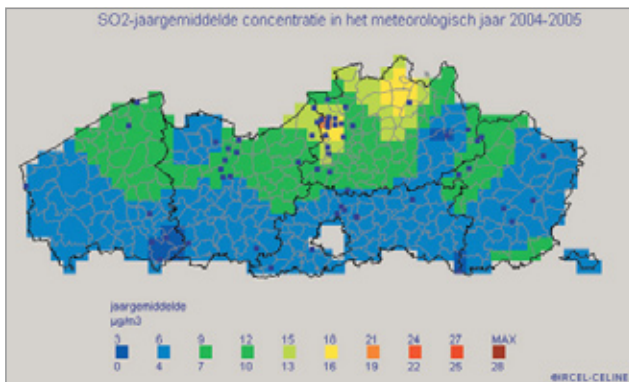


Afbeelding 57 Globale zwaveldioxide uitstoot uit de studie van Smith et al. (2004) samen met enkele recente schattingen.



Afbeelding 58 Evolutie van de gemeten concentratie aan SO_2 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) tussen 1968 en 2010 voor het Brussels hoofdstedelijk gewest (Bron: Bruxelles Environnement, Laboratoire de recherche en environnement (Air)).

een opeenvolging van wettelijke beperkingen i.v.m. het maximum toegelaten S-gehalte in de brandstoffen voor verwarming en energieproductie, een verdringing van vaste en vloeibare brandstoffen door aardgas als energiebron voor huisverwarming en de ingebruikname van nucleaire centrales (BIM-LMO : Rapport Luchtkwaliteit 2006-2008). Het S-gehalte in diesel werd midden de jaren '80 beperkt tot 0,2% (massa/massa) en nadien verlaagd tot 0,05%. Sinds het jaar 2000 mag diesel nog ten hoogste 350 ppm S (0,035%) en benzine nog hoogstens



Afbeelding 59 SO₂-jaargemiddelde concentraties in het jaar 2004-2005 (Bron: IRCELC-CELINE).

150 ppm S bevatten. Wanneer men de ruimtelijke verdeling van de SO₂-vervuiling voor het Brussels Hoofdstedelijk gewest beschouwt, dan blijkt dat in de meer centraal gelegen meetposten, men iets hogere concentraties vaststelt dan in de periferie. Verder zijn de gemiddelde concentraties in lichte mate hoger tijdens de winter dan tijdens de zomer. Zwaveldioxide is echter geen typische pollutant voor het wegverkeer. Gezien de afwezigheid van belangrijke industriële SO₂-bronnen binnen het Brussels Hoofdstedelijk gewest is het procentuele aandeel van het wegverkeer in de totale SO₂-uitstoot echter niet te verwaarlozen (BIM-LMO : Rapport Luchtkwaliteit 2006-2008).

Wanneer SO₂-concentraties gemeten worden blijkt verder dat er hogere concentraties kunnen vastgesteld worden in de stedelijke zones ten opzichte van de meer landelijke zones (afbeelding 59).

8 Conclusies

Bleke Franse natuurstenen werden massaal aangewend in de negentiende eeuwse stadsverfraaiing en -uitbreiding omdat ze aansloten op de historische traditie van de inheemse witstenen in Vlaanderen en Brussel. Veranging van inheems materiaal door import uit Frankrijk werd ingegeven door de vlote beschikbaarheid en de betere verwerkingsmogelijkheden van de Franse kalkstenen. Bovendien waren architecten en bouw-

