

De ARCHI-methode toegepast op aftakelende zomereiken

CHRISTOPHE DRÉNOU¹, IDF; MARINE BOUVIER, CRPF BRETAGNE; JEAN LEMAIRE, IDF
VERTALING: TOM JOYE, INVERDE

Hoe zie je welke eiken in een bosbestand het best zullen reageren op stress? Hoe beoordeel je in een vroeg stadium of de aftakeling van bomen omkeerbaar of onomkeerbaar is? Dat kan nu dankzij de ARCHI-methode.

Dit artikel is gebaseerd op onderzoek dat uitgevoerd werd tijdens het project 'Atlantische eikenbestanden en klimaatverandering: begrijpen en handelen' (Les chênaies atlantiques face aux changements climatiques: comprendre et agir, Lemaire et al., 2010) en werd uitgewerkt in een ingenieursthesis (ENITA Bordeaux – Bouvier, 2010). De hier voorgestelde ARCHI-methode laat bosbeheerders toe om de veerkracht van zomereiken na een stresssituatie te beoordelen. Zo kunnen objectievere beheerkeuzes gemaakt worden, bijvoorbeeld bij het aanduiden van toekomstbomen of dunningen.

De principes van de ARCHI-methode

De naam van de methode is afgeleid van het woord architectuur, maar wat is plantenarchitectuur eigenlijk? De studie van de architectuur van een organisme is gebaseerd op een morfologische analyse van het

Leer je bomen lezen om ze beter te beheren

volledige bovengrondse deel van dat organisme. Daarbij beschrijf je *in situ* het geheel van de voornaamste structuren van de plant. Door de architectuur van planten in verschillende ontwikkelingsfasen te vergelijken, kan de groeidynamiek van een plantensoort afgeleid worden. Deze methode wordt vaak gebruikt voor bomen omdat ze relatief traag groeien en het volgen van de ontwikkeling van één individu zeer tijdrovend is. Door bomen in verschillende leeftijdsklassen en verschillende groeiomstandigheden te bestuderen, kan de optimale ontwikkeling voor een bepaalde boomsoort beschreven worden en kunnen we de invloed van limiterende omgevingsfactoren op de ontwikkeling leren begrijpen. De architecturale benadering van bomen toont dat de meeste loofboomsoorten zich ontwikkelen volgens de strategie van 'opeenvolgende re-iteraties' (herhalingen). Volgens een voorspelbare opeenvolging dupliceren ze de architectuur van hun jeugdfase, waarna ze uit twee delen bestaan: een stam die overeenkomt met de jonge spil, na secundaire groei en verlies van de zijtakken, en een kroon die bestaat uit zware gesteltakken die de stam 'herhalen'. Elke gesteltak bestaat op

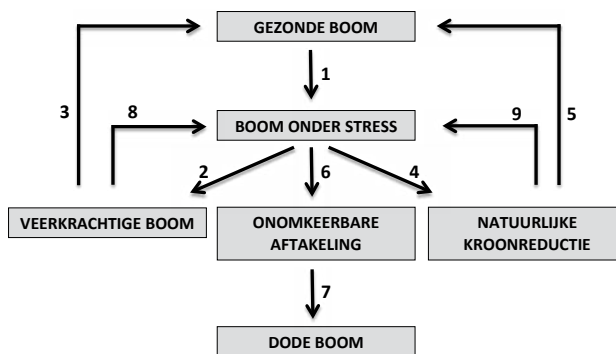
zijn beurt uit herhalingen om zo uiteindelijk steeds meer en steeds kleinere takken te vormen tot bovenin de kroon. Gedurende deze genetisch geprogrammeerde ontwikkeling veroorzaakt elke onvoorziene verstoring (droogte, takbreuk, plaaginsecten, een sterke dunning, ...) de verschijning van nieuwe structuren op ongebruikelijke plaatsen: scheuten langsheen de hele stam, bosjes twijgen rondom wonden, stamvoetopslag, ... Dit zijn allemaal waterloten. Ze spelen een cruciale rol in de fysiologische aanpassing van bomen aan stress. Boomsoorten die geen waterloten kunnen vormen, zoals veel dennen bijvoorbeeld, hebben een reële handicap om afgebroken of aftakelende takken te vervangen. Tot op vandaag werd de aanwezigheid van waterlot volledig genegeerd bij een visuele beoordeling van bomen, werd hun beoordeling als facultatief aanzien of werd hun aanwezigheid zelfs volledig tegengesteld geïnterpreteerd. Het klopt dat een boom die onder de waterloten zit een indruk geeft van grote morfologische verwarring, maar architecturale analyse toont aan dat er verschillende routes mogelijk zijn voor zijn verdere ontwikkeling, afhankelijk van vele factoren: de boomsoort, de fysiologische

uitgangsconditie van de boom, de aard van de stress, ... Zo worden vijf architecturale types onderscheiden:

