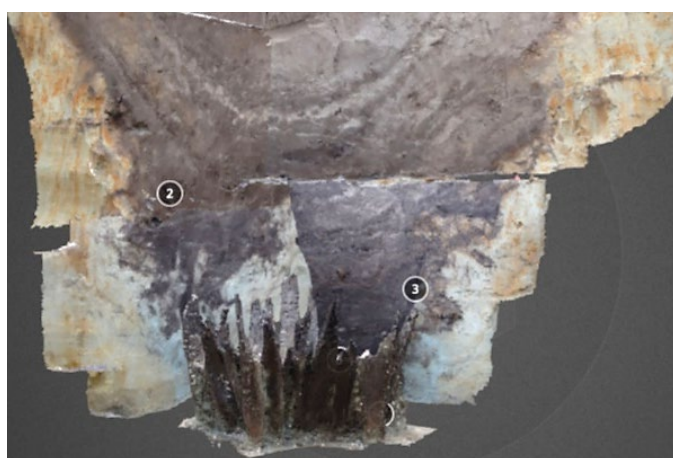


Verslag van dendrochronologische analyse van een waterput, Sint-Niklaas (Witte Molen)

Gemeente: Sint-Niklaas
Instelling of verzameling: Erfpunt
Type van object: Archeologisch hout
Titel van het object: Waterput



© ERFPUNT

Aanvrager: Thierry Van Neste
Regentiestraat 63,
9000 Sint-Niklaas

Contactpersoon: *Idem*
< thierry.vanneste@erfpunt.be >

Dossiernummer KIK: 2022.14955

Betrokken cel(len) van het KIK: Labo dendrochronologie

Verantwoordelijke van de cel(len): Pascale Fraiture

Contactpersoon KIK: Christophe Maggi <christophe.maggi@kikirpa.be>

Datum van het verslag: 25/11/2022

Dit verslag mag enkel in zijn geheel worden verspreid. Geen enkele grafiek of afbeelding mag worden gebruikt zonder toestemming van de auteur. Tenzij anders contractueel vastgelegd behoudt het KIK op exclusieve wijze alle auteursrechten op het gehele verslag zoals voorzien door de wetgeving.

Objectbeschrijving

Gemeente	Sint-Niklaas
Instelling	Erfpunt
Type van object	Archeologisch hout
Titel van het object	Waterput
Datum	1ste of 2de ijzertijd
Materiaal	Hout
Opmerkingen	Dendrochronologische code P826

Historiek van de studie

Aanvraag	06/04/2022
Prijsopgaven	07/04/2022
Bestelbon	23/05/2022
Levering van de monsters	24/05/2022
Dendrochronologische opnames	18/07/2022 – Christophe Maggi
Dendrochronologische datering	19/07/2022 – Christophe Maggi
Radiocarbon datering	29/09/2022 – Mathieu Boudin
Eindverslag	25/11/2022 – Christophe Maggi

Dit document is het technisch verslag van de dendrochronologische studie die werd uitgevoerd op de houten elementen van een waterput opgegraven te Sint-Niklaas. Ze werd uitgevoerd in het kader van een archeologische studie door *Erfpunt*. Dit verslag maakt deel uit van een multidisciplinaire studie en de geboden informatie moet dus worden gecombineerd met de beschrijvingen, schetsen en andere technische verslagen rond dit onderwerp.

1	Protocol van de analyse	4
1.1	Context van de monsternamen	4
1.2	Monstervoorbereiding en opmeting	10
1.3	Softwarematige verwerking van de gegevens	10
1.3.1	Software en dendrochronologisch format	10
1.3.2	Referentieverzamelingen voor datering	11
1.3.3	Dendrochronologische datering	11
1.4	Interpretatie van de dendrochronologische resultaten	12
2	Waterput - Sint-Niklaas	16
2.1	Dendrochronologische studie	16
2.1.1	Voorwerp van de studie	16
2.1.2	Monsternamen	16
2.1.3	Dendrochronologische synchronisatie en datering	17
2.1.4	Interpretatie van resultaten en conclusie	19
2.2	Foto's van de gelichte monsters	20
2.3	Dendrochronologische gegevens, tabellen en grafieken met de resultaten	24
2.3.1	Samenvatting van de datering	24
2.3.2	Grafische voorstellingen van de kwaliteit van de resultaten	24
2.3.3	Berekeningen van het dendrochronologische gemiddelde	25
2.3.4	Natuurlijke waarden van de dendrochronologische reeksen en van het gemiddelde (1/100e mm)	26
	Bijlage 1: resultaat van de 14C-analyse	30
	Bijlage 2: samenstelling van de referentieverzamelingen voor datering	31
	Bibliografie	35

1 Protocol van de analyse

Dendrochronologie is een erkende dateringstechniek voor hout die zich baseert op het groeiritme van de jaarringen om de periode waarin de bemonsterde bomen hebben geleefd te bepalen in de vorm van een kalenderdatum. De hoeveelheid hout die jaarlijks wordt geproduceerd door het merendeel van de bomen is afhankelijk van het klimaat en van andere omgevingsfactoren. De bomen die zijn gegroeid in een bepaald geografisch gebied hebben gelijkaardige groeireeksen oftewel dendrochronologische reeksen. Dat stelt de dendrochronologen in staat om datums toe te schrijven aan de monsters, door deze te synchroniseren met andere reeksen die reeds onderling werden gecorreleerd om referentiechronologieën te vormen¹.

1.1 Context van de monstername

Bij een monstername moet rekening worden gehouden met belemmeringen van diverse aard. De gekozen elementen moeten representatief zijn voor de te bestuderen feiten en de houtsoort moet zich lenen voor dendrochronologie. In het noordwesten van Europa is dat het geval voor eik (*quercus robur* L. of *petraea* L.), beuk (*Fagus sylvatica* L.), grove den (*Pinus sylvestris* L.), gewone spar (*Picea sp.*) en lork (*Larix sp.*); deze houtsoorten zijn over het algemeen gevoelig voor klimaatvariaties. Het klimaatsignaal is daarentegen moeilijker waar te nemen in de groei van populier (*Populus sp.*), berk (*Betula sp.*), hazelaar (*Corylus sp.*), notelaar (*Juglans sp.*) of linde (*Tilia sp.*).

Ten slotte moeten de monsternames van een goede dendrochronologische kwaliteit zijn. Dit hangt in de eerste plaats af van de sterkte van het door de boom opgenomen klimaatsignaal. Dit kan echter niet duidelijk worden waargenomen voor de laboratoriumanalyse; het signaal kan vervaagd of zelfs helemaal uitgevaagd zijn door andere omgevingsfactoren dan diegene die voortvloeien uit het klimaat.

De kwaliteit van de monsternames heeft ook grotendeels te maken met het aantal groeiringen aanwezig op de monsters. Zo is, onafhankelijk van houtsoort, een reeks van een dertigtal jaren over het algemeen statistisch te kort voor een betrouwbare datering omdat meerdere voorstellen van synchronisme kunnen worden bekomen voor verschillende datums. Met reeksen van ongeveer 50 ringen, en idealiter 70 tot 80 ringen, kan een resultaat verschijnen, alhoewel men voor grove den minstens 80 tot 100 ringen nodig heeft voor een zeker resultaat². Over het algemeen geldt: hoe meer ringen, hoe betrouwbaarder de datering³. Bovendien is het een belangrijke troef om te werken met een ensemble van contemporain hout waaruit men een groeigemiddelde kan afleiden, zowel voor de dendrochronologische benadering (versterking van het klimaatsignaal, zie lager – punt 1.3.3) als voor de archeologische (coherentie van de structuur).

Het aantal ringen aanwezig op de te dateren stukken is voornamelijk gebonden aan drie parameters, zonder direct verband met de afmetingen van het monster:

- De leeftijd: een jonge boom heeft slechts een beperkt aantal ringen.
- Het groeiritme: voor hout met een identieke diameter geldt dat men bij een trage groei dunne en dus veel ringen aantreft (Fig. 1b), terwijl een snelle groei wordt gekenmerkt door brede en dus minder ringen (Fig. 1a).
- De verwerking door de ambachtsman:
 - o Niet-gekantrecht rondhout (Fig. 2): het aantal meetbare ringen is maximaal vermits het hout is onttakt en zo wordt gebruikt, met of zonder de schors.
 - o Balken (Fig. 3): het kantrechten van het rondhout leidt tot materiaalverlies (de *dosse*), maar het buitenste gedeelte van het hout kan behouden blijven ter hoogte van de

¹ TYERS I. & PARSONS I., 2010, p. 2.

² Persoonlijke communicatie, C. TYERS, 30/01/2012.

³ FRAITURE P., 2009a.

hoeken, of het nu gaat om '*bois de brin*', '*quartelot*', '*demi-billes*' of *kwartiers* (Fig. 4)⁴. In balken zijn het hart en het cambium⁵ vaak nog aanwezig, tenzij de ambachtsman de scherpe kanten heeft bijgeschaafd. In dat geval kan het verlies van de eerste en laatste ringen moeilijk worden gekwantificeerd.

- Planken: de hoeveelheid ringen hangt af van de oriëntatie en van de wijze van verzaging tot planken.
 - Afhankelijk van de initiële positie van de plank in het rondhout onderscheidt men drie voornaamste kwaliteiten van planken:
Radiale planken (Fig. 5-1) volgen de houtstralen van het hart tot aan het cambium en bevatten dus een maximaal aantal ringen.
Planken in *vals kwartier* staan in een hoek van ca. 45° op de houtstralen (Fig. 5-2); het aantal zichtbare ringen is sterk gereduceerd
Planken *in dosse*, ten slotte, staan tangenteel op de ringen (Fig. 5-3) die dus over het algemeen te beperkt zijn in aantal voor datering.
 - De type van bekomen planken is grotendeels afhankelijk van het type van verzaging. Men onderscheidt twee voornaamste types van verzaging, *in kwartier* en *op bool*. De verzaging in kwartier, die – in theorie – tot aan de moderne tijd de voorkeur genoot, leidt voornamelijk tot radiale planken en enkele in vals kwartier (Fig. 6a). De verzaging op bool (of *sur plot*)⁶ die – in theorie – verschijnt met de mechanische verzaging, geeft enkele radiale planken in het midden van het rondhout, enkele planken in vals kwartier in de tussenpositie en enkele tangentiële (of *in dosse*) aan de uiteinden (Fig. 5 en 6b).

Zoals bij de balken kan materiaalverlies langs de zijde van het hart en/of spinhout⁷ bij de verwerking van de planken het aantal ringen op het monster nog verminderen (zie lager).

Uiteraard hangt de kwaliteit van de monsters ook af van de bewaartoestand van het te analyseren hout. Aantasting van het hout, schade door houtvretende insecten, nagels, barsten... zijn allemaal factoren die enerzijds de kwaliteit van het monster bepalen – en dus ook het aantal opneembare ringen – en anderzijds de aanwezigheid van spinhout of cambium. Daarom zullen aangetaste delen, maar ook groeivervormingen als gevolg van het ontstaan van takken (knopen) bij de monsternamen vermeden worden. Bovendien zal de voorkeur worden gegeven aan monsters met sporen van cambium of spinhout, aangezien de aanwezigheid van een van beide van invloed is op de nauwkeurigheid waarmee de kapdatum wordt bepaald (zie punt 1.4).

Meervoudige bemonstering maakt het dus mogelijk om enerzijds deze beperkingen te verminderen en anderzijds dendrochronologische gemiddelden te vormen waarin verschillende reeksen van houtringen worden gebundeld. Deze gemiddelden zijn over het algemeen langer en gevoeliger dan de individuele sequenties en daardoor gemakkelijker "dateerbaar". In het algemeen zijn er vijf tot tien monsters per fase / structuur nodig, afhankelijk van hun dendrochronologische kwaliteit.

In de meeste gevallen worden bemonsteringen uitgevoerd in de vorm van een boorkern met behulp van een kernboor⁸ die op een elektrische boormachine wordt bevestigd (Fig. 7-8). Het gebeurt

⁴ LE DIGOL Y., 2005.

⁵ In het *cambium* worden de nieuwe houtcellen gevormd, aan de buitenzijde van de stam, net onder de schors (Fig. 2).

⁶ Sommige auteurs spreken van *verzaging in dosse* als een rondhout is gekantrecht en dan verzaagd tot planken op de wijze van een verzaging *sur plot* (Fig. 6). Het gebruik van deze term leidt tot verwarring omdat hij in dit geval zowel slaat op de verzaging als op een deel van het bekomen product, te weten de tangentiële planken die uit het rondhout worden gehaald.

⁷ Het *spinhout* is de buitenste rand van de stam langs dewelke de anorganische sapstroom van de wortels naar de takken vloeit. Ze bevat de meest recent gevormde jaarringen (Fig. 5).

⁸ Met de gebruikte kernboor bekomt men monsters van 23 mm diameter en 11 mm dikte (fabrikaat PRESSLER GmbH), van 16 mm diameter en 8 of 7 mm dikte (fabrikaat KILOWERK-Schneidwerkzeugmechanik) of 6,8 mm dikte.

echter dat een stuk van het te onderzoeken element met een kettingzaag wordt afgezaagd (Fig. 9) of in zijn geheel wordt meegenomen, bij een demontage bijvoorbeeld. Om toegankelijkheids- of bewaringsredenen is het evenwel soms niet mogelijk om een monster te nemen in een stuk van het gebinte of van de afwerking (trap, plankenvloer, raamlijsten). Als de jaarringen zichtbaar zijn aan het uiteinde van het te onderzoeken element (op het kopshout), kunnen ze rechtstreeks op deze dwarsdoorsnede geregistreerd worden via digitale macrofotografieën. Er is ook een oppervlakkige voorbereiding van het hout nodig om mooie zuivere jaarringen te verkrijgen: er kan gebruik gemaakt worden van mesjes van het type *Cutter Stanley*, soepel en erg scherp, of van een vlakschuurmachine om een "meetbaan" te trekken van het merg naar de buitenste rand van de boomstam (Fig. 10). De sequentie jaarringen, met ernaast een millimeterschaal, wordt nadien gefotografeerd in een reeks elkaar overlappende foto's⁹.



Fig. 1. Voorbeelden van de smalle zijden van planken in grove den met verschillende groeiritmen: snel ritme (brede ringen) in Fig. 1a en zeer traag ritme (zeer smalle ringen). Fig. 1b (schaal met verdeling in halve millimeters). © KIK-IRPA, Brussel, werkfoto

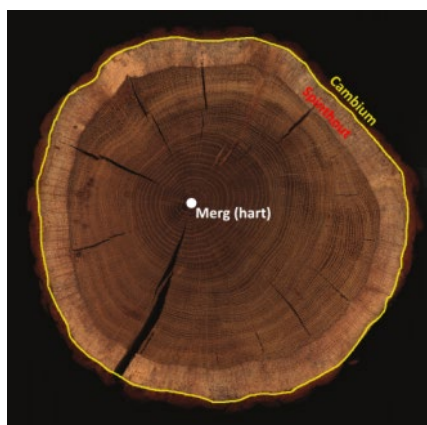


Fig. 2. Dwarsdoorsnede boomstam die is verwerkt tot niet-gekantrecht rondhout. © KIK-IRPA, Brussel, werkfoto

⁹ FRAITURE P., 2007.