meesters goed vertrouwd met de Franse situatie. De postume publicaties van Carl Camerman vormen tot op heden nog de voornaamste bron van informatie over het gebruik van Franse steen in België en Nederland in de periode van de Jonge Bouwkunst. Zij zijn onontbeerlijk voor de identificatie van deze natuursteensoorten, die onderling weinig verschillen in ontstaansgeschiedenis en waartussen dus heel wat verwarring mogelijk is. Een gebruiksvriendelijke classificatie van het grote aanbod aan Franse steensoorten die in België en Nederland werden gebruikt, ontbreekt vooralsnog. De Franse literatuur geeft weliswaar een goed overzicht van hun geografische herkomst en geologische origines, maar slechts weinig informatie (zoals vergelijkende onderzoeksresultaten) over hun intrinsieke karakteristieken. Camerman was zich terdege bewust van de relatie die er bestond tussen duurzaamheid en de intrinsieke karakteristieken van de steen. Camerman's pragmatische onderverdeling van de kalkstenen en de evaluatie van hun verweringsgevoeligheid gebeurde op basis van petrografisch en vooral van petrofysisch onderzoek. Hij bestudeerde naast de vorstgevoeligheid en de invloed van zouten op de Franse steensoorten ook hun verwerking te wijten aan atmosferische vervuiling (sulfatatie): hij merkte terecht op dat door de uitstoot van SO₂ grote hoeveelheden kalksteen in gips worden omgezet. Stofdeeltjes en roet kunnen in deze nieuw gevormde gipskorsten ingesloten worden waardoor donkerkleurige gipskorsten terug te vinden zijn op de kalkrijke bouwmaterialen. Camerman merkte op dat deze stof- en roetdeeltjes vooral in grote stedelijke en industriële agglomeraties voor een waarneembare vervuiling van de gebouwen zorgden, terwijl ze blijkbaar zonder invloed zijn op de landelijke constructies. De gevoeligheid voor sulfatatie bracht hij toen al in verband met de porositeit van de steen, een stelling die recent door moderne onderzoeksmethoden (onder andere micro X-stralen CT-tomografie) werd bevestigd. De gevoelige daling van de SO₂-concentraties in onze

stedelijke agglomeraties zorgt voor positieve argumenten voor het behoud van inheemse witstenen (Gober-tangesteent, Ledesteent, Maastrichtersteen) naast de reeds ingeburgerde Franse stenen voor het bewaren van de authenticiteit bij de restauratie van natuurste-nen monumenten in Vlaanderen en Nederland.

Referenties

- ANONIEM, 1976. Essai de nomenclature des carrières françai-ses de roches de construction et de décoration. Le Mau-solée, 254 p.
- ANONIEM, 2009. Pierre et patrimoine. Actes Sud Sciences Hu-maines 216 p.
- BAI, Y., THOMPSON, G.E., MARTINEZ-RAMIREZ, S., 2006. Ef-fects of NO₂ on oxidation mechanisms of atmospheric pol-lutant SO₂ over Baumberger sandstone. Building and Envi-ronment, 41: 486-491.
- BLANC, A., NOËL, P., BOUINEAU, J., ROCARD, C. & JATON, J., 1985. Les pierres employées pour la construction et la res-tauration des monuments du nord-est de la France, leur comportement en œuvre. 5me Congrès International sur l'altération et la conservation de la pierre, Lausanne (Suis-se) : 985-995.
- BLANC, A., HOLMES, L. & HARBOTTLE, G., 2002. "Dosage des Elements en Trace des Calcaires au Service de l'Archéologie". Proceedings, Conference Geologie et Ar-chéologie: la pierre des monuments antiques et médié-vaux, Tautavel, May 1998. J-C Miskovsky and J. Lorenz, eds. UMR5590 du CNRS. Collection Etudes, Presses Uni-versitaires de Perpignan : 55-68.
- BLONDEAU, A., 1970. Le calcaire grossier du Bassin de Paris. Bull. du B.R.G.M. II (4): 7-17.
- BREDA, K., 2005. De « carrière » van de architect. In : LAGROU, D. & DREESEN, R. (eds), Eerste Vlaams-Neder-landse Natuursteendag. Syllabus, 1e bijdrage (5 p), Mol, België.
- CAMERMAN, C., 1919. Le gisement calcaire et l'industrie chaux-fournière du Tournaisis. Revue Universelle des Mines, Liège 6/2: 371-431.
- CAMERMAN, C., 1922. Compte rendu de l'excursion du 14 juil-let 1921, dans le Calcaire carbonifère du Tournaisis. Bulle-tin de la Société belge de Géologie 31: 220-227.
- CAMERMAN, C. & HALET, F., 1922. La géologie des matériaux de construction extraits du sol belge. XIII^e Congrès géolo-gique international, Belgique 1922. Livret guide 60 p.
- CAMERMAN, C. & HALET, F., 1926. Excursion A5. Géologie des matériaux de construction. XIII^e Congrès géologique inter-national, Belgique 1922. Compte rendu excursion A5: 1742-1746.
- CAMERMAN, C., 1939. Données sur la constitution chimique des argiles belges. Bulletin de la Société belge de Géolo-gie 49 : 80-115.