- De gezonde boom, vóór de stress: type ARCHI Sain (gezond in het Frans)
- De boom onder stress: type ARCHI S
- De veerkrachtige boom, die stress te boven komt en uiteindelijk weer gezond wordt: type ARCHI R (voor 'résilient', veerkrachtig in het Frans)
- De boom met natuurlijke kroonreductie, die een secundaire kroon vormt: type ARCHI D (voor 'descente de cime', kroonreductie in het Frans)
- De boom die geblokkeerd is in een staat van onomkeerbare aftakeling: type ARCHI I (voor 'irréversible', onomkeerbaar in het Frans)

Als een boom onderworpen wordt aan stress (pijl 1), dan vertoont hij symptomen ter hoogte van de verschillende organen (bladeren, wortels, schors, ...), maar ook in zijn globale architectuur. Verwar de symptomen gelinkt aan aftakeling (verarmde vertwijging, afstervende takken, ...) niet met de symptomen die het resultaat zijn van de verdedigingsmechanismen van de boom (wondovergroeiing, waterlot). De eerste symptomen wijzen op een fysiologische degradatie, de tweede zijn reparatiemechanismen. Afhankelijk van de aard van de stress en de oorspronkelijke conditie van de boom kan deze zich volgens verschillende pistes (routes) ontwikkelen. De piste van de veerkracht slaat op een terugkeer naar de gezonde staat, na een fysiologische en morfologische herstelfase. Deze veerkracht kan leiden tot het herstel van de oorspronkelijke kroon (pijlen 2 en 3), maar ook, zeker in open bos of in open landschappen, tot de ontwikkeling van een secundaire kroon en het geleidelijke verlies van de bovenkroon (natuurlijke kroonreductie, pijlen 4 en 5). Uiteraard kunnen de veerkrachtige bomen en de bomen

met natuurlijke kroonreductie ook het slachtoffer zijn van een tweede stressfactor (pijlen 8 en 9). De doodlopende piste geeft bomen die ofwel onomkeerbaar geblokkeerd zijn in een staat van vertraagde groei ofwel omwille van algehele verzwakking op weg zijn naar een onvermijdbare dood (pijlen 6 en 7).



Figuur 1

Deze typologie werd al toegepast op verschillende sierboomsoorten (Drénou, 2009) en op tamme kastanje (Pavie *et al.*, 2008). Om de vijf ARCHI-types bij zomereik te herkennen, moet de observator de volgende stappen nemen.

Stap 1: takken onderscheiden van waterlot en hun vertwijging evalueren

Een tak is een vertakte structuur die zich elk jaar ontwikkelt uit knoppen die tijdens het vorige groeiseizoen gevormd werden. Het moment waarop en de plaats waar takken verschijnen zijn voorspelbaar. Waterlot is een scheut die verschijnt op de stam of op een tak vanuit een knop die meer dan één jaar latent (slappend) gebleven is. Het moment van verschijning van waterlot is onvoorspelbaar. Bij eik zijn de slapende knoppen die aan de basis liggen van waterlot allemaal preventief (oorspronkelijk gevormd in een bladoksel), ze kunnen minstens 40 jaar actief blijven, net onder de schors (Fontaine *et al.*, 2002). Verschillende morfologische kenmerken laten toe om waterlot van takken te onderscheiden. Doordat ze later verschijnen op bestaande

takken, behouden waterloten gedurende lange tijd (ongeveer 15 jaar) een juveniel schorspatroon dat duidelijk verschilt van de tak of stam waarop ze ingeplant zijn. De schors van een tak daarentegen gaat over in het schorspatroon van de tak of stam waarop hij is ingeplant. In een takoksel is een zogenaamde bastrochel te zien en aan de takbasis ontwikkelt zich een takkraag. Waterloten daarentegen hebben een karakteristieke aanhechting met de tak waarop ze zich ontwikkelen, die een oppervlakkige en zwakke vergroeiing laat vermoeden. Als waterloten zich ontwikkelen op takstompen vormen ze een hoek met de tak waarop ze staan.