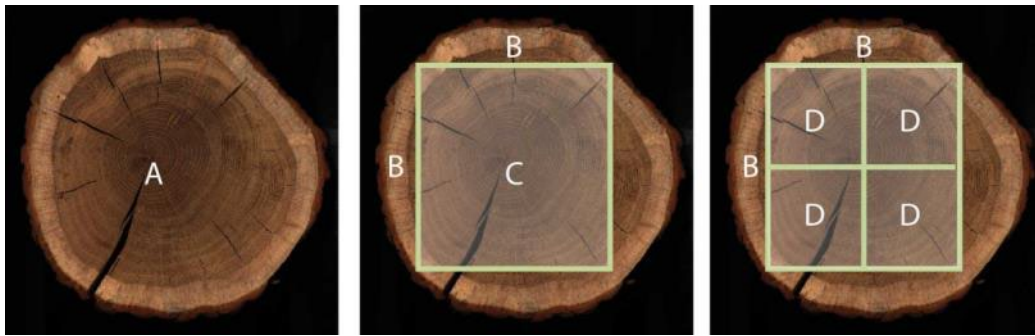


Fig. 3. Het kantrechten van rondhout (A) tot *bois-de-brin* (C) leidt tot het verlies van de dosses (B). Het *bois-de-brin* kan worden verzaagd tot *bois-de-sciage* (D). Naar PEROUSE DE MONTCLOS J.-M., 1972 (2011), *Principes d'analyse scientifique, Architecture : méthode et vocabulaire*, Ministère des affaires culturelles, Inventaire général des monuments et des richesses artistiques de la France, Parijs, Imprimerie nationale, p. 126. © KIK-IRPA, Brussel, werkfoto

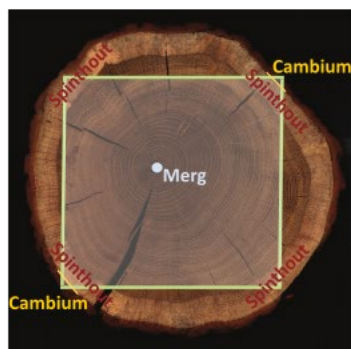


Fig 4a. Gekantrechte stam met vierkante sectie



Fig 4b. Gekantrechte stam met rechthoekige sectie

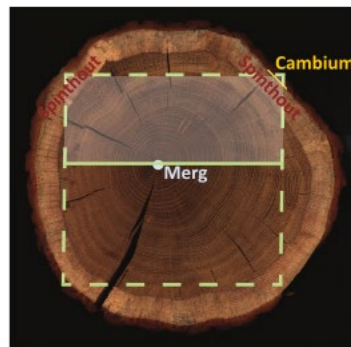


Fig 4c. Twee, drie tot vierzijdig gerechte balk uit halve stam

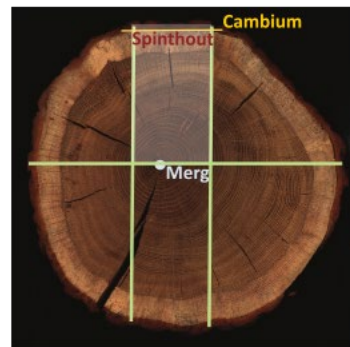


Fig 4d. Twee, drie tot vierzijdig gerechte balk uit derde uit halve stam

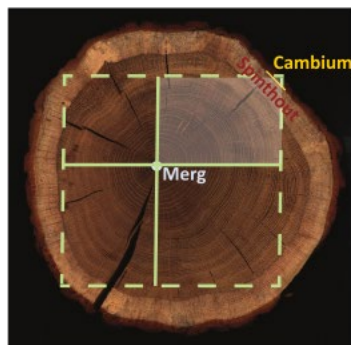


Fig 4e. Drie of vierzijdig gerechte balk uit kwart stam

Fig. 4. Verschillende wijzen van rechtekanten en verzagen van rondhout. Afhankelijk van het type van verwerking zijn het cambium, het spinhout en/of het hart nog aanwezig¹⁰. © KIK-IRPA, Brussel, werkfoto

¹⁰ Naar LE DIGOL Y., 2005.

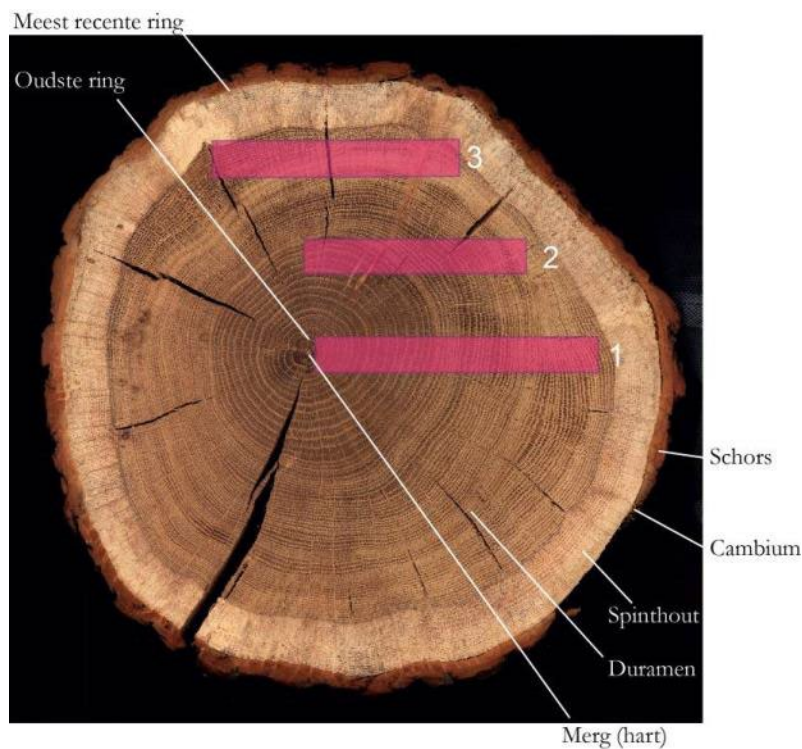


Fig. 5. Schema van de dwarsdoorsnede van een eiken stam:

- de verschillende delen van het hout: merg (hart), kernhout¹¹, spinhout en medullaire stralen (en schors rond de stam);
- de jaarlijkse opeenvolging van groeiringen, waarvan de oudste zich rond het merg bevindt en de meest recente is gevormd aan de buitenzijde van de stam, net onder de schors;
- de verschillende wijzen van verzaging tot planken (in rood): radiaal (1), vals kwartier (2), dosse (3).

© KIK-IRPA, Brussel, werkfoto

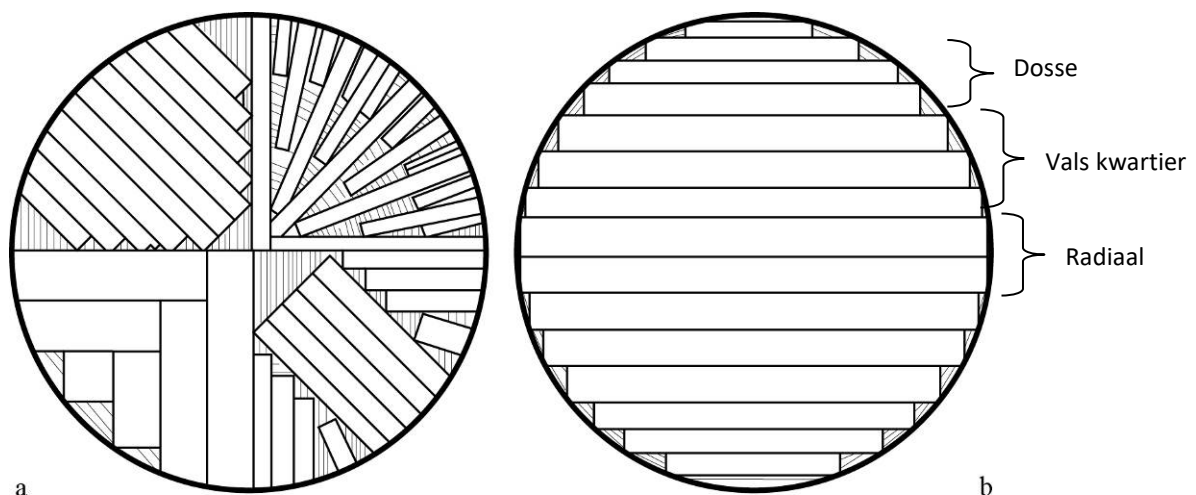


Fig. 6. Verschillende wijzen van verzaging tot planken: kwartiers (Fig. 6a)¹² en op bool (Fig. 6b). © KIK-IRPA, Brussel

¹¹ Het *kernhout* is het biologisch inactieve deel van het hout. Een ring wordt gevormd in het spinhout; na enkele jaren verandert hij in kernhout (Fig. 3).

¹² Vier toepassingen van de Hollandse methode om te verzagen in kwartier, van de duurste (a) tot de meest economische (b), om kwartiersplanken te bekommen. Naar VIOLLET-LE-DUC E., *Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XI^e au XVI^e siècle*, t. 6 : *Menuiserie*, p. 346, art. 88. (beeldbewerking E. Van der Sloot)



Fig. 7. Voorbeeld van bemonstering in de vorm van een boorkern met behulp van een kernboor van 16 mm diameter bevestigd op een elektrische boormachine. © KIK-IRPA, Brussel, werkfoto



Fig. 8. Voorbeeld van bemonstering in de vorm van een boorkern met behulp van een kernboor van 23 mm diameter bevestigd op een elektrische boormachine. © KIK-IRPA, Brussel, werkfoto



Fig. 9. Voorbeeld van verzaging ter plaatse van een stuk van het te dateren houtelement. © KIK-IRPA, Brussel, werkfoto



Fig. 10. Voorbeeld van voorbereiding voor een opname met macrofotografie: 'meetbaan' geprepareerd met behulp van een cuttermesje. © KIK-IRPA, Brussel, werkfoto

1.2 Monstervoorbereiding en opmeting

In het laboratorium wordt op elke monster een 'meetbaan' gemaakt van het merg naar de buitenzijde van de boomstam. Dit gebeurt met behulp van schijven met een steeds fijnere korrel en/of gladgeschaafd met behulp van cutter- of scheermesjes en dient om de ringen beter te kunnen onderscheiden. Als de bewaartoestand van het hout dit vereist, worden de monsters eerst ingevroren om het te analyseren oppervlak van het hout minder bros te maken.

Vervolgens kunnen twee procedés gebruikt worden voor de opmeting:

- ofwel een rechtstreekse opmeting op de monsters, die dan op een "meetketting" worden geplaatst, bestaande uit een stereomicroscoop en een fototoestel dat die verbonden is met specifieke software (tot op een honderdste van een millimeter nauwkeurig)¹³,
- ofwel een onrechtstreekse opmeting volgens hetzelfde procedé als hierboven aangehaald in punt 1.1: de monsters worden gescand of gefotografeerd met ijking, in heel hoge resolutie en de opmetingen worden op het scherm uitgevoerd op basis van de digitale documenten¹⁴.

Hierbij dient te worden opgemerkt dat deze digitale foto's een bijkomende nuttige archivering vormen voor zowel de dendrochronologische analyse, als de beschrijving van de monsters en de illustratie van de verslagen en eventuele publicaties.

Voor de houtsoorten die 'valse jaarringen'¹⁵ of 'ontbrekende jaarringen'¹⁶ vormen, zoals grove den of beuk, wordt aanbevolen om meerdere meetbanen langs de verschillende houtstralen uit te proberen indien het monster dit toelaat¹⁷. Door de verschillende metingen te kruisdateren kunnen deze onregelmatigheden in de groei worden geïdentificeerd en gecorrigeerd.

1.3 Softwarematige verwerking van de gegevens

1.3.1 Software en dendrochronologisch format

In het laboratorium, met uitzondering van de hoger beschreven opmetingen (zie punt 1.2), wordt het hele proces van dendrochronologische datering uitgevoerd met een enkel softwareprogramma, *Dendron IV*, op punt gesteld en regelmatig bijgewerkt door G.-N. Lambert¹⁸. De software faciliteert onder meer de etappes van de transformatie van de natuurlijke waarden van de dendrochronologische reeksen tot talrijke indexen, van de berekening van de synchronisaties tussen monsters (relatieve datering) en op de referentieverzamelingen (absolute datering), van de productie van dateringstabellen en -grafieken – zowel traditionele als onuitgegeven –, en het beheer van de databanken en metagegevens¹⁹. De dendrochronologische gegevens moeten worden ingevoerd in de vorm van een tekstbestand, hetzij in format Besançon 1992²⁰, hetzij in format TSAP 1998²¹ (of 'Heidelberg')²².

¹³ De gebruikte meettafel is een model *LINTAB™ 6* van het bedrijf RINNTECH e.K. De opmetingen van de diktes van de jaarringen worden geregistreerd door de software *TSAP-Win Professional*.

¹⁴ © *Cybis Dendrochronology : CooRecorder8.1* et *CDendro8.1*.

¹⁵ Een 'valse jaarring' is een ring die teveel is, volledig lijkt, waarvan de grenzen duidelijk zichtbaar zijn, en die zich heeft gevormd in dezelfde vegetatieve periode als de 'echte' ring. Valse ringen verschillen morfologisch niet van de echte, en kunnen dus enkel door kruisdatering worden geïdentificeerd. KAENNEL M. & SCHWEINGRUBER F.H., 1995.

¹⁶ Een 'ontbrekende jaarring' is een ring die ontbreekt in een monster (boorkern of houtschijf) of op een deel van het monster (gedeeltelijk ontbrekend) omwille van een mankement in de activiteit van het cambium. De ontbrekende ringen kunnen worden geïdentificeerd door middel van kruisdatering. KAENNEL M. & SCHWEINGRUBER F.H., 1995.

¹⁷ FRAITURE P., CRÉMER S. en WEITZ A., 2014.

¹⁸ LAMBERT G.-N., 2006 (CNRS-Laboratoire de Chrono-Écologie de l'Université de Franche-Comté – UMR 6249) voor versie II van *Dendron*. Versie IV, eveneens door G.-N. Lambert (wetenschappelijk medewerker ULg), is thans onuitgegeven.

¹⁹ Zie LAMBERT G.-N., 2006 voor de verschillende toepassingen.

²⁰ LAMBERT G.-N. & MAURICE B., 1992.