- CAMERMAN, C., 1943. Excursion du 1er mai au Palais de Justice de Bruxelles. Bulletin de la Société belge de Géologie, 52 : 137-142.
- CAMERMAN, C., 1944. La pierre de Tournai. Son gisement, sa structure et ses propriétés, son emploi actuel. Mémoires de la Société belge de Géologie, NS in 4° N° 1 : 5-86.
- CAMERMAN, C., 1949. Compte rendu de l'excursion du jeudi 21 avril, à Bruxelles. Bulletin de la Société belge de Géologie, 58 : 153-156.
- CAMERMAN, C., 1951. Les pierres de taille calcaires. Leur comportement sous l'action des fumées (5ème partie). Annales des Travaux Publics de Belgique, 52 : 1019-1042.
- CAMERMAN, C., 1957. Description et emploi en Belgique et aux Pays-Bas des Pierres Blanches Françaises. Editeur HAYEZ, 92p. (vertaling: CAMERMAN Carl., 1957. Beschrijving en gebruik in België en in Nederland van de Franse witte steen. 100 p).
- CAMERMAN, C. (†), 1961. Les pierres naturelles de construction. Annales des Travaux publics de Belgique, n°4, 52 p.
- CAMERMAN, C. , s. d. L'altération des pierres de tailles par les fumées. Rapport préliminaire. Rapport complémentaire. Service géologique de Belgique. 147 + 120 p.
- CIVET, POMMIER & Cie, 139 rue Lafayette, Paris. Vers 1900. Exploitations de carrières de pierres de taille. xx p.
- CNUDDE, V., DEWANCKELE, J., DE CEUKELAIRE, M., EVERAERT, G., JACOBS, P., LALEMAN, M.C., (eds), 2009. Gent... steengoed. Academia Press, 412 p.
- COPRO, 2005. PTV 844 Classificatie van gesteenten. Brussel, COPRO (Onpartijdige instelling voor de controle van de bouwproducten), Prescriptions techniques/Technische Voorschriften, versie 0.3, augustus 2005.
- DE CLERCQ, L., W., 2002. De gevels van de "Belgische" schouwburgen uit de eerste helft van de negentiende eeuw. De impact van de Ecole Spéciale te Parijs opgeleide architecten op het materiaalgebruik van publieke monumenten in België. In: Bergmans, A.; De Maeyer, J., Denstagen W. & van Leeuwen, W., red. Neostijlen in de negentiende eeuw. Zorg geboden? KADOC Artes 7: 161-179.
- DE ROUBAIX, J. 1959. CAMERMAN Carl. Eloge funèbre prononcé le mardi 16 décembre 1958, à la Société belge de Géologie. Bull. Soc. belge de Géologie, 67 : 521-523.
- DEWANCKELE, J. CNUDDE, V., DE KOCK, T., BOONE, M.A., BOONE, M.N., BRABANT, L., JACOBS, P., 2010a. Porosity and pore structure change in 4D after gypsum crystallization on porous limestones. Book of abstracts, CrysPOM2, 9.
- DEWANCKELE, J., CNUDDE, V., DE KOCK, T., BOONE, M.A., BOONE, M.N., VAN HOOREBEKE, L., JACOBS, P., 2010b. Porosity change after gypsum crust formation on macro-porous limestones. Geophysical Research Abstracts, 12: 8189.
- DINGELSTADT, C. & DREESEN, R., 1996. Atlas pétrographique de principales roches calcaires et calcaires gréseuses utilisées dans les monuments de Wallonie. Tome 2. Travail réalisé pour le compte de la D.G. de l'Aménagement du Territoire et du Logement, Division des Monuments, Sites et Fouilles, ISSeP, Luik, xx p.
- DINKEL, R., 1997. Encyclopédie du Patrimoine. Première édition, Les Encyclopédies du Patrimoine, Paris.
- DREESEN, R., NIELSEN, P., 2009. On the triggering role of glauconite in the sulphate attack of sandy limestones, based on a study of historical building stones in Flanders, Belgium. 12th Euroseminar on microscopy applied on natural building stones, 15th - 18th September 2009, Dortmund, Germany.
- DUNHAM, R. J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In Ham, W. E., Classification of carbonate rocks. American Association of Petroleum Geologists Memoir 1: 108-121.
- DURAND-CLAYE, D., 1890. Répertoire des carrières de pierre de taille exploitées en 1889. Catalogue
- DUSAR, M., NIJLAND, T., 2011. Spoorwegen als 'enabling technology' voor de architectuur. Veranderend natuursteengebruik in 1860-1960 (dit volume)
- DUSAR, M., DREESEN, R. & DE NAEYER, A., 2009. Renovatie en Restauratie. Natuursteen in Vlaanderen, versteend verleden. Wolters Kluwer, Mechelen, 562 p.
- EISEN, J., VAN KRIEKINGEN, H. & SWENNEN, R., 2007. Polarisation fluorescence microscopy as a tool to assess the frost resistance of building stone - the French Massangis stone as a case study. 11th Euroseminar on Microscopy Applied to Building materials, 5-9 June 2007, Porto, Portugal.
- FOBE, B., 1986. Petrografisch onderzoek van de coherente gesteenten van het Eoceen in Laag- en Midden-België. RUG Geologisch Instituut (doctoraatsverhandeling), 215 p. + 138p.