De vertwijging van waterloten en takken is identiek. Een vertakende as geeft zijassen die verschillen van de hoofdas: de primaire as ontwikkelt secundaire assen, die op hun beurt twijgen vormen, waarop dan weer lang- of kortloten gevormd worden. Deze opeenvolging van assen is niet eindeloos: bij zomereik zijn er nooit meer dan vier vertwijgingsniveaus. Een vertwijging bij zomereik heet 'normaal' te zijn als die vier niveaus aanwezig zijn en als de hoofdas zeer dominant is. Ze wordt echter als 'verarmd' aanzien als de hoofdas onmiddellijk lang- of kortloten draagt (zonder tussenliggende secundaire assen).

Stap 2: orthotrope, plagiotrope en ageotrope waterloten onderscheiden

De groeirichting van waterloten laat toe om drie verschillende types te onderscheiden. Orthotrope waterloten (van het Grieks 'orthos': recht en 'tropos': richting) groeien verticaal en reproduceren de architectuur van een jonge eik. Deze waterloten vertonen duidelijke juveniele kenmerken: polycyclisme (de vorming van meerdere scheuten gedurende één groeiseizoen), ontbreken van bloei, sterke lengte- en diktegroei, grote bladeren, ...



Figuur 2 Voorbeeld van veerkracht bij een zomereik in het Franse departement Orne. De linkerfoto dateert van 1895, de rechterfoto, van dezelfde boom, werd genomen in 1981.

Plagiotrope waterloten (van het Grieks ‘plagios’: schuin en ‘tropos’: richting) groeien horizontaal tot schuin en reproduceren de architectuur van jonge takken. Ze hebben ook juveniele kenmerken, met het behoud van verdroogd blad tijdens de herfst en winter als meest opvallende kenmerk.

Ageotrope waterloten (van het Grieks ‘a’: zonder, ‘geo’: aarde en ‘tropos’: richting) hebben geen bevoorrechte groeirichting en kunnen zelfs naar beneden groeien. Ze hebben de kenmerken van een hoge leeftijd: grillige vorm, verarmde vertwijging, geen polycyclisme en soms voortijdige bloei (al vanaf het derde jaar). In tegenstelling tot orthotrope en plagiotrope waterloten, die een onbeperkte levensduur hebben, leven ageotrope waterloten zelden langer dan vijf jaar. Ze sterven af en vernieuwen zichzelf op hetzelfde inplantingspunt, wat leidt tot karakteristieke bundels van ageotrope scheuten. Binnen de waterloten op eenzelfde boom bestaat er een variabele mate van hiërarchie. Er kan veel hiërarchie zijn als enkele waterloten dominant worden, andere gedomineerd blijven en alle waterloten samen een gestructureerd geheel vormen. Maar

er kan ook weinig of geen hiërarchie aanwezig zijn, waarbij alle waterloten identiek zijn en op hetzelfde sociale niveau blijven.

De morfologische verschillen tussen de drie types waterlot hebben een directe link met de mogelijke ontwikkelingsdynamiek van een eik na een stresssituatie. Orthotrope waterloten hebben als enige de capaciteit om dode of aftakelende takken in de bovenkroon te vervangen. Dit proces is vergelijkbaar met de reactie van een boom op snoei. Een overwicht van plagiotrope waterloten wijst op een terugtrekkende beweging, wat kan leiden tot de vorming van een nieuwe, lagere, secundaire kroon (proces van natuurlijke kroonreductie). De aftakeling is onomkeerbaar als de gevormde waterloten hoofdzakelijk ageotroop zijn.