²¹ Frank Rinn®, www.rinntech.com.

²² LAMBERT G.-N., 2006, p. 33.

1.3.2 Referentieverzamelingen voor datering

Een goed ontwikkelde samenwerking tussen Europese laboratoria garandeert een voortdurende uitwisseling van dendrochronologische gegevens. De software *Dendron* verzekert de organisatie van deze databanken waarin de dendrochronologische sequenties gemakkelijk met elkaar vergeleken en verzameld kunnen worden in de vorm van regelmatig verfijnde en bijgewerkte referentieverzamelingen.

Het laboratorium van het KIK beschikt over referentieverzamelingen voor verschillende houtsoorten, hoofdzakelijk voor eik (*Quercus robur* L. of *Q. petraea* Liebl.) maar ook voor beuk (*Fagus sylvatica* L.) en sommige naaldbomen (grove den – *Pinus sylvestris* L. –, gewone spar – *Picea* sp. –, gewone zilverspar – *Abies alba* Mill.). Deze referentieverzamelingen bevatten verschillende gegevenscategorieën. De *referentiechronologieën* en/of *regionale* chronologieën zijn lange dendrochronologische sequenties waarin honderden, zo niet duizenden houtsoorten worden verzameld, die meerdere eeuwen overspannen en waarbij elke sequentie representatief is voor een min of meer uitgestrekte geografische zone. De *sitechronologieën* en/of *lokale chronologieën* bundelen houtsoorten uit dezelfde tijd die afkomstig zijn van een boshabitat, een gebouw of een archeologische site. Tot slot bestaan *individuele reeksen* uit dendrochronologische sequenties die elk representatief zijn voor een enkele boom, hoofdzakelijk afkomstig van artistiek materiaal (planken van beschilderde panelen, houtsnij kunst,...).

Deze referentieverzameling bestrijkt periodes en regio's met variabele oppervlakten volgens de houtsoorten (bijlage 1), waarin de meeste geografische gebieden die onze streken in hout bevoorraden kunnen hebben, zijn opgenomen. Bij dateringsmoeilijkheden die te wijten zouden kunnen zijn aan een herkomst en/of een periode die niet door de referentieverzameling wordt gedekt, maakt het tussen samenwerkende opgezette netwerk laboratoria het mogelijk om aanvullende chronologieën te gebruiken.

1.3.3 Dendrochronologische datering

De dendrochronologische reeksen die werden opgenomen voor een structuur of een constructiefase worden enerzijds vergeleken om na te gaan of de opmetingen exact zijn, en anderzijds om de elementen te identificeren die afkomstig zijn van eenzelfde boom. De dendrochronologische reeksen van monsters van dezelfde boomstam worden geassembleerd tot een dendrochronologisch gemiddelde dat representatief is voor dat individu. De reeksen bekomen voor alle individuen (*individuele reeksen*) worden opnieuw vergeleken om ze te assembleren in hun contemporaine positie (*synchronisatie*) en om er een of meerdere *gemiddelde chronologieën* van te berekenen die betere resultaten zullen geven wanneer ze zullen worden geconfronteerd met de referentieverzameling van chronologieën met het zicht op een datering (zie punt 1.1).

Het opmaken van de gemiddelden, aan de hand van tekeningen en berekeningen, wordt net zoals de berekeningen voor de datering uitgevoerd met behulp van de *Dendron*-software (versie IV), na kalibratie van de dendrochronologische reeksen via een originele transformatie die de *corridor ajusté* wordt genoemd²³. Bij het dateren van een houtelement berekent Dendron de 'gelijkenis' tussen de te dateren dendrochronologische reeks en de chronologieën van de referentieverzameling aan de hand van een statistische berekeningstest die is afgeleid van de *Student*-test, berekend met behulp van twee correlatiecoëfficiënten²⁴. Deze berekening wordt automatisch uitgevoerd voor de te dateren chronologie op alle posities van alle chronologieën in de referentieverzameling. De software levert vervolgens voor elke referentie de vijf beste resultaten. Dit komt in het beste geval overeen met het juiste resultaat en vier foutieve resultaten voor elke chronologie en in het slechtste geval met vijf foutieve resultaten. De dendrochronoloog selecteert tussen alle voorstellen de exacte positie van een

²³ LAMBERT G.-N., 2006.

²⁴ LAMBERT G.-N., 2006; LAMBERT G.-N., 2011; LAMBERT G.-N. *et al.*, 2010.

te dateren houtelement, in functie van de beste correlatiewaarden (t van *Student*) die werden bekomen met een beperkt risico op fouten (probabiliteit/zekeerheid)²⁵ en de aanwezigheid van deze positie op verschillende chronologieën van de referentieverzameling (*replicatie*), onmisbaar om elke mogelijkheid van statistisch toeval uit te sluiten (Fig. 11).

<ElemName> monster1							
Begindatum	Einddatum	Aantal ringen	T Student	Proba t	corr1	corr2	Referentie
1202	1501	218	5.15	0.999995	0.29	0.37	Ref1
1342	1641	78	2.97	0.997283	0.25	0.40	Ref1
949	1248	196	2.56	0.993668	0.17	0.19	Ref1
1222	1521	198	2.50	0.992697	0.17	0.18	Ref1
1202	1501	299	11.01	0.999995	0.50	0.58	Ref2
1535	1834	62	2.71	0.995437	0.12	0.43	Ref2
1065	1364	216	2.58	0.994608	0.19	0.16	Ref2
1106	1405	257	2.32	0.988903	0.15	0.14	Ref2
1202	1501	244	4.30	0.999991	0.31	0.23	Ref3
1461	1760	154	3.36	0.999448	0.30	0.23	Ref3
1575	1874	40	2.77	0.995148	0.35	0.41	Ref3
1202	1501	281	10.50	0.999995	0.49	0.57	Ref4
1443	1742	40	2.50	0.990695	0.12	0.38	Ref4
928	1227	66	2.34	0.987963	0.38	0.22	Ref4
1338	1637	145	2.21	0.983723	0.15	0.21	Ref4

Fig. 11. Tabel met de resultaten van de berekeningen van monster1 vergeleken met de chronologieën van de referentieverzameling Ref1 tot Ref4: de datum 1501 voor de laatste ring wordt door vier referenties als eerste resultaat gegeven (replicatie), met synchronisatiewaarden van hoge kwaliteit (t van Student > 4).

1.4 Interpretatie van de dendrochronologische resultaten

Het bepalen van de exacte positie van een te dateren reeks op de chronologieën van de referentieverzameling dateert het jaar van vorming van elke ring op absolute wijze en geeft bij uitbreiding aan in welke periode de boom leefde. Bijgevolg biedt de datum bekomen voor de laatste gemeten ring op een monster informatie over de kapperperiode van de boom. Deze kan met meer of minder precisie worden bepaald naargelang de bewaringstoestand van het spinhout (Fig. 12).

- De aanwezigheid van het volledige spinhout biedt een kapdatum tot op het jaar nauwkeurig (A);
- Bij gedeeltelijke aanwezigheid van het spinhout kan een raming van het aantal ontbrekende ringen, op enkele jaren na nauwkeurig, worden voorgesteld op basis van gegevens rond het spinhout van bomen uit dezelfde streek en van dezelfde leeftijd als de bestudeerde bomen²⁶ (B);
- Ten slotte moet in het geval van monsters zonder enig spinhout de voorgestelde datum worden beschouwd als een *terminus post quem* voor het kappen, vermits het ontbrekende deel kernhout onmogelijk kan worden bepaald. Het bekomen resultaat betreft dus een datum vanaf dewelke de boom kan zijn gekapt, en niet het exacte kapjaar (C en D).

²⁵ LAMBERT G.-N., 2006; LAMBERT G.-N., 2011; LAMBERT G.-N. *et al.*, 2010.

²⁶ Het aantal spinthoutringen is relatief stabiel voor bomen van eenzelfde populatie; het kan dus worden geraamd op basis van experimenteel en/of statistisch onderzoek van bomen van dezelfde streek. Het aantal kan evenwel variëren van de ene boom tot de andere, volgens nog slecht gedefinieerde parameters: groeiritme, leeftijd van de boom, stamhoogte, kroondiameter, omstandigheden van de site... Daarom blijven de ramingsvensters vrij ruim. LAMBERT G.-N. *et al.*, 1988, p. 295; RYBNÍČEK M. *et al.*, 2006, p. 142.

We preciseren voorts dat, in tegenstelling tot het spinthout van eik (*Quercus robur* of *petraea*), dat van onder meer grove den onbederfelijk is. De ambachtslui moesten het spinthout dus niet verwijderen bij de verwerking van het hout, terwijl men dat bij eik wel aanbeval. Toch kunnen bij het kantrechten de laatste ringen gedeeltelijk of helemaal verloren gaan, waardoor een deel van het spinthout of het hele spinthout ontbreekt op de gelichte monsters. In het geval van een extreem trage groei kan 2 tot 3 mm houtverlies leiden tot het verlies van 25 of meer ringen (Fig. 14)! We voegen ten slotte toe dat het spinthout niet altijd gemakkelijk te identificeren is. Voor talrijke houtsoorten zoals grove den en beuk is het enige onderscheidende criterium een iets lichtere kleur dan het duramen (Fig. 13) dat, afhankelijk van de bewaartoestand van het hout, goed dan wel minder goed te differentiëren is.

We herinneren eraan dat de door dendrochronologie geleverde datums overeenkomen met de kap van de bomen en niet met hun gebruik. De tijdspanne tussen het dendrochronologische resultaat en de verdere verwerking van het jaar moet dus nog worden geraamd. Voor timmerwerk werd voor de historische periodes meermaals aangetoond dat het hout doorgaans snel werd gebruikt: in het merendeel van de gevallen tussen zes maanden en een jaar na het kappen²⁷. Dit betekent dat de kapdatum meestal dicht ligt bij de constructiedatum van het bestudeerde gebouw of structuur. Voor houtelementen afkomstig van schrijnwerk is de tijdspanne zeker langer. Bij het kantrechten van de stam en het transport van het hout komt nog de tijd benodigd voor de verzaging in planken, het eventuele drogen van die planken en de afwerking – allemaal fasen die sterk variëren naargelang de periode, streek, houtsoort, type van product, etc. Er kan dus geen enkele veralgemening worden gemaakt. Bijgevolg wordt de dendrochronologische *terminus* die wordt voorgesteld voor het kappen eveneens gegeven als *terminus post quem* voor de vervaardiging van de structuur.

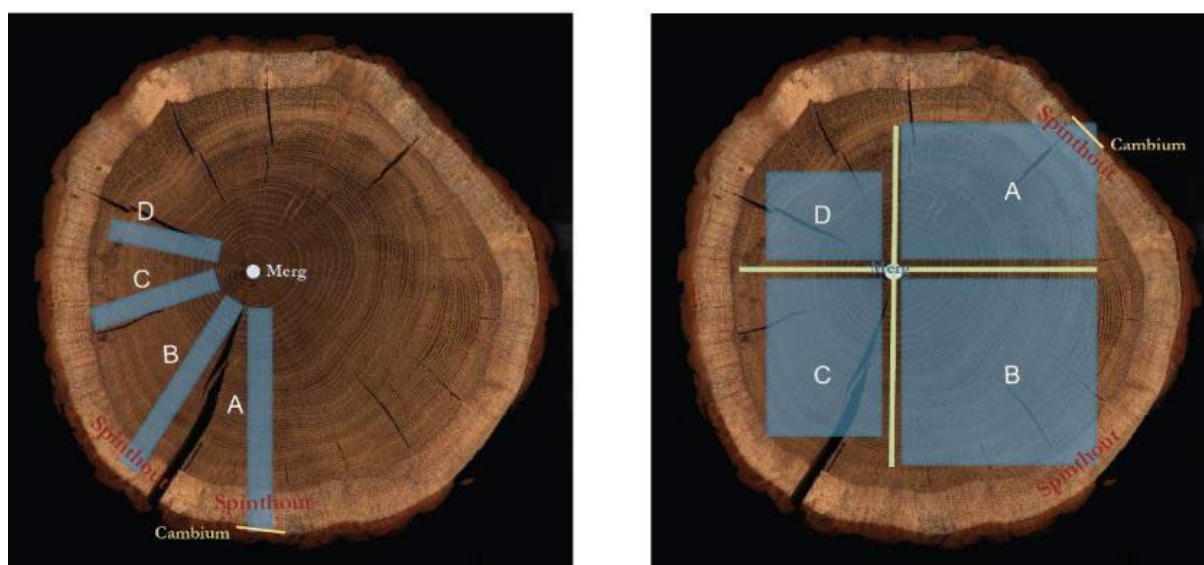


Fig. 12. De verschillende mogelijke variaties die de interpretatie van de kapdatum van de boom beïnvloeden, voor planken (links) en voor balken (rechts): stuk hout met volledig spinthout (A), met gedeeltelijk spinthout (B), zonder spinthout (in geval C ontbreekt alleen het spinthout; in geval D ontbreekt het spinthout en enkele ringen kernhout). © KIK-IRPA, Brussel, werkfoto

²⁷ Zie bijvoorbeeld HOFFSUMMER P., 1995; HOFFSUMMER P. (red.), 2002; HUNOT J.-Y., 2001; EPAUD F., 2007; HOUBRECHTS D., 2008.

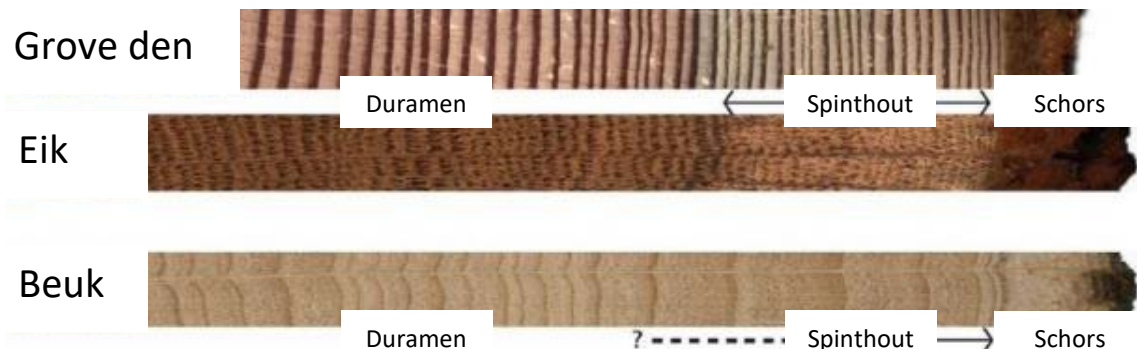


Fig. 13. Dwarsdoorsneden van eik, grove den en beuk die de verschillende anatomische structuren van de houtsoorten illustreren. © KIK-IRPA, Brussel, werkfoto



Fig. 14. Detail van het einde van de groei van een monster met zeer traag groeitempo: 2 tot 3 mm hout omvat meer dan 30 ringen (P482/01/001). © KIK-IRPA, Brussel, werkfoto

1.5 Interpretatie van de grafieken van de resultaten bekomen met *Dendron IV*

De twee hier besproken types van originele²⁸ grafieken worden in dit verslag gebruikt om de kwaliteit van de weerhouden resultaten bij een dendrochronologische datering te illustreren en om de naar voren geschoven conclusies te beargumenteren.