- FOLK, R.L., 1959. Practical petrographic classification of limestones: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 43:: 1-38.
- FRONTEAU, G., 1998. Les calcaires utilisés dans la construction en Champagne-Ardenne (caractéristiques, positions d'utilisations et modes d'altérations), <http://www.ac-reims.fr/datrice/svt/docsacad/craie/calcaireschampagne.htm>
- FRONTEAU, G., MOREAU, C., THOMACHOT-SCHNEIDER, C. & BARBIN, V., 2010. Variability of some Lutetian building stones from the Paris Basin, from characterisation to conservation. *Engineering Geology*, 115, 3-4: 158-166.
- FRONTEAU, G., SCHNEIDER-THOMACHOT, C., CHOPIN, E., BARBIN, V., MOUZE, D., PASCAL, A., 2010. Black-crust growth and interaction with underlying limestone microfacies. In: Prikryl, R. and Török, A., (eds) 2010 Natural Stone Resources for Historical Monuments. Geological Society, London, Special Publication 333: 25-34.
- GRAEDEL, T.E., 2000. Mechanisms for the atmospheric corrosion of carbonate stone. *Journal of the Electrochemical Society*, 147 (3): 1006-1009
- LEFEBVRE, G., 1990. Biographies tournaisiennes des XIXe et XXe siècles. Revue « Industrie » de la Fédération des industries belges, nov. 1958 : 832.
- MAUCLAIR, C., 1938. Pierres et Marbres clairs de France. Fèvre et Cie, Edition 1937-1938. Rue Lincoln, 10, Paris 8me;
- NOËL, P., 1970. Les carrières françaises de pierre de taille. Société de diffusion des Bâtiments et Travaux Publics, 261 p.
- NBN EN 12407, 2000. Beproevingmethoden voor natuursteen. Petrografisch onderzoek.
- NBN EN 12440, 2001. Natuursteen. Benamingscriteria.
- NBN EN 12670, 2002. Natuursteen. Terminologie.
- PERRIER, R., 1993. Les roches ornementales de Bourgogne. Mines et carrières, Les Techniques, 75, La Pierre en France, 72-83.
- PERRIER, R., 1993. Les roches calcaires de France, Mines et Carrières, Les Techniques, 75, La Pierre en France: 54-69
- PERRIER, R., 1997. La "Côte des Pierres" en Bourgogne, Mines et Carrières, 79, 47-55.
- POMEROL, Ch., 1992. Terroirs et Monuments de France. Itinéraires et découvertes. Editions du BRGM, 368 p.
- PRO ROC, 1998. Roches de France. Edition PRO ROC, Ternay, France, 226 p.
- QUIST, W.J, 2011. Vervanging van witte Belgische steen. Materiaalkeuze bij restauratie. Doctoraal proefschrift. T.U.Delft, 326 p.
- SMITH, S.J., CONCEPTION, E., ANDRES, R., LURZ, J., 2004. Historical sulfur dioxide emissions 1850-2000: methods and results. Report Prepared for the U.S. Department of Energy under Contract DE-AC06-76RL01830, 14 p.
- TOLBOOM, H., DUSAR, M., DUBELAAR, W., DREESEN, R., ELSSEN, J., GROESSENS, E. & VAN DER STAR, C., 2009. Avendersteen. Geological Survey of Belgium Professional Paper, 2009/1, n° 305: 47-78.