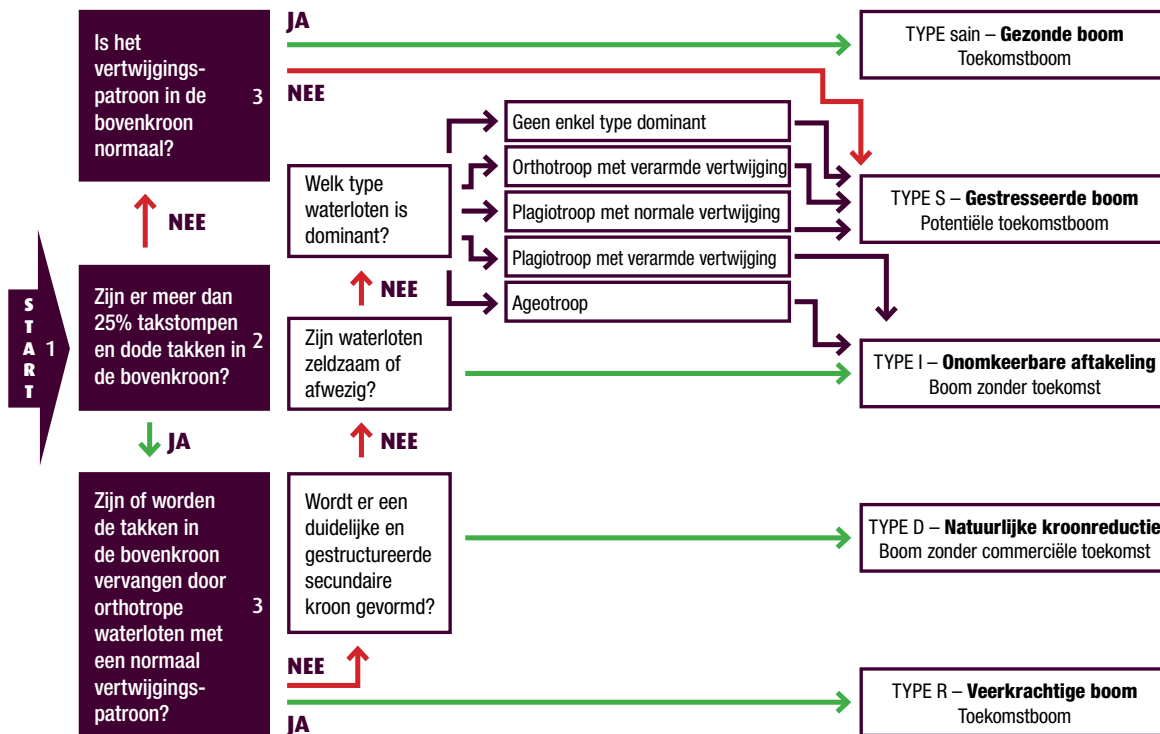
Stap 3: de ARCHI-methode gebruiken

De combinatie van verschillende architecturale indicatoren, waarvan er twee verwijzen naar de takken in de bovenkroon (mortaliteit, vertwijging) en drie naar de waterloten (groeirichting, vertwijging en hiërarchie), heeft toegelaten om een winterterminatiesleutel op te maken voor de verschillende ARCHI-types. Deze

sleutel werd uitvoerig getest en verbeterd tijdens veldoefeningen met professionele bosbouwers (zie hieronder voor de sleutel). De sleutel leidt de gebruiker naar vijf uitgangen, één per ARCHI-type. Merk op dat de ARCHI-sleutel niet toelaat om de oorzaak achter de aftakeling van een boom te identificeren, noch om verschillen in ontwikkeling (veerkracht of sterfte) tussen bomen op één locatie te verklaren. De sleutel laat enkel toe om het reactiepotentieel van aftakelende eiken te voorspellen.

Omwille van de moeilijke observatie, zelfs met een verrekijker, worden weinig indicatoren kwantitatief benaderd. Er werd een drempelwaarde vastgelegd voor de mortaliteit van takken en takstompen in de bovenkroon (enkel takken dikker dan 3 cm worden meegeteld). De inschatting van het dominante type waterlot (orthotroop, plagiotroop of ageotroop) gebeurt in percent van de totale ruimte ingenomen door waterlot: het type dat meer dan 50% van de ruimte inneemt, wordt als dominant beschouwd. Training is aangewezen voor het gebruik van de sleutel. Er is ongeveer drie minuten tijd nodig om één boom te beoordelen.

Figuur 3 Wintersleutel voor ARCHI-types bij zomereik. Cijfers verwijzen naar onderstaande tekst.