1.5.1 Gecumuleerde histogrammen²⁹

De *gecumuleerde histogrammen* (Fig. 15) geven een beeld van de probabiliteit van de resultaten bekomen met *Dendron IV* bij de berekening van een op de chronologieën van de referentieverzameling te dateren reeks. Het door de dendrochronoloog weerhouden voorstel is afgebeeld in donkergrijs, voor elke chronologie van de referentieverzameling die deze datum geeft. Alle verworpen voorstellen zijn afgebeeld in grijs.

Voor een kwaliteitsvolle datering (klasse A) moet aan twee criteria worden voldaan. Ten eerste moet de probabiliteit van de resultaten voor de weerhouden datum hoog zijn, wat zich vertaalt in de aanwezigheid van de donkergrijze cellen in het rechterdeel van de grafiek. Vervolgens moet er een grote demarcatie zijn tussen de bekomen resultaten voor de weerhouden datum en die voor de verworpen datums, wat zich vertaalt in een duidelijke verwijdering tussen de donkergrijze cellen rechts in de grafiek en de lichtgrijze cellen links. Een dergelijke situatie vertaalt het feit dat de enige hoge probabiliteiten worden bekomen voor de weerhouden datum, wat de betrouwbaarheid van het voorgestelde resultaat versterkt. Samengevat: hoe meer de donkergrijze cellen zich situeren in het rechterdeel van de grafiek en zijn verwijderd van de grijze (die zich eerder links bevinden), hoe betrouwbaarder het voorgestelde resultaat. De onderstaande grafieken illustreren drie klassen van resultaten, van het meest zekere tot het meest hypothetische.

²⁸ Deze worden automatisch aangemaakt door *Dendron* (Lambert G.-N., 2006).

²⁹ Voor de histogrammen, zie YAMAGUCHI D.K., 1986. Dit gebruik van histogrammen is ontleend aan GIRARD CLOS O., 1999. Het concept om de diagrammen te cumuleren danken we aan LAMBERT G.-N., 2006; dergelijke diagrammen worden bekomen met *Dendron IV*.

We geven de voorkeur aan dit type van grafiek om de op de Europese regionale chronologieën bekomen resultaten te illustreren. Zo krijgt men in een oogopslag een idee van de herkomst van het bestudeerde hout.

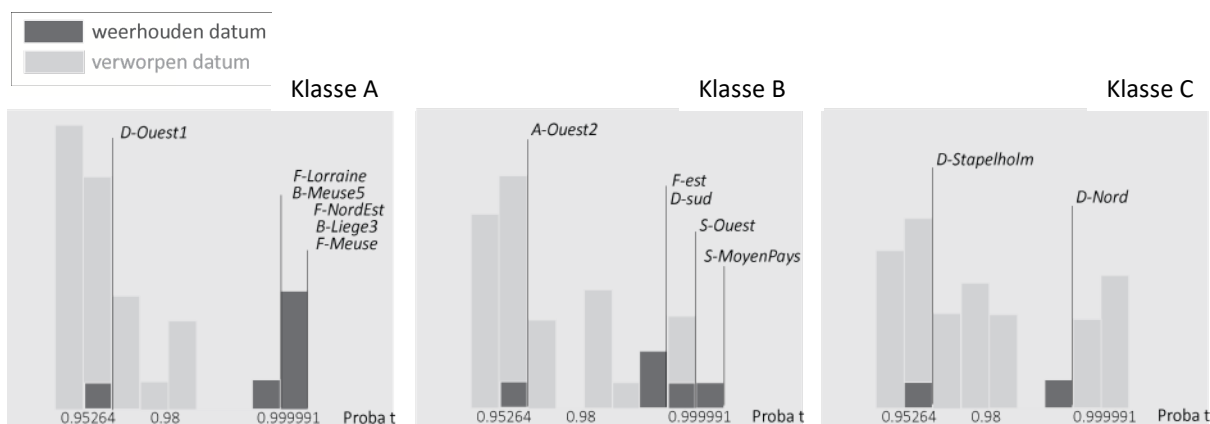


Fig. 15.1. Deze grafiek is van uitstekende kwaliteit: het weerhouden resultaat (in donkergrijs) wordt gegeven met hoge probabiliteiten (concentratie van de donkergrijze cellen rechts in de grafiek) door meerdere chronologieën; deze zijn bovendien ver verwijderd van de verworpen datums (duidelijke spreiding tussen het merendeel van de donkergrijze en lichtgrijze cellen).

Fig. 15.2. Deze grafiek is van aanvaardbare kwaliteit: het weerhouden resultaat (in donkergrijs) wordt gegeven door twee chronologieën met goede probabiliteiten (rechterdeel grafiek) die zijn verwijderd van het merendeel van de resultaten bekomen voor de verworpen datums (in grijs). Bovendien stellen meerdere bijkomende chronologieën de weerhouden datum voor (replicatie).

Fig. 15.3. Deze grafiek is middelmatig: de resultaten voor de weerhouden datum (in donkergrijs) hebben een vrij zwakke probabiliteit (gesitueerd in het linkerdeel van de grafiek) en zijn niet verwijderd van de resultaten bekomen voor de verworpen datums. Het hier geïllustreerde dateringsvoorstel kan niet worden gevalideerd door een dergelijke grafiek.

2 Waterput – Sint-Niklaas

2.1 Dendrochronologische studie

2.1.1 Voorwerp van de studie

Dit hoofdstuk beschrijft het analyseproces en de resultaten van de dendrochronologische studie uitgevoerd op de houtrestanten van een waterput die in 2021 werden aangetroffen te Sint-Niklaas (Witte-Molen – projectcode 2021A3 – spoornummer 46) bij archeologische opgravingen door *Erfpunt*. Archeoloog Thierry Van Neste contacteerde ons voor een dendrochronologische datering van de houten fragmenten van de waterput. Deze houten fragmenten zijn aangepunte planken die werden gebruikt voor de beschoeiing van de waterput. “Deze werden bij de aanleg van de waterput, nog dieper in de grond geduwd om zo stevig te blijven staan”³⁰. Volgens archeologen kan de put uit de vroege ijzertijd (800-450 v.C.), de late ijzertijd (450-50 v.C.) of de vroeg-Romeinse tijd (50 v.C. - 70 n.C.) dateren.

2.1.2 Monstername (zie punten 1.1 en 1.2)

De elementen die ons op 24/05/2022 werden geleverd bestaan uit een lot van ongeveer twintig stukken hout. Allen waren in eik (*Quercus* sp). Achttien werden gebruikt voor studie (de andere bevatten niet genoeg jaarringen voor een dendrochronologische analyse).

De voorbereidingsfase vond plaats op 06/07/2022. De monsters werden in de breedte doorgesneden om met behulp van een scheermes een meettraject op de dwarsdoorsnede van het hout voor te bereiden (zie punt 2.2).

De monstername is gecodificeerd volgens het systeem van dendrochronologische datering van het laboratorium dat een nummer toekent aan de site (P826), aan gedeelten ervan (-01) en aan het object (-001 tot -018).

Dendrochronologische code KIK	Code ERFPUNT – (SN WM 21) Werkput/Vlak/Spoornummer/Staal	Aantal gemeten ringen	Gemiddelde ring	Aantal ringen spinthout	Cambium
P826-01-001	WP1 VL1 SN46 S5	38	2.73 mm	/	/
P826-01-002	WP1 VL1 SN46 S5	57	1.58 mm	/	/
P826-01-003	WP1 VL1 SN46 S5	39	3.18 mm	/	/
P826-01-004	WP1 VL1 SN46 S5	42	1.42 mm	10	/
P826-01-005	WP1 VL1 SN46 S5	59	1.97 mm	/	/
P826-01-006	WP1 VL1 SN46 S5	51	2.63 mm	/	/
P826-01-007	WP1 VL1 SN46 S5	74	1.51 mm	/	/
P826-01-008	WP1 VL1 SN46 S5	105	1.31 mm	/	/
P826-01-009	WP1 VL1 SN46 S5	55	1.98 mm	/	/
P826-01-010	WP1 VL1 SN46 S5	74	1.37 mm	/	/
P826-01-011	WP1 VL1 SN46 S5	80	1.77 mm	/	/
P826-01-012	WP1 VL1 SN46 S5	38	2.97 mm	/	/

³⁰ VAN NESTE T. : <https://sketchfab.com/3d-models/ijzertijdwaterput-met-ingeheide-planken-17ca0c29f77b4132a57bfe64d21de2a2>.

P826-01-013	WP1 VL1 SN46 S5	80	1.66 mm	4	/
P826-01-014	WP1 VL1 SN46 S5	75	1.72 mm	/	/
P826-01-015	WP1 VL1 SN46 S5	90	1.54 mm	10	/
P826-01-016	WP1 VL1 SN46 S5	82	1.47 mm	/	/
P826-01-017	WP1 VL1 SN46 S5	39	2.54 mm	6	/
P826-01-018	WP1 VL1 SN46 S5	45	1.92 mm	/	/

De groeisnelheid van de bomen die de planken leverden is vrij constant, meestal gemiddeld tussen 1 en 2 mm. Het aantal aanwezige ringen per monster varieert meer, vooral naargelang van de breedte van de planken (zie punt 2.2). Vier monsters bevatten nog spinhout, maar geen enkel cambium. Bij de dendrochronologische datering zal dus een raming van het aantal ontbrekende ringen – op enkele jaren nauwkeurig – moeten worden gemaakt in de vorm van een tijdsvenster (zie punt 1.4).

2.1.3 Dendrochronologische synchronisatie en datering (zie punten 1.3 en 1.4)

Eerst werden de ringenreeksen die van elk monster werden opgenomen onderling vergeleken, zowel visueel als met behulp van synchronisatieberekeningen.

Eenzijds wijst de kwaliteit van de correlatie tussen de dendrochronologische reeksen van vijf monsters (P826-01-002, P826-01-007, P826-01-008, P826-01-010 en P826-01-016) erop dat de planken waaruit ze zijn vervaardigd, afkomstig zijn van eenzelfde boom (zie punt 2.3.1). Deze vijf reeksen werden dus samengevoegd tot een individuele ‘gemiddelde’ reeks die representatief is voor deze boom P826-01-002-007-008-010-016.ech (Fig. 16).

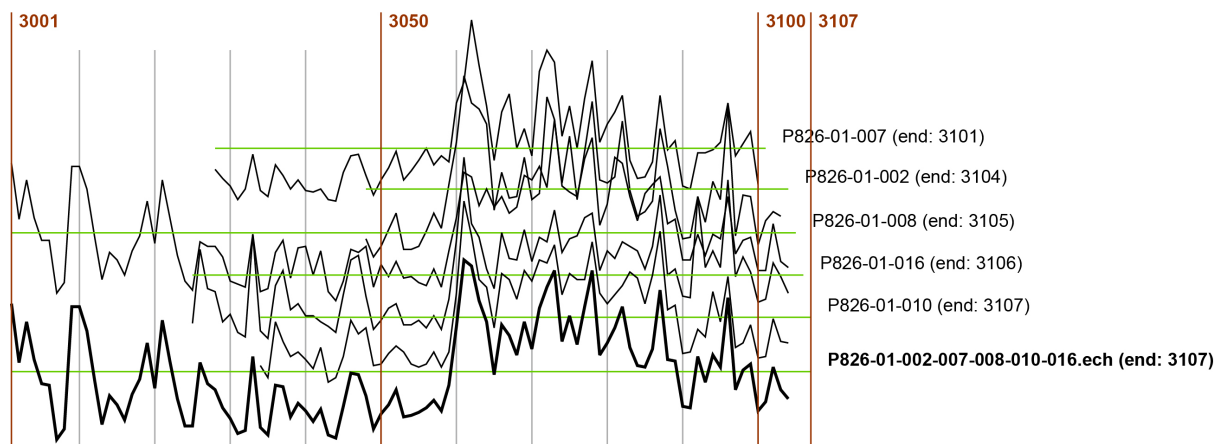


Fig. 16. Synchronisatie tussen de vijf ringenreeksen P826-01-002, P826-01-007, P826-01-008, P826-01-010 en P826-01-016 uit dezelfde boom en tekening van hun dendrochronologische gemiddelde P826-01-002-007-008-010-016.ech in het vet (tekeningen in natuurlijke waarden; de posities in 3001 wijzen erop dat het gaat om relatieve, niet-gedateerde posities). Tekening: Labo. Dendro 2022 © IRPA-KIK, Brussel.

Vervolgens werden dertien individuele reeksen die op overtuigende wijze gesynchroniseerd konden worden, werden samengevoegd tot een gemiddelde chronologie die representatief is voor de waterput, **P826-KIK**, en 167 ringen bevat (Fig. 17).