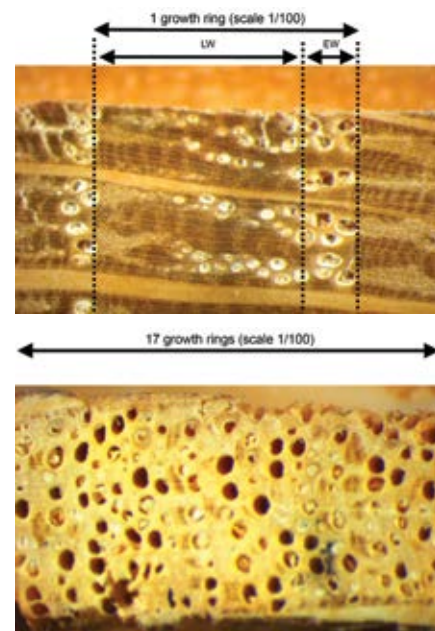


1. Ga, indien mogelijk, op een afstand staan die minstens gelijk is aan de hoogte van de boom. Wandel rond de boom en kies de kijkhoek die het meest positieve beeld oplevert van de fysiologische reactie op stress ('bekijk de boom van zijn beste kant'). Observeer de boom met een verrekijker.
2. Een takstomp is een afgebroken tak. Neem enkel takken en niet-overgroeide takstompen dikker dan 3 cm in overweging om de mortaliteit te beoordelen. De mortaliteit wordt enkel beoordeeld in de takken in de bovenkroon, vrij van competitie.
3. Normale vertwijging is het gemakkelijkst te herkennen door te vergelijken met andere, gezonde bomen in de onmiddellijke omgeving van de observator. Let op dat je geen zomereiken met wintereiken vergelijkt: wintereik heeft een normaal vertwijgingspatroon dat veel minder dicht is dan dat van zomereik.
4. De secundaire kroon is gestructureerd als er een sterke hiërarchie is tussen de waterloten.
5. Neem op dit punt van de sleutel de hele kroon in overweging.
6. Een type waterlot is dominant als het meer dan 50% inneemt van alle ruimte ingenomen door waterloten.

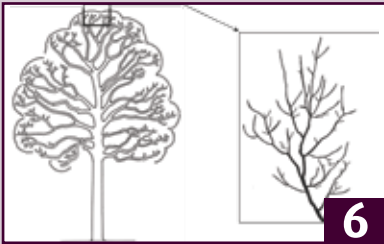
Validering van de ARCHI-methode

Uit 41 eikenbestanden werden diegene geselecteerd met één of meer zomereiken van ARCHI-type R (veerkrachtig) en één of meer zomereiken van ARCHI-type I (onomkeerbare aftakeling). Alle eiken waren dominant en van dezelfde leeftijdsklasse (80-100 jaar). Zo werden 19 groepen van gekoppelde bomen geïdentificeerd: één of meer veerkrachtige eiken en één of meer onomkeerbaar aftakelende eiken binnen hetzelfde bestand. Door van elk type telkens bomen binnen eenzelfde bestand te selecteren, worden omgevingsinvloeden met een invloed op diktegroei (groeiplaats, bosbeheer,...) zoveel mogelijk geminimaliseerd. Van de geselecteerde bomen werd een boorkern genomen voor dendrochronologisch onderzoek. De dendrochronologische analyse van meer dan 3600 jaarringen werd uitgevoerd in samenwerking met INRA in Toulouse.

De analyse van de jaarringen tussen 1970 en 2009 leverde acht 'kritieke jaren' op met een forse terugval van de diktegroei (1974, 1976, 1981, 1989, 1990, 1996, 2004 en 2009). Met uitzondering van 1981 komen al deze jaren overeen met sterke droogteperiodes. De jaarring gevormd tijdens een kritiek jaar was duidelijk smaller dan de jaarringen gevormd tijdens de omliggende jaren, ongeacht het architectuurtype van de boom. In de periodes tussen de kritieke jaren verschijnen vanaf 1996 zeer significante verschillen tussen bomen van type R en type I. De bomen van type R slagen erin om een gemiddelde jaarringbreedte van 2 mm te herstellen na een droog, kritiek jaar, terwijl de bomen van type I een diktegroeiachterstand opbouwen en er niet meer in slagen om hun gemiddelde jaarringbreedte boven 0,9 mm te krijgen.



Figuur 4 (boven): 1 jaarring van een eik van type R (veerkrachtig) en figuur 5 (onder): 17 jaarringen van een eik van type I (onomkeerbare aftakeling). Beide foto's zijn op dezelfde schaal.



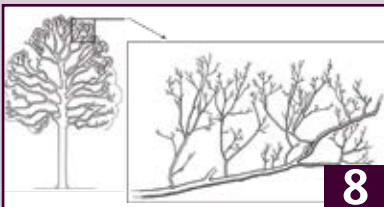
6: Morfologie van de hele boom en detail van een tak uit de bovenkroon met normale vertwijging.

Type ARCHI sain (gezond): normale vertwijging in de bovenkroon, met weinig of geen mortaliteit in de kroon. De gezonde eik heeft recent geen stress ondergaan die zwaar genoeg was om tot een veranderde architectuur te leiden. Deze bomen vormen de referentie voor de analyse van de andere ARCHI-types. In sommige streken zijn bomen van het type ARCHI sain zeldzaam omwille van groeiomstandigheden en bosbouwmaatregelen die ongunstig zijn voor zomereik.

Merk op dat ook zomereiken van het type ARCHI sain altijd wat waterloten hebben. Deze waterloten spelen een belangrijke rol tijdens hittegolven. Waterloten die in de schaduw groeien, kunnen doorgaan met fotosynthese terwijl die stopt in bladeren in volle zon.



7: Type ARCHI sain: gezonde boom

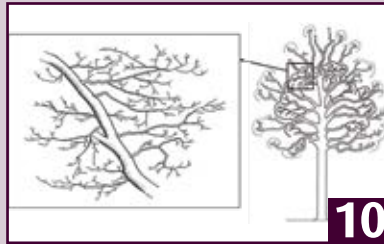


8: Morfologie van de hele boom (waterlot in vet) en detail van een tak met orthotrope waterloten.

Type ARCHI R (veerkrachtig): dode takken en takken met verarmde vertwijging zijn of worden vervangen door orthotrope waterloten met normale vertwijging. Deze waterloten hebben gewoonlijk een onderlinge hiërarchie. Bij uitblijven van bijkomende stressfactoren evolueren type R-bomen (veerkrachtig) terug naar bomen van type sain (gezond). De diktegroei herstelt zich na een periode met verminderde diktegroei. Een veerkrachtige eik is mogelijk een toekomstboom, op voorwaarde dat de stam van goede kwaliteit is en dat de groeiplaats geschikt is om kwaliteitshout te produceren.



9: Type ARCHI R: veerkrachtig



10: Morfologie van de hele boom (waterloten in vet) en detail van een tak met plagiotrope waterloten.

Type ARCHI D (natuurlijke kroonreductie): de eik heeft dode takken in de bovenkroon, maar daaronder vormt zich een duidelijke en gestructureerde secundaire kroon. Deze secundaire kroon wordt gewoonlijk gevormd door veel plagiotrope waterloten met normale vertwijging en met een sterke onderlinge hiërarchie. ARCHI-type D-bomen komen vaak voor in minder dichte opstanden en als vrijstaande boom. Nadat de afgestorven takken in de bovenkroon afvallen, kunnen deze bomen terug in type sain terecht komen, zij het minder hoog (door verlies van de bovenkroon is de boom lager geworden) en doorgaans zonder commerciële toekomst, omwille van waterloten op de stam.



11: Type ARCHI D: natuurlijke kroonreductie

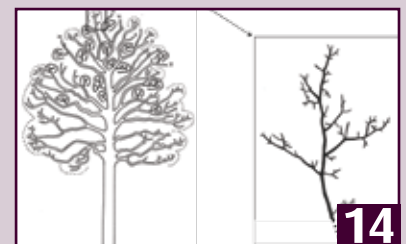


12: Morfologie van de hele boom en detail van een tak met ageotrope waterloten.

Type ARCHI I (onomkeerbare aftakeling): mortaliteit in de bovenkroon, terwijl waterloten in de binnenkroon ofwel zeldzaam zijn ofwel talrijk, maar verspreid en overwegend ageotroop. Soms zijn de waterloten plagiotroop, maar dan met weinig hiërarchie en verarmde vertwijging. Type ARCHI I komt overeen met een geblokte situatie: de waterloten zijn niet in staat om de aftakelende structuren te vervangen, dus de boom herstelt zich niet. Anderzijds kan de boom soms meerdere jaren in deze 'vertraagde' toestand verder leven alvorens af te sterven. Verminderde bladmassa, verminderde jaarringbreedte, verminderde reserves: de situatie is onomkeerbaar. Een eik van type ARCHI I kan nooit een toekomstboom zijn.



13: Type ARCHI I: onomkeerbare aftakeling



14: Morfologie van de hele boom en detail van een tak met verarmde vertwijging. Waterloten zijn vet getekend, let op hun lage mate van hiërarchie.

Type ARCHI S (stress): de kroon vertoont tekenen van aftakeling in de bovenste takken (mortaliteit of verarmde vertwijging) en vormt waterloten lager op de takken zonder onderlinge hiërarchie. Het is niet mogelijk om een uitspraak te doen over de toekomst van de boom. Ofwel is de stress te recent ofwel volstaat de methode niet om de toekomst van de boom te voorspellen. Soms volgt de stress op een eerdere toestand van stress die de boom te boven was gekomen, waardoor nu ook eerder gevormde waterloten onder stress komen. In elk geval is het noodzakelijk om de evolutie van bomen van type ARCHI S verder op te volgen alvorens uitspraak te doen over hun toekomstpotentieel.