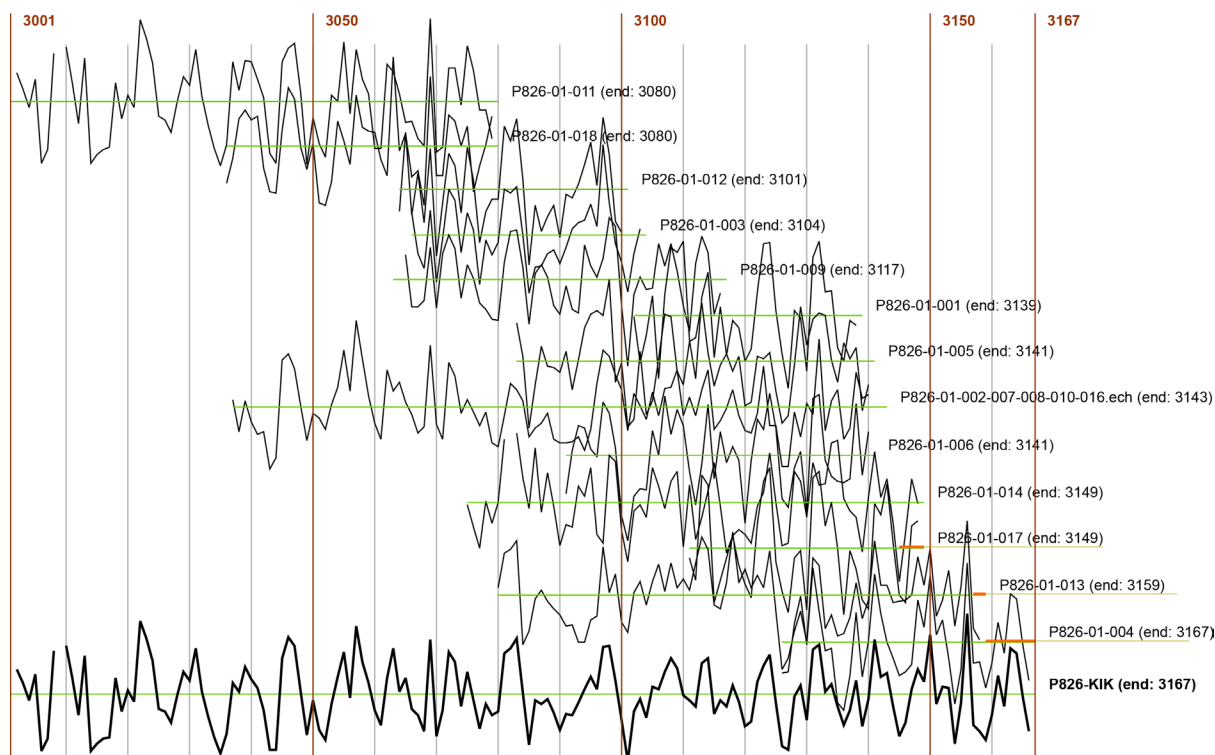


Fig. 17. Synchronisatie van dertien individuele reeksen en tekening van hun dendrochronologische gemiddelde P826-KIK in het vet (tekeningen in *corridor ajusté*; de posities in 3001 wijzen erop dat het gaat om relatieve, niet-gedateerde posities). Tekening: Labo. Dendro 2022 © IRPA-KIK, Brussel.

De gemiddelde chronologie **P826-KIK** werd ter datering en om de herkomst van het hout te bepalen, vergeleken met onze referentieverzamelingen. Ze is gedateerd met een laatste ring in 221 v.Chr. (zie punt 2.3). Er zijn niet veel referenties voor deze periode. In een poging om een datering te bevestigen, hebben we de dendrochronologische gegevens van de elementen van de waterput van Sint-Niklaas naar naburige laboratoria gestuurd die andere referentieverzamelingen voor de periode in kwestie hebben: Kristof Haneca (Agentschap Onroerend Erfgoed, Brussel, BE), Sjoerd van Daalen (Van Daalen Dendrochronologie, Deventer, NL) en Willy Tegel (DendroNet, Freiburg, D). Onze collega's in de drie andere laboratoria bevestigden het resultaat³¹.

De datering wordt verzekerd door meerdere regionale chronologieën uit het noordoosten van Frankrijk en uit België (zie tabellen en grafieken 2.3.1 en 2.3.2). Dankzij de aanwezigheid van spinthout kan een raming worden voorgesteld van het aantal ontbrekende ringen om de kapdatum tot op enkele jaren nauwkeurig te situeren. Gezien de herkomst van het hout kan het spinthout maximum 34 ringen hebben bevat³². De bomen werden dus gekapt tussen **tussen 221 en 210 v.Chr.** (zie punt 1.4).

Behalve de dendrochronologische analyse werd ook een C14-datering gevraagd om het resultaat te bevestigen. De 14C-analyse werd uitgevoerd door het labo radiokoolstofdatering van het KIK³³. Ter datering werd er een monster gelicht in de laatste groeiringen van het hout P826-01-013 (Fig. 18), met als resultaat 390BC (95,4%) 200BC.

³¹ Het KIK dankt de collega's die hebben meegewerkt aan het onderzoek op de elementen van de waterput van Sint-Niklaas (VAN DAALEN S. (01-08-22) : tpb 6,14, tho 6,37, glk 65,7 on his *Roman chronology* / HANECA K. (02-08-22) : tpb 11,7, tho 10,1, glk 72,9 on his reference from Zele (ZEZO02) / TEGEL W. (03-08-22) : tpb 4,54, tho 3,52, glk 55,7 on his reference *Grand-Est*).

³² Deze schatting is gebaseerd op het interval van 4 tot 34 spinthoutringen dat geldt voor 95% van de gevallen van de statistische studie uitgevoerd door G.-N. Lambert in 2006 op 575 eiken gedateerd tussen 500 v.Chr. en 2000 n.Chr. afkomstig van het noorden van Frankrijk en het zuiden van Zwitserland. LAMBERT G.-N., 2006; DUROST S. & LAMBERT G.-N., 2007.

³³ Zie bijlage 1: Resultaat van de ¹⁴C-analyse door het labo radiokoolstofdatering van het KIK. Contact: mathieu.boudin@kikirpa.be.

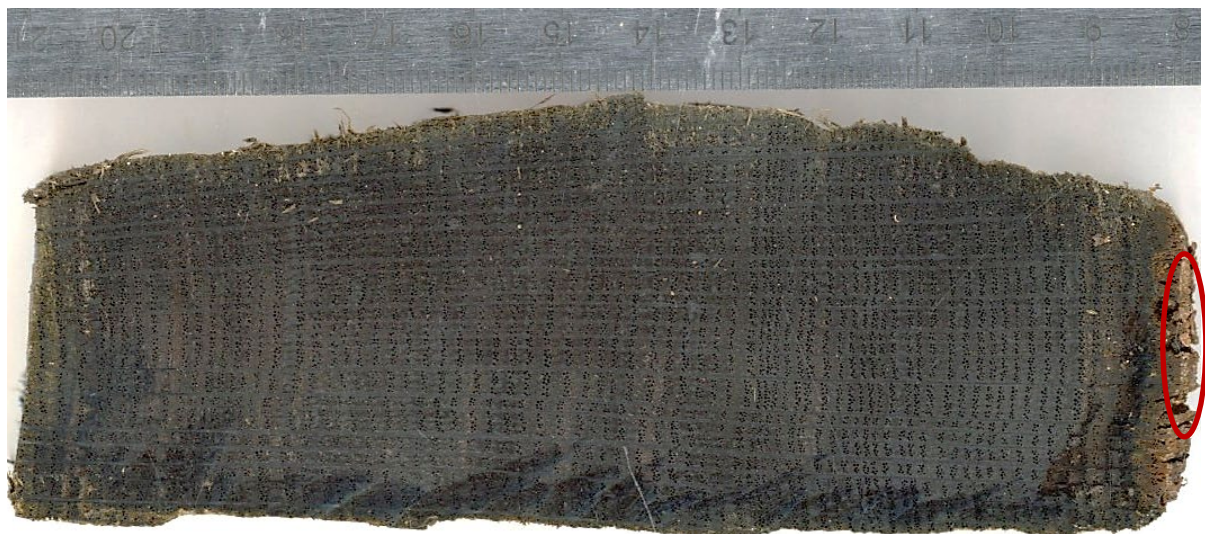


Fig. 18. Hoge resolutie scan van monster P826-01-013 gebruikt voor de radiokoolstofdatering, met lokalisering van de monsternamen in rood. Foto: Labo. Dendro 2022 © IRPA-KIK, Brussel.

2.1.4 Interpretatie van resultaten en conclusie (zie punt 1.4)

De dendrochronologische studie van de planken uit de waterput in Sint-Niklaas heeft resultaten opgeleverd.

Zeventien van de achttien planken van de waterput werden gedateerd. Vijf ervan werden gehergroepeerd tot een individuele 'gemiddelde' reeks die representatief is voor een boom, P826-01-002-007-008-010-016.ech, en het geheel werden samengevoegd in een gemiddelde chronologie die representatief is voor de waterput, **P826-KIK**.

De laatste gemeten ring van deze gemiddelde dateert van 221 v.Chr. De aanwezigheid van spinthout op drie monsters maakt het mogelijk om de kapdatum van bomen te ramen **tussen 221 en 210 v.Chr.** Dit resultaat wordt bevestigd door collega's van naburige laboratoria en door een C14-datering.

Het resultaat komt overeen met een bezetting van de site in de late ijzertijd.

2.2 Foto's van de gelichte monsters (Labo. Dendro 2022 © IRPA-KIK, Brussel)



P826-01-001



P826-01-002



P826-01-003



P826-01-004



P826-01-005



P826-01-006



P826-01-007



P826-01-008



P826-01-009



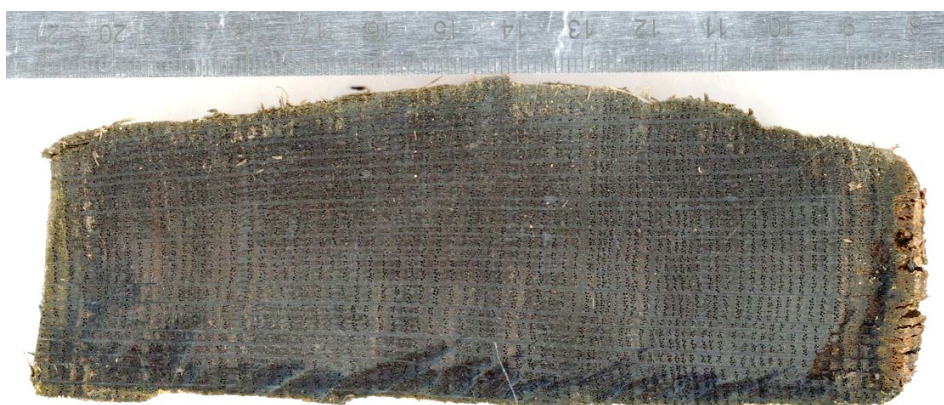
P826-01-010



P826-01-011



P826-01-012



P826-01-013



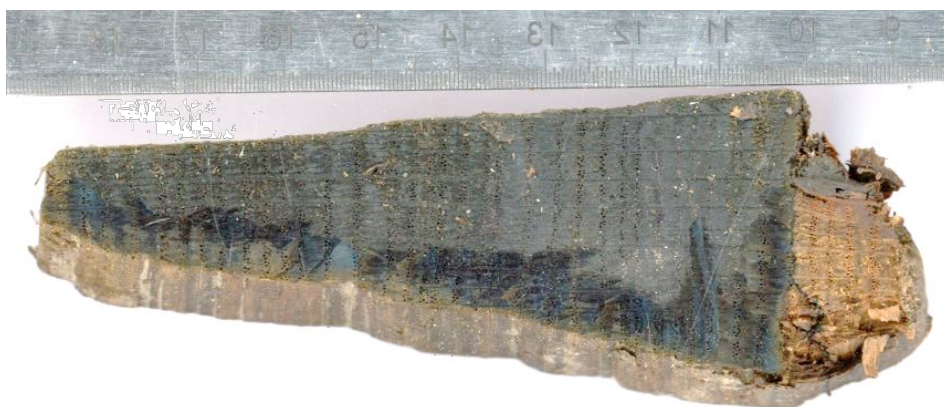
P826-01-014



P826-01-015



P826-01-016



P826-01-017



P826-01-018

2.3 Dendrochronologische gegevens, tabellen en grafieken met de resultaten

2.3.1 Samenvatting van de datering

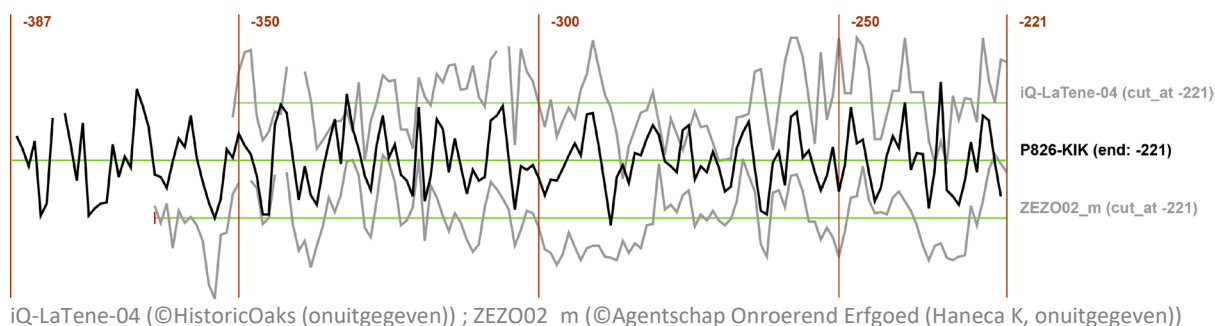
Dendrochronologische code KIK	Datum eerste gemeten ring	Datum laatste gemeten ring	Aantal spinthout-ringen	Cambium	Resultaat
P826-KIK					
P826-01-001	-286	-249	/	/	Kapdatum tussen 221 en 210 v.Chr.
P826-01-003	-322	-284	/	/	
P826-01-004	-262	-221	10	/	
P826-01-005	-305	-247	/	/	
P826-01-006	-297	-247	/	/	
P826-01-009	-325	-271	/	/	
P826-01-011	-387	-308	/	/	
P826-01-012	-324	-287	/	/	
P826-01-013	-308	-229	4	/	
P826-01-014	-313	-239	/	/	
P826-01-017	-277	-239	6	/	
P826-01-018	-352	-308	/	/	
P826-01-002-007-008-010-016.ech	-351	-245	/	/	

2.3.2 Grafische voorstellingen van de kwaliteit van de resultaten

2.3.2.1 Verificatie van de datering door visuele vergelijking met de chronologieën van de referentieverzameling

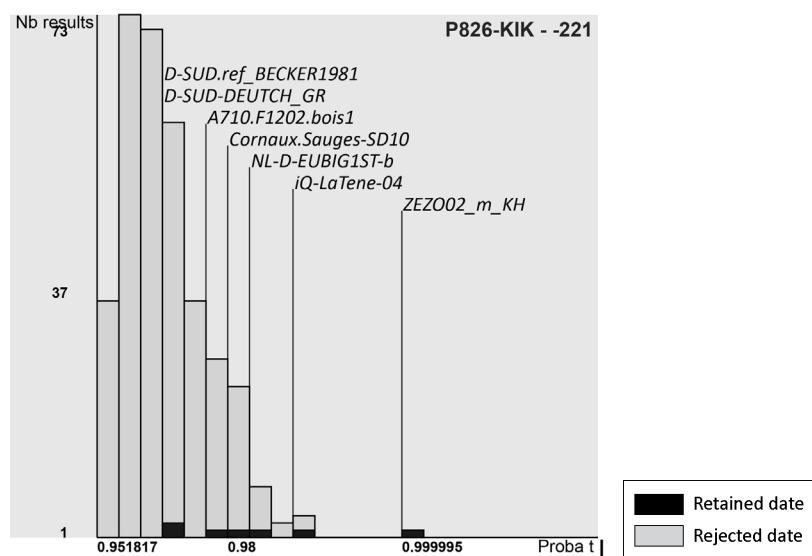
In de volgende grafiek verzekert de kwaliteit van de visuele synchronisaties met de sitechronologieën (in het grijs) de weerhouden chronologische positie (tekeningen in *corridor ajusté*). Tekening: Labo. Dendro 2022 © IRPA-KIK, Brussel

P826-KIK (-387 - -221)



2.3.2.2 Gecumuleerd histogram van door *Dendron IV* voorgestelde datums bij het berekenen van het gemiddelde op de sitechronologieën van de referentieverzameling

Zie punt 1.5.1 en Fig. 15.2 voor de interpretatie van dit type van grafieken. Voor het gemiddelde **P826-KIK** is de kwaliteit van de bekomen resultaten van klasse B: de voorgestelde datering wordt gegeven door enkele regionale chronologieën (de grafiek bevat enkele donkergrijze cellen) met soms hoge probabiliteiten (donkergrijze cellen naar rechts in de grafiek) Tekening: Labo. Dendro 2022 © IRPA-KIK, Brussel



2.3.3 Berekeningen van het dendrochronologische gemiddelde (zie punt1.3)

De synchronisatieberekeningen werden uitgevoerd met behulp van de *Dendron IV* software na kalibratie van de dendrochronologische reeksen door een originele transformatie genaamd *corridor ajusté* (zie punten 1.3.1 en 1.3.3)³⁴.

Het resultaat van t van *Student* (berekend op basis van twee correlatiecoëfficiënten) kan als significant beschouwd worden vanaf 4, is goed vanaf 5 en zeer goed hoger dan 6 (foutmarge beperkt door de aanduiding van probabiliteit/zekerheid)³⁵. De weerhouden positie wordt als overtuigender beschouwd naarmate haar replicatie toeneemt op de chronologieën van de referentieverzameling.

De volgende tabellen onthullen dat het gedateerde gemiddelde goede resultaten geven op de chronologieën van de referentieverzameling. Voor elk ervan wordt de datering gegeven met soms hoge synchronisatiewaarden en op sommige chronologieën.

³⁴ LAMBERT G.-N., 2006.

³⁵ LAMBERT G.-N., 2006; LAMBERT G.-N., 2011; LAMBERT G.-N. *et al.*, 2010.

P826-KIK : -387 – -221 AD

Regionale en sitechronologieën van de referentieverzameling

<i>t van Student*</i>	Coeff. corr. 1	Coeff. corr. 2	Probabiliteit / zekerheid	Aantal ringen	Chronologie van de referentieverzameling	© Referentie ³⁶
9.92	0.55	0.59	0.999995	137	ZEZAO02_m	© Haneca K.
4.1	0.33	0.33	0.999902	131	iQ-LaTene-04	© Classic Oaks
3.5	0.28	0.24	0.99957	160	Cornaux.Sauges-SD10	© HistoricOaks (Sébastien Durost)
3.14	0.26	0.31	0.998662	102	A710.F1202.bois1	© Classic Oaks
2.76	0.26	0.21	0.995922	127	D-SUD-DEUTCH_GR	© Delorme A.
2.75	0.27	0.24	0.995863	104	D-SUD.ref_BECKER1981	© Becker B.
2.31	0.22	0.27	0.987448	81	P751-RAP	© KIK-IRPA

2.3.4 Natuurlijke waarden van de dendrochronologische reeksen en van het gemiddelde (1/100e mm)

*format Besancon 1992 - from Dendron IV - exported at Wed 24 Aug 2022 13:44:33 +0100 extented_version 2013
WEST-EUROPE (BELGIUM) Vlaams Gewest (Oost-Vlaanderen) Sint-Niklaas (Witte Molen)
LGT 4.156614 LAT 51.273017 ALT 20*

2.3.4.1 Dendrochronologische gegevens van de ringenreeksen van de monsters

Ongedateerde monsters

. P826-01-015

LON 90
ORI 3001
TER 3090
AUB 81
_MI 61
_MX 326
_AV 154.079
VAL Largeurs
150 141 112 115 101 119 80 144 138 80
227 133 146 183 153 92 101 111 188 229
189 126 169 208 206 214 154 170 220 287
142 285 229 326 281 241 192 175 147 215
268 152 222 218 307 259 212 103 61 118
98 108 128 124 180 124 90 63 75 185
165 196 72 76 107 71 107 134 119 157
152 80 109 169 84 70 84 120 142 175
174 85 143 175 184 198 69 153 129 , ;

³⁶ Zie punt 1.3.2.

Gedateerde monsters

. P826-01-001

LON 38
ORI -286
TER -249
_MI 128
_MX 457
_AV 273.541
VAL Largeurs
243 221 249 286 225 301 351 354 373 265
217 317 351 232 302 226 278 263 201 218
313 419 457 271 191 128 261 247 160 338
357 281 282 217 211 256 259 , ;

. P826-01-004

LON 42
ORI -262
TER -221
AUB 33
MXA -197
_MI 70
_MX 227
_AV 142.634
VAL Largeurs
70 77 121 146 113 172 144 120 124 93
92 116 154 120 141 178 158 144 137 129
132 136 169 156 183 153 162 142 116 136
201 140 141 124 141 172 150 227 224 163
131 , ;

. P826-01-006

LON 51
ORI -297
TER -247
_MI 132
_MX 383
_AV 263.12
VAL Largeurs
249 293 321 321 303 296 359 349 309 226
194 248 256 253 330 296 383 322 354 329
262 212 267 351 239 307 256 278 254 153
247 307 288 342 284 168 152 211 234 132
314 318 208 179 168 162 168 292 170 242
 , ;

. P826-01-003

LON 39
ORI -322
TER -284
_MI 176
_MX 556
_AV 318.632
VAL Largeurs
377 293 258 403 216 332 476 443 294 409
361 197 330 285 320 556 457 469 334 176
246 248 275 283 249 283 319 328 326 349
303 435 330 258 226 178 228 258 , ;

. P826-01-005

LON 59
ORI -305
TER -247
_MI 110
_MX 309
_AV 197.155
VAL Largeurs
309 225 148 192 226 206 203 198 211 184
201 218 223 223 218 235 179 188 152 154
191 153 159 184 212 211 173 163 195 198
227 187 157 176 187 171 186 133 137 189
188 197 151 110 121 189 302 220 257 296
268 210 183 240 221 240 160 200 , ;

. P826-01-009

LON 55
ORI -325
TER -271
_MI 90
_MX 488
_AV 198.019
VAL Largeurs
488 365 393 226 222 231 346 206 319 478
317 210 272 240 188 173 154 149 238 279
274 213 131 195 200 181 146 133 159 135
129 182 162 150 160 182 173 124 90 128
136 129 129 151 140 152 139 122 107 150
171 165 121 140 , ;

. P826-01-011

LON 80
ORI -387
TER -308
_MI 61
_MX 411
_AV 177.266

VAL Largeurs

320 316 281 246 285 148 164 411 329 343
250 182 282 115 124 128 129 226 167 200
178 323 280 240 157 149 129 174 211 195
249 175 130 95 68 99 221 178 221 219
192 164 80 66 215 235 242 169 61 131
91 70 161 153 239 133 228 182 160 80
79 203 190 156 115 115 90 77 264 65
72 185 184 129 214 176 116 114 71 , ;

. P826-01-013

LON 80
ORI -308
TER -229
AUB 77
MXA -199
_MI 79
_MX 261
_AV 166.658

VAL Largeurs

168 214 220 239 111 129 168 179 168 162
157 146 148 131 133 156 160 261 184 204
155 144 184 195 171 193 210 182 210 184
192 179 206 241 218 160 155 180 244 178
191 171 183 169 207 142 79 89 118 137
104 193 184 115 130 106 109 126 162 124
144 206 160 160 142 144 147 152 191 164
202 137 155 184 135 173 233 142 137 , ;

. P826-01-017

LON 39
ORI -277
TER -239
AUB 34
MXA -211
_MI 158
_MX 409
_AV 254.395

VAL Largeurs

258 237 334 327 204 225 248 273 235 210
191 286 342 409 230 189 158 233 243 160
340 347 273 304 243 158 241 219 184 176
302 291 327 263 210 207 291 299 , ;

. P826-01-012

LON 38
ORI -324
TER -287
_MI 143
_MX 562
_AV 297

VAL Largeurs

210 318 217 297 212 370 143 266 387 361
251 413 331 184 260 289 286 562 408 464
322 160 270 225 249 267 218 282 275 294
323 356 295 403 352 245 224 , ;

. P826-01-014

LON 75
ORI -313
TER -239
_MI 95
_MX 341
_AV 172.73

VAL Largeurs

171 133 103 179 145 176 294 341 303 203
167 232 162 201 167 129 148 145 181 171
194 136 128 200 194 135 109 149 153 142
183 166 146 169 178 109 165 113 134 158
187 144 95 113 119 113 104 146 161 207
152 104 107 194 185 144 211 188 191 244
251 184 173 169 133 201 266 212 237 194
141 198 260 242 , ;

. P826-01-018

LON 45
ORI -352
TER -308
_MI 100
_MX 384
_AV 192.318

VAL Largeurs

159 216 303 384 285 285 172 122 117 240
336 290 200 160 206 105 103 141 238 207
171 274 225 218 216 178 156 311 186 205
149 156 114 253 141 139 191 177 148 154
100 109 111 111 , ;

. P826-01-002-007-008-010-016.ech

LON 107

ORI -351

TER -245

_MI 49

_MX 285.8

_AV 138.888

VAL Largeurs

227 151 204 154 123 121 49 63 223 224

192 128 69 106 95 75 108 128 175 117

206 153 102 67 67 151 122 114.67 90 76.67

56.33 61.33 157.67 64 54.5 121.25 118 79.25 97.5 86.5

72.25 87.75 54.25 50.25 92.5 136.5 133.25 107.2 63.8

82.2 94.8 113.6 79.6 80.4 84.8 91.6 101 87.2 119.6 197.8

285.8 276 231.4 203.4 134.6 198.8 186.6 159.8 204 167.2

221.8 249 270.6 177.4 211.2 173.8 223.6 271.6 160.2

175.4 195.8 224.2 169.8 145.2 143.4 168.8 245.8 154.8

152 92.4 90.4 158.8 125.2 159.8 144.2 235 114.2 141

147.8 85.8 98.25 143.25 115.25 103 , , , ;

2.3.4.2 Dendrochronologische gegevens van het gedateerde gemiddelde

. P826-KIK

LON 167

ORI -387

TER -221

_MI 68

_MX 411

_AV 196.616

VAL Largeurs

320	316	281	246	285	148	164	411	329	343
250	182	282	115	124	128	129	226	167	200
178	323	280	240	157	149	129	174	211	195
249	175	130	95	68	129	221.33	210.67	269.67	219.33
200	152.33	83.67	82	226	265	241.33	165.67	96.67	147.67
97	82.67	136.67	173	207	140.33	236	186.67	160	121
108	170	277.75	206.33	224.2	193.45	185.72	158.89	298.95	139.17
197.08	306.38	266.67	185.21	247.21	203.93	138.46	179.25	158.46	191.54
326.08	306.92	313.04	216.46	139.26	197.89	190.69	199.09	186.8	166.34
195.35	198.83	210.75	220.15	232.83	220.1	281.23	263.5	224.18	185.18
143.09	191.6	199.58	179.54	212	199.89	226.54	237.71	236.09	209.34
205.28	188.35	239.33	253.58	182.53	203.05	198.26	225.89	200.69	163.74
173.06	227.54	258.97	281.97	197.43	125.43	115.3	185.73	202.4	149.1
246.15	258.63	196.28	201.75	176.1	155.23	174.91	204.78	143.75	172.43
238	205.25	217	184	156	171	209.75	225.25	160	192.5
145	158.5	163	125.5	154.5	217	141	139	124	141
172	150	227	224	163	131	,	;		

Bijlage 1: Resultaat van de ^{14}C -analyse

29/9/2022

RADIOCARBON DATING REPORT

P826-01-013

RICH-32377 (P826-01-013) : 2246 $\pm$ 22BP

68.2% probability

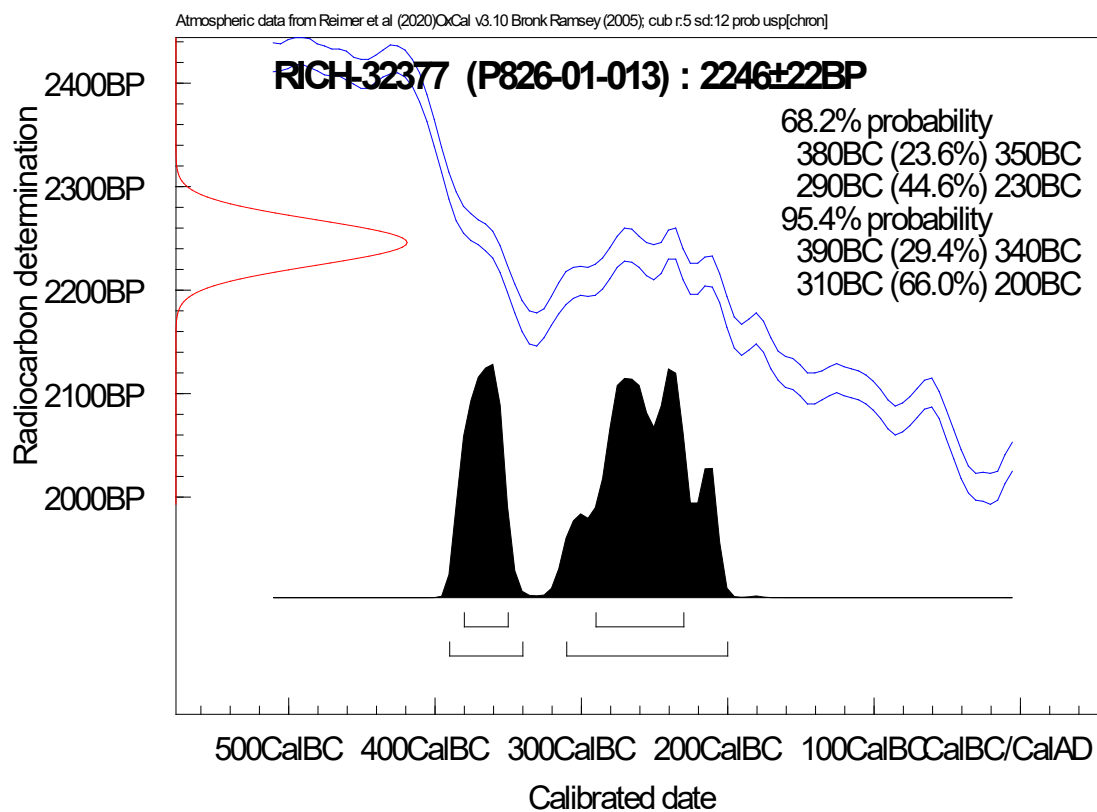
380BC (23.6%) 350BC

290BC (44.6%) 230BC

95.4% probability

390BC (29.4%) 340BC

310BC (66.0%) 200BC



Prétraitement: AAA (acide-alkali-acide)