15: Type ARCHI S: stress

Conclusie en vooruitblik

Er zijn drie voordelen aan de ARCHI-methode. Observatie van de bomen gebeurt in de winter, wanneer het zicht op de kroon niet belemmerd wordt door bladeren, zowel in de eigen kroon als in de onderetage. Doordat aan de hand van de ARCHI-methode het omkeerbare of onomkeerbare karakter van aftakeling kan voorspeld worden, verandert de observatie van waterloten van een statische diagnose van de huidige conditie van de boom in een prognose van het toekomstpotentieel. Tot slot heeft de analyse van jaarringbreedtes aangetoond dat de architecturale indicatoren die gebruikt zijn bij zomereik goede indicatoren zijn voor de fysiologische staat van de boom.

De ARCHI-methode bevestigt de fundamentele rol van waterlot in het overleven van aftakelende eiken. Sommige waterloten zijn een echte 'levensverzekering' (orthotrope en plagiotrope waterloten), terwijl andere vergeleken kunnen worden met een 'doodsreutel' (ageotrope waterloten). De ontwikkeling van deze methode kan in twee richtingen verdergezet worden: dit type van architecturale analyse kan uitgebreid worden naar andere boomsoorten, zowel verwante soorten (wintereik, zachte eik) als niet-verwante soorten (coniferen); klimatologische en pedologische (bodem)factoren kunnen geïntegreerd worden in de ARCHI-methode, wat zou toelaten om aan bosbeheerders een instrument aan te reiken om de individuele bomen die moeten verwijderd worden te selecteren zonder te moeten wachten op de selectie door extreme klimatologische omstandigheden en de daaropvolgende aftakeling. Dit is de uitdaging voor het vervolg van dit project.

Definities

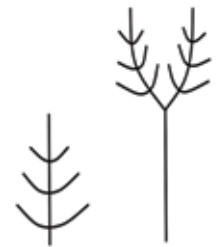
Natuurlijke kroonreductie / secundaire kroon

Natuurlijke kroonreductie is een proces waarbij bomen als reactie op een stressfactor niet langer investeren in delen van hun originele kroon (doorgaans de bovenste delen), maar een nieuwe, gestructureerde secundaire kroon opbouwen uit waterloten lager op de stam en gesteltakken. Na verloop van tijd neemt de secundaire kroon het volledig over en sterven de originele kroondelen af. Dit is een typisch verschijnsel bij bomen in de veteraanfase, maar kan ook bij jongere bomen voorkomen.

Figuur 16 Kroonreductie bij een relatief jonge eik. >

Re-iteratie

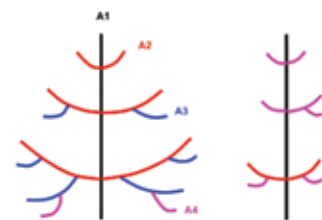
Re-iteratie is een term uit de kroonarchitectuur bij bomen en slaat op herhaling. De meeste loofboomsoorten bouwen hun kroon op door hun basismodel steeds opnieuw te herhalen en zogenaamde re-iteraties te vormen. Daarbij splitst de hoofdas (de jonge stam) zich op een gegeven moment in twee gelijkwaardige delen, die elk apart het basismodel van de jonge boom herhalen: een dominante top met liggende zijtakken en daarop twijgen en kortloten. Na verloop van tijd gaat elk van die re-iteraties zich opnieuw herhalen. Zo wordt geleidelijk een kroon opgebouwd die bestaat uit opeenvolgende vorken.



Figuur 17 Schematische voorstelling van re-iteratie bij een jonge boom (rechts), herhaling van het basismodel (links).

Verarmde vertwijging

Bij een normale vertwijging is er een duidelijke hiërarchie tussen een tak en alle zijtakken en twijgen: op de hoofdas (A1) staan zij-assen (A2), waarop op hun beurt de twijgen en/of kortloten van niveau A3 en A4 staan (maximaal vier niveaus bij zomereik). Bij een normale vertwijging heeft een tak het uitzicht van een kerstboompje. Bij een verarmde vertwijging vallen er één of meerdere niveaus weg en staan A4- of A3-assen rechtstreeks op de hoofdas ingeplant, wat resulteert in de aanblik van een flessenborstel. Verwar een normale vertwijging niet met een hoge dichtheid aan twijgen. De afstand tussen zij-assen is vooral gerelateerd aan de groeisnelheid.