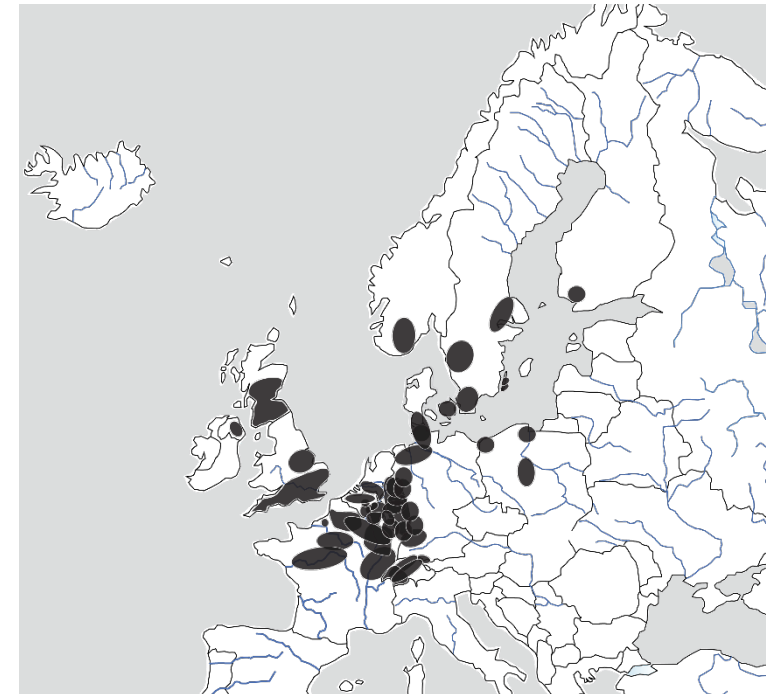
Amicalement,
Mathieu Boudin

Mathieu.boudin@kikirpa.be

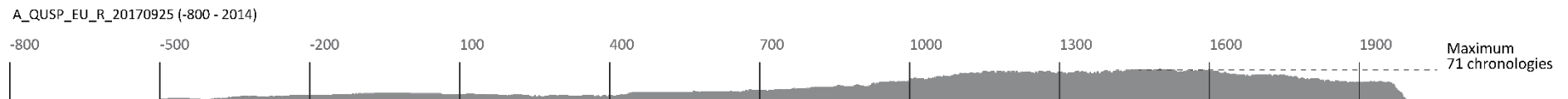
Bijlage 2: samenstelling van de referentieverzamelingen voor datering

1.1. Eik: regionale chronologieën van West-Europa (ref. code: A_QUSP_EU_R_20170925)

De referentieverzameling van de regionale chronologieën van het KIK dekt een groot deel van België en de aangrenzende regio's. De referentieverzameling is samengesteld uit een honderdtal chronologieën (interval 1518 v.Chr. – 2014 n.Chr.), afkomstig van levende bomen of staand dood hout, en van hout afkomstig van archeologisch en artistiek materiaal dat eventueel werd vervoerd over een min of meer lange afstand. Chronologieën werden opgesteld door verschillende laboratoria; het merendeel ervan is onuitgegeven. De laboratoria die de in dit dossier gebruikte chronologieën aanmaken, worden vermeld in de dateringsresultatentabellen.



Schematische weergave van de geografische dekking van de regionale chronologieën van eik voor West-Europa. Labo dendro, 2017© KIK-IRPA, Brussel

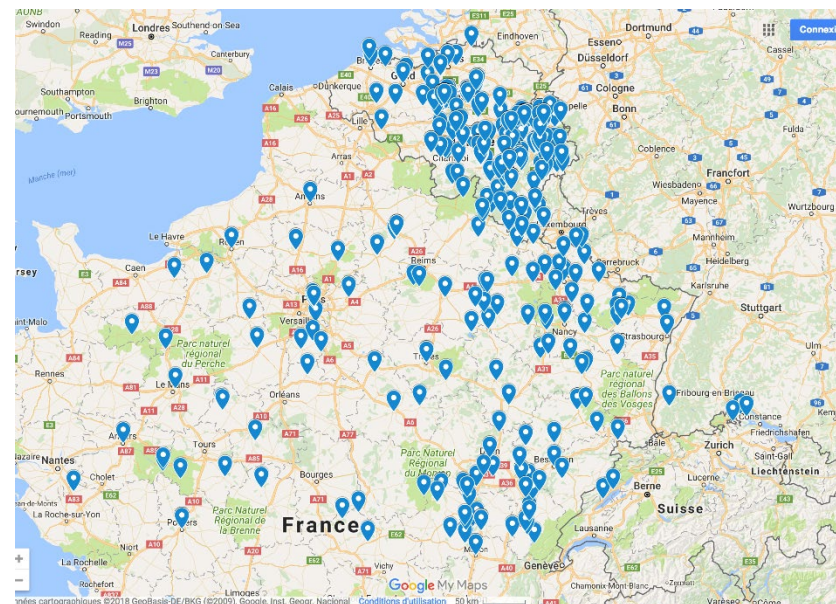


Volume (per jaar) van de referentieverzameling van chronologieën van regionale eik voor West-Europa (voor de periode 800 v.Chr. – 2014 n.Chr.). Labo dendro, 2017 © KIK-IRPA, Brussel

1.2. Eik: site- en individuele chronologieën, West-Europa (ref. code: A_QUSP_BE_FR-S-I_20180924)

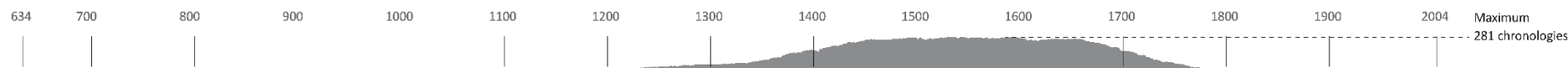
Deze referentieverzameling telt ongeveer 1000 chronologieën (interval 634-2004 n.Chr.) die afkomstig zijn van hoofdzakelijk Belgische sites en het uiterste Oosten van Frankrijk en enkele aangrenzende regio's. Het is samengesteld uit chronologieën afkomstig van archeologisch en artistiek materiaal, opgebouwd door verschillende laboratoria. Deze chronologieën zijn onuitgegeven:

- chronologieën van Belgische sites opgesteld door het Labo voor dendrochronologie van het KIK (FRAITURE P. *et al.*, Brussel) : © KIK-IRPA ;
- sitechronologieën uit de streek van Brussel opgesteld door het Labo. Dendro IRPA (FRAITURE P. *et al.*, Brussel) en het laboratorium van de ULiège/CEA (HOFFSUMMER P. *et al.*, Luik) in het kader van een tijdelijke samenwerking: © KIK-IRPA_ULiège/CEA of © ULiège/CEA_KIK-IRPA (afhankelijk van de verantwoordelijke van de analyse) ;
- chronologieën van Vlaamse sites opgesteld door het laboratorium van het *Flemish Heritage Agency* (HANECA K., Brussel) : © FHA ;
- chronologieën van Belgische sites gecreëerd door het Labo voor dendrochronologie van de ULiège/CEA (HOFFSUMMER P. *et al.*, Luik) : © ULiège/CEA :
 - o inclusief de chronologieën die werden gereviseerd in het kader van de doctoraatsthesis van D. HOUBRECHTS, 2005; 2008 : © ULiège/CEA(DH)
 - o inclusief de chronologieën die werden gereviseerd in het kader van de Masterthesis van A. WEITZ, 2012 : © ULiège/CEA(AW) ;
- chronologieën van sites in het noordoosten van Frankrijk opgesteld door *DendroNet* (TEGEL W., Hemmenhofen, D) : © *DendroNet* ;
- chronologieën van sites gereviseerd in het kader van het project « HistoricOaks », G.-N. LAMBERT 2006, voor Frankrijk, België en Zwitserland:
 - © *HistoricOaks* (copyrights laboratoria: L01: ULiège/CEA ; L02: Laténium ; L03: D-HEMMENHOFEN, Projet Archéologique ; L04: D-TRIER, Landesmuseum ; L05: LCE-CNRS ; L06: CEDRE ; L07: Rennes Université – CNRS ; L08: Centre Technique du Bois, Paris ; L09: Université Aix-Marseille-CNRS ; Compagnons-du-Devoir, Tours)
- individuele chronologieën afkomstig van kunstwerken opgesteld door:
 - o het Labo voor dendrochronologie van het KIK (J. VYNCKIER, P. FRAITURE, Brussel, onuitgegeven) : © KIK ;
 - o het Labo voor dendrochronologie van de ULiège/CEA, in het kader van de doctoraatsthesis van P. FRAITURE, 2007 (onuitgegeven): © ULiège/CEA(PaF).
 - o *Dendrochronological Consultancy Ltd* (I. TYERS, Retford, onuitgegeven): © TYERS.



Schematische weergave van de geografische dekking van de site- en individuele chronologieën van eik, voor West-Europa. Labo dendro, 2018 © KIK-IRPA, Brussel (achtergrondkaart: Google My Maps, 20180924)

A_QUSP_BE_FR-S-I-20170925 (634 : 2004)

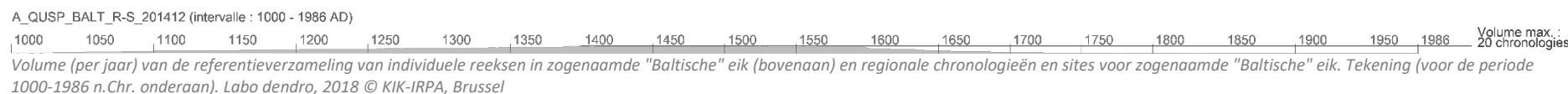
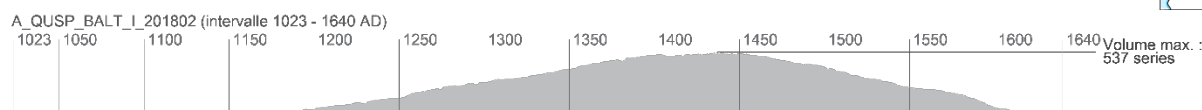


Volume (per jaar) van de referentieverzameling van site- en individuele chronologieën van eik, voor West-Europa. Labo dendro, 2018 © KIK-IRPA, Brussel

1.3. Eik: regionale chronologieën, sites en individuele reeksen, regio's van het zuiden van de Oostzee (code réf. : A_QUSP_BALT_R-S_201412 et A_QUSP_BALT_I_201809)

In de middeleeuwen importeerden veel West-Europese steden al hout als bouw materiaal uit verschillende regio's die aan de hand van archieven zouden kunnen worden in kaart gebracht: voor Brugge, bijvoorbeeld, de Ardennen, Rijn-Westfalen, de streek rond de Oostzee (Scandinavië, Oost-Pruisen en de Baltische staten) (Sossion 1977: 102-112). Het grootste voordeel dat deze regio's te bieden hebben is vooral de toegankelijkheid van de grondstof, eerder dan de kwaliteit ervan. In het bijzonder het bevaarbare waterwegennet van de Baltische landen - de Wisla, de Dvina en de zijrivieren - en de goed uitgeruste havens aan de monding van de rivieren - Danzig en Riga - maken deze regio's tot ideale locaties voor de exploitatie van hun dichte bossen. Dit is een van de redenen waarom Hanzehandelaren al in de 13^e eeuw, maar vooral in de 14^e eeuw een internationale handel in de Oostzee ontwikkelden (D'HAENNENS 1984). Samen met graan, zout, vis of bont is hout een van de vele goederen die zij vervoeren. Boomstammen worden van de bossen naar de exporthavens getransporteerd, waar ze in de steden tot halffabricaten worden verwerkt en vervolgens op schepen worden geladen. De oorsprong van deze bossen is tot op heden onduidelijk, maar het lijkt erop dat verschillende gebieden in de loop der tijd zijn geëxploiteerd, waarschijnlijk van Noord-Polen tot het huidige Rusland³⁷. Vele historische bronnen getuigen van de aanzienlijke export van Noordoostelijke eiken naar de vroegere Nederlanden in de 14^e eeuw, via de Baltische havens.³⁸ Dendrochronologie helpt dit vast te stellen aangezien de meeste dragers die onder meer door Vlaamse schilders van de 14^{de} eeuw tot het midden van de 17^{de} eeuw werden gebruikt, van dit type hout zijn gemaakt.³⁹ Het was in grote hoeveelheden verkrijgbaar en had mechanische eigenschappen die bijzonder geschikt zijn voor het verkrijgen van hoogwaardige planken.⁴⁰

De Baltische referentiebasis van het KIK bevat een dertigtal "regionale" chronologieën en sitechronologieën (457-1985) en meer dan 850 individuele reeksen afkomstig van archeologisch en artistiek materiaal. Deze laatste, niet gepubliceerde reeksen werden opgebouwd door drie laboratoria: het Labo. Dendro KIK (J. VYNCKIER, P. FRAITURE, Brussel, niet gepubliceerd) © KIK; het laboratorium van de ULiège/CEA, in het kader van de doctoraatsthesis van P. FRAITURE, 2007 (niet gepubliceerd) © ULiège/CEA(PaF) en het laboratorium *Dendrochronological Consultancy Ltd* (I. TYERS, Retford, niet gepubliceerd) © I. TYERS.



³⁷ Voor een stand van zaken, zie bijvoorbeeld ECKSTEIN D. & WROBEL S., 2007 en FRAITURE P., 2009^b.

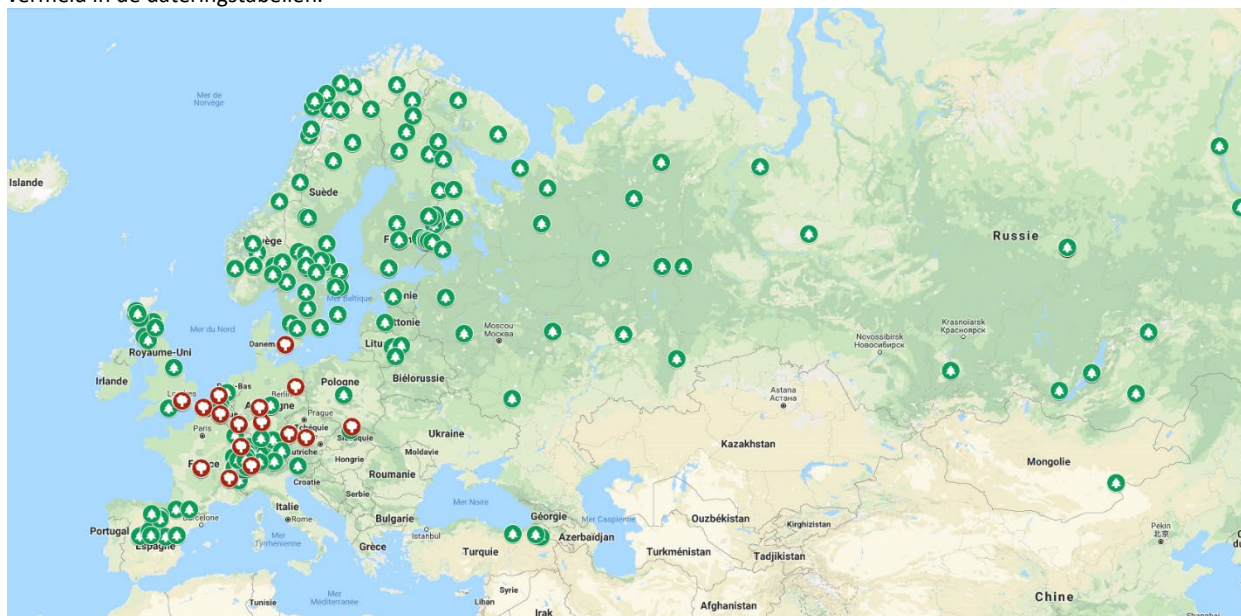
³⁸ Zie, bijvoorbeeld, BAILLIE M. G. L., 1984; TOSSAVAINEN J., 1994; ZUNDE M., 1998-1999.

³⁹ Over de ontdekking van het gebruik van het zogenaamd "Baltisch" hout in kunst door de dendrochronologie, zie BAILLIE M. G. L., HILLAM J. & BRIFFA K. R., 1985; ECKSTEIN D. *et al.*, 1986. Voor het gebruik van Baltische eik in de Vlaamse kunstwerken, zie, bijvoorbeeld, VYNCKIER J., 1992; KEMPERDICK S. & KLEIN P., 1997; FRAITURE P., 2007 en FRAITURE P., 2012. Voor een stand van zaken, zie bijvoorbeeld ECKSTEIN D. & WROBEL S., 2007 en FRAITURE P., 2007.

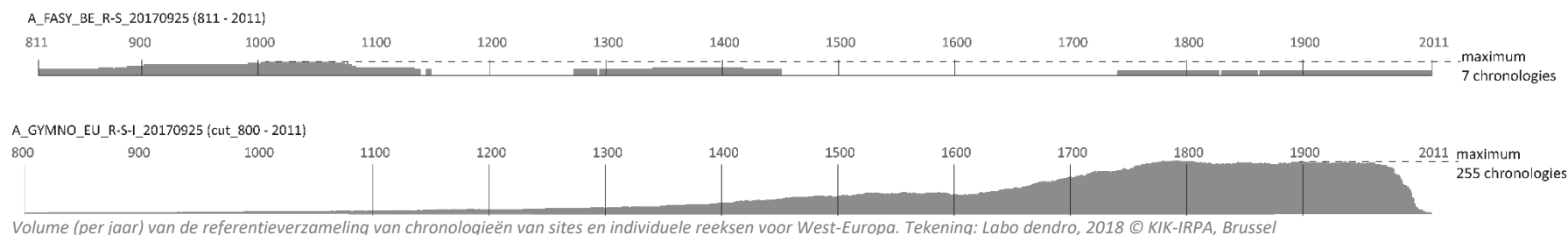
⁴⁰ Het barre klimaat in deze regio's zorgt voor langzaam groeiende bomen, die zacht hout produceren dat weinig gevoelig is voor vervorming. Bovendien zorgt de competitiviteit tussen de individuen in deze dichte bossen voor een rechte groei van eiken, een waardevolle eigenschap voor de productie van lange planken.

1.4. Beuk en naaldbomen: regionale chronologieën, sitechronologieën en individuele reeksen (referentiecodes: A_FASY_EU_R-S-I_20170925; A_GYMNO_EU_R-S-I_20180924)

De referentieverzameling van chronologieën voor **beuk** telt momenteel een dertigtal chronologieën uit West-Europa (interval 416-2011 n.Chr.). De referentieverzameling van **naaldbomen** (grove den, gewone spar, gewone zilverspar) telt er ongeveer 450 (interval 430-2011 n.Chr.) verspreid over West-Europa en in Scandinavische landen alsook enkele meer oostelijke chronologieën. Ze zijn afkomstig van levende of rechtopstaande dode bomen en van hout afkomstig van archeologisch en artistiek materiaal dat eventueel over min of meer grote afstanden werd vervoerd. Ze worden opgebouwd door verschillende laboratoria; de meerderheid is niet gepubliceerd. De laboratoria die de in dit dossier gebruikte chronologieën aanmaken, worden vermeld in de dateringstabellen.



Lokalisering van de beschikbare chronologieën voor de beuk (in het rood) en voor de naaldbomen (in het blauw). Tekening: Labo dendro, 2018 © KIK-IRPA, Bruxelles (achtergrondkaart Google My Maps, 20180924)



Bibliografie

- BAILLIE M. G. L., 1977^a. The Belfast Oak Chronology to A.D. 1001, *Tree-Ring Bulletin* 37, p. 13-20.
- BAILLIE M. G. L., 1977^b. Dublin medieval dendrochronology, *Tree-Ring Bulletin* 37, p. 13-20.
- BAILLIE M. G. L., 1977^c. An Oak Chronology for South Central Scotland, *Tree-Ring Bulletin* 37, p. 33-34.
- BECKER B., 1981. Fällungsdaten römischer Bauhölzer, anhand einer 2350 jährigen süddeutschen Eichen-Jahrringchronologie, *Fundberichte aus Baden-Württemberg* 6, p. 369–386.
- BENOIT Y. & DIROL D., 1999. *Le guide de reconnaissance des bois de France*, CTBA, Eyrolles.
- BEUTING M., 2011. Dendro-organology? The dendrochronological method applied to musical instruments, in: FRAITURE P. (dir.), *Tree Rings, Art, Archaeology*, Proceedings of the conference, Brussels, Royal Institute for Cultural Heritage, 10-12 February 2010 (*Scientia Artis* 7), Brussels, p. 273-283.
- BRIDGE M. C., 1988. The Dendrochronological Dating of Buildings in Southern England, *Medieval Archaeology* XXXII, p. 166-174.
- BROWN J. C., 1885. *Forests and forestry in Poland, Lithuania, the Ukraine, and the Baltic provinces of Russia, with notices of the export of timber from Memel, Dantzig, and Riga*, Edinbourg, 300 p.
- DELORME A., 1973. Aufbau einer Eichenjahrringchronologie für das südliche Weser und Leinebergland, *Forstarchiv* 44, p. 205–209.
- DUROST S., 2005. *Dendrochronologie et dendroclimatologie du deuxième âge du Fer et de l'époque romaine dans le Nord et l'Est de la France. Datations, Système de références et modélisations*, PhD Dissertation, Université de Franche-Comté, Besançon, 175 p.
- DUROST S. & LAMBERT G.-N., 2007. Révision dendrochronologique du Nord de la France à l'âge du Fer et du début de l'époque romaine, in : *L'âge du Fer dans l'arc jurassien et ses marges. Dépôts, lieux sacrés et territorialité à l'âge du Fer*, Actes du XXXIX^e colloque international de l'AFEAF, Bienne, 5-8 mai 2005, Besançon, Presses Universitaires de Franche-Comté, p. 19–36.
- EPAUD F., 2007. *De la charpente Romane à la charpente Gothique en Normandie. Évolution des techniques et des structures de charpenterie aux XII^e–XIII^e siècles*, Caen, 624 p.
- FRAITURE P., 2007. *Les supports de peintures en bois dans les anciens Pays-Bas méridionaux de 1450 à 1650 : analyses dendrochronologiques et archéologiques*, Thèse de doctorat, Université de Liège, 3 vol., 447 p., 347 p. et 491 fig.
- FRAITURE P., 2009a. Dendrochronological Analysis of Pre-Eyckian Paintings, in DENEFFE D., PETERS F. & FREMOUT W., *Pre-Eyckian Panel Painting in the Low Countries*, 1. *Catalogue* (Contributions to Fifteenth-Century Painting in the Southern Netherlands and the Principality of Liège), Brussel (Stroo Cyriel & Vanwijnsberghe Dominique eds), p. 47–69.
- FRAITURE P., 2009b. Contribution of dendrochronology to understanding of wood procurement sources for panel paintings in the former Southern Netherlands from 1450 to 1650, *Dendrochronologia* 27, p. 95–111.
- FRAITURE P., CREMER S., WEITZ A., 2014. *Planches de sépultures, Grand Place, Nivelles (Brabant wallon). Rapport d'analyse dendrochronologique*, P515 (N° dossier IRPA 2012.11766).
- GIRARD-CLOS O., 1999. *Dendrochronologie du Chêne (Quercus petraeae, Quercus robur), influences des facteurs stationnels et climatiques sur la croissance radiale, cas de sols hydromorphes et des climats atlantiques. Applications paléo-écologiques aux bois subfossiles du marais de Brière (Loire-Atlantique)*, Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, 377 p. et annexes.
- GROVES C., 1992. *Dendrochronological analysis of timbers from New Baxtergate, Grimsby, Humberside*, 1986, Anc Mon Lab Rep, 8/92.
- GROVES C., 2004. Dendrochronological Analysis of Timbers from Bowhill. The Archaeological Study of a Building under Repair in Exeter, in: BLAYLOCK S. R., *Devon 1977-95* (Exeter Archaeology Report Series 5), p. 243-267.
- HILLAM J. & TYERS I., 1995. Reliability and Repeatability in Dendrochronological Analysis: Tests using the Fletcher Archive of Panel-Painting Data, *Archaeometry* 37-2, p. 395-405.
- HOFFSUMMER P., 1995. *Les charpentes de toitures en Wallonie, typologie et dendrochronologie*, coll. Études et documents (Monuments et sites) 1, Ministère de la Région wallonne, Liège et Namur, 173 p.
- HOFFSUMMER P. (dir), 2002. *Les charpentes du XI^e au XIX^e siècle. Typologie et évolution en France du Nord et en Belgique*, Centre des Monuments Nationaux/Monum, Editions du Patrimoine, Paris, 376 p.
- HOLLSTEIN E., 1965. Jahrringchronologische Datierung von Eichenhölzern ohne Waldkante, *Bonner Jahrbücher* 165, p. 11–27.
- HOLLSTEIN E., 1980. *Mitteleuropäische Eichenchronologie, Trierer dendrochronologische Forschungen zur Archäologie und Kunstgeschichte*, Trierer Grabungen und Forschungen, Rheinisches Landesmuseum Trier 11, Mainz am Rhein, 273 p.

- HOUBRECHTS D., 2005. *Le logis en pan-de-bois à Liège et dans les villes du bassin de la Meuse moyenne (1450-1650) : approches archéologique et dendrochronologique*, Thèse de doctorat, Université de Liège, 284 p.
- HOUBRECHTS D., 2008a. *Le logis en pan-de-bois dans les villes du bassin de la Meuse moyenne (1450-1650)* (Dossiers de la Commission Royale des Monuments, Sites et Fouilles 12), Liège, 314 p.
- HOUBRECHTS D., 2008b. Villes et pans-de-bois, *Carnets du Patrimoine* 44, 32 p.
- HUNOT J.-Y., 2001. *L'évolution de la charpente de comble en Anjou, du XII^e au XVIII^e siècle* », Patrimoine d'Anjou : études et travaux 1, Angers.
- JANSMA E., 1995. *Remember Rings. The Development and Application of Local and Regional Tree-ring Chronologies of Oak for the Purposes of Archaeological and Historical Research in the Netherlands*, Thèse publiée (Nederlandse archeologische rapporten, 19), 114 p.
- KAENNEL M. & SCHWEINGRUBER F. H., 1995. *Multilingual Glossary of Dendrochronology. Terms and Definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese and Russian*, Berne, Stuttgart, Vienne, 467 p.
- LAMBERT G.-N., LAVIER C., PERRIER P. & VINCENOT S., 1988. Pratique de la dendrochronologie, *Histoire et Mesure* 3/3, p. 279-308
- LAMBERT G.-N., DUROST S. & CUAZ J., 2005. 2500 years from dendrochronology back to historic french human biotopes. Concerned trees: low altitude oaks, in HEINRICH I. & MONBARON M. (ed.), *Annual conference on Tree Ring, Climate, Archaeology and Environment (TRACE)*, Fribourg, 21-23 April 2005, Association for Tree Ring Research (ATR), Actes, vol. 4, p. 244-264.
- LAMBERT G.-N., 2006. *Dendrochronologie, histoire et archéologie, modélisation du temps. Le logiciel Dendron II et le projet Historic Oaks*, Thèse de doctorat (Habilitation à Diriger les Recherches), Université de Franche-Comté, 2 vol., 151 p. et 206 p.
- LAMBERT G., BERNARD V., DUPOUEY J.-L., FRAITURE P., GASSMANN P., GIRARDCLOS O., LEBOURGEOIS F., LE DIGOL Y., PERRAULT C. & TEGEL W., 2010. Dendrochronologie et dendroclimatologie du chêne en France. Questions posées par le transfert de données de bois historiques vers la dendroclimatologie, *EDYTEM* 11, p. 197-208.
- LAMBERT G.-N., 2011. Dendrochronology, archaeology and science, in: FRAITURE P. (dir.), *Tree Rings, Art, Archaeology*, Proceedings of the conference, Brussels, Royal Institute for Cultural Heritage, 10-12 February 2010 (*Scientia Artis* 7), Brussels, p. 19-30.
- PERRAULT C. & GIRARDCLOS O., 2000. *Essai de datation par dendrochronologie de bois provenant de fouilles anciennes de la région Auvergne*, Revue d'Auvergne 114 : Nouvelles archéologiques. Du terrain au laboratoire..., ALLIANCE Universitaire d'Auvergne, Clermont-Ferrand, p. 35-59.
- PILCHER J. R., 1987. A 700 Year Dating Chronology for Northern France, *Applications of Tree-ring Studies. Current Research in Dendrochronology and Related Subjects* (British Archaeological Reports, International Series 333), Oxford, p. 127-139.
- TYERS I. & PARSONS I., 2010. *Peterborough Cathedral Precinct Doorway. Peterborough Cambridgeshire. Dendrochronological and Radiocarbon Analysis of an Oak Door*, English Heritage, Research Department Report Series 27-2010, 20 p.
- RYBNÍČEK M., VAVRČÍK H. & HUBENÝ R., 2006. Determination of the Number of Sapwood Annual Rings in Oak in the Region of Southern Moravia, *Journal of forest science* 52 (3), p. 141-146.
- WEITZ A. et GERRIENNE Ph., *Verslag van identificatie van houtsoort: ID047*, KIK-IRPA – Ulg, 03 août 2017 (inédit).
- YAMAGUCHI D.K., 1986. *Interpretation of cross correlation between tree-ring series*, Tree-Ring Bulletin 46, p. 47-54.