Figuur 18 Schematische voorstelling van normale (links) en verarmde (rechts) vertwijging.

Een eik van type ARCHI I kan nooit een toekomstboom zijn



Referenties

- Bouvier, M. (2010). Mise en place d'un protocole de pronostic visuel de la capacité de réaction au dépérissement du chêne pédonculé. Unpublished MSc thesis, ENITA, Bordeaux.
- Bréda, N. (1998). Analyses retrospectives de la croissance radiale des chênes de la forêt domaniale de la Hart (haut-Rhin) (Scientific Report). ONF/INRA.
- Colin, F., Fontaine, F., Verger, S., & François, D. (2010). Gourmands et autres épïcormiques du chêne sessile - Mise en place sur les troncs, dynamique et contrôle sylvicole. *Rendez-vous techniques de l'ONF, hors-série n° 5 « Sylviculture des chênaies dans les forêts publiques françaises »*, 45-55.
- Drénou, C. (2009). Face aux arbres, apprendre à les observer pour les comprendre. Paris: Ulmer.
- Drénou, C., Bouvier, M., & Lemaire, J. (2012). Rôles des gourmands dans la résilience des chênes pédonculés dépérissants. *Forêt Wallonne*, 116, 42-55.
- Fanget, G. (1998). Etude méthodologique d'appréciation détaillée des symptômes de dommages forestiers sur des placettes de suivi des écosystèmes forestiers et sur quelques massifs dépérissants, pour trois essences feuillues (le chêne sessile, le chêne pédonculé et le hêtre). Unpublished MSc thesis, FIF-ENGREF, Paris.
- Fontaine, F., Jarret, P., & Druelle, J.L. (2002). Étude et suivi des bourgeons épïcormiques à l'origine des gourmands chez le chêne sessile. *Revue forestière française*, LIV-4, 337-356.
- Gauquelin, X. (ed.). (2010). Des forêts en crise sanitaire: guide de gestion. ONF-IDF.
- Lemaire, J. (2010). Le chêne autrement: produire du chêne de qualité en moins de 100 ans en futaie régulière, Guide technique. Paris: CNPF/IDF.
- Lemaire, J., Lacouture, Y., Soleau, M., Weben, C., Mounier, M., & Guyon A. (2010). Les chênaies atlantiques face aux changements climatiques globaux: comprendre et agir. *Forêt-entreprise*, 191, 50-53.
- Pavie, A., Bruno, E., Dumé, G., Drénou, C., Lemaire, J., & Torre, F. (2008). Guide des sylvicultures du châtaignier en Castagniccia. Ajaccio: CETEF-CRPF de Corse.
- Vincke, C. (2003). Approche écophysiological des flux d'eau au sein d'une chênaie pédonculée dépérissante sur sol à régime hydrique alternatif. Unpublished PhD thesis, Université Catholique de Louvain.



Figuur 19
Normale vertwijging bij zomereik.



Figuur 20
Verarmde vertwijging bij zomereik.

Dankwoord

Het project 'Atlantische eikenbestanden en klimaatsverandering: begrijpen en handelen' (Les chênaies atlantiques face aux changements climatiques: comprendre et agir) werd gefinancierd door de Europese Unie, de Franse rijksoverheid en de regionale overheden van Normandië, Bretagne, Pays de la Loire, Île-de-France Centre, Poitou-Charentes, Aquitaine en Midi-Pyrénées. Wij willen graag volgende mensen bedanken: Bruno Jacquet (CRPF Centre); Yves Lacouture (CETEF Charente); Arnaud Guyon, Marc Mounier and Jean-Marc Demené (CRPF Poitou-Charentes); Maël Soleau; Christian Weben (CRPF Pays de la Loire); Grégory Sajdak (IDF Toulouse); Laurent Burnel, Alain Cabanetes en Jérôme Willm (INRA Toulouse).

Dit artikel werd oorspronkelijk in het Frans gepubliceerd in *Forêt-entreprise* n°200 (september 2011), IDF, 47 rue de Chaillot, 75116 Paris als 'La methode de diagnostic ARCHI – Application aux chênes pédonculés dépérissants'. Deze Nederlandse vertaling verscheen eerder in *Bosrevue* 57.