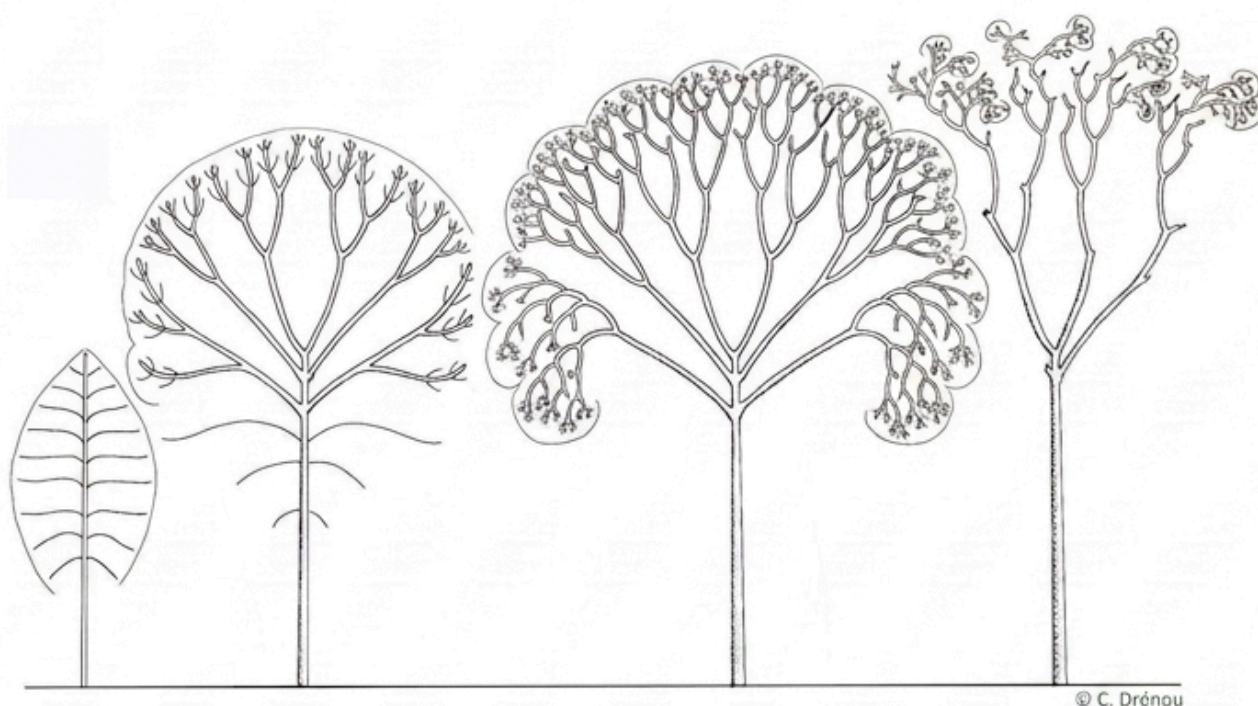


Forfattere: Tom Joye^a, Christophe Drénou^b, David Restrepo^c

- a. Natuurinvest/Inverde, Bruxelles, Belgien
- b. Centre National de la Propriété Forestière (CNPF), Institut pour le développement forestier (IDF), Toulouse, Frankrig
- c. Ville de Paris, Frankrig

✉ tom.joye@vlaanderen.be

Introduktion til træarkitektur

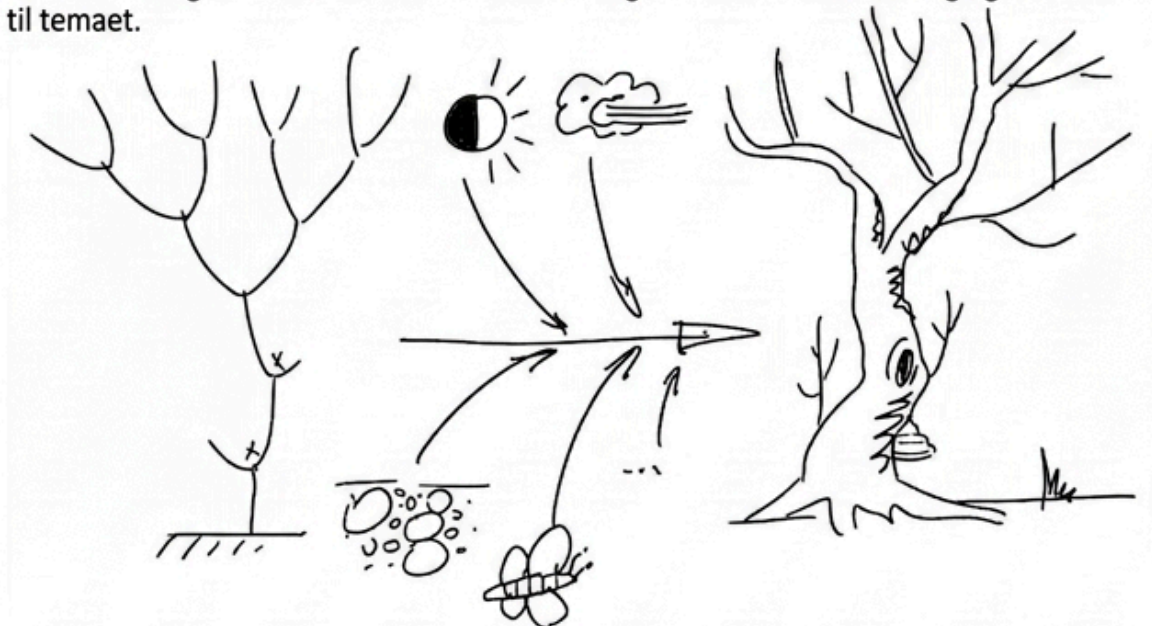


© C. Drénou

Dette faktablad om træarkitektur blev udviklet som et supplement til de Europæiske Arborikulturelle Standarder. Det er dog ikke en del af de Europæiske Arborikulturelle Standarder og har ikke gennemgået en omfattende offentlig høringsproces. Det er rent informativt: en introduktion til træarkitektur for alle interesserede.

1. Hvad er træarkitektur?

Træarkitektur er en underafdeling af plante-arkitektur: det er den gren af videnskaben, der forklarer dynamikken i trævækst og -udvikling og træets reaktion på miljøet, og som forklarer, hvorfor et træ ser ud, som det gør. I bund og grund beskriver den arten og det gensidige arrangement af træets forskellige dele. Det er vigtigt at erkende, at arkitekturen af hvert enkelt træ, som vi ser det, altid er udtryk for en ligevægt mellem interne vækstprocesser og eksterne miljøfaktorer. Vi henviser ofte til disse eksterne faktorer for at forklare træets vækst (jord, lys, vand, vind osv.), som de vigtigste bestemmende faktorer for træets form. Men udover disse eksterne begrænsninger har hvert træ også en intern 'blå tryk', som i vid udstrækning er artsspecifik, uanset om det er med genetisk variation mellem individer af samme art. Dette faktaark fokuserer på de endogene vækstprocesser, der påvirker træets udvikling, og på processerne, der styrer træets reaktion på eksterne faktorer. Det er en kort oversigt over fremskridtene i den nutidige træarkitekturforskning og en introduktion til temaet.



Figur 1: hvert enkelt træ, som vi ser det (til højre), er resultatet af en udviklingsproces, drevet af endogene udviklingsprocesser, der stammer fra træets genetiske blå tryk (til venstre), men som påvirkes og modelleres af miljøfaktorer (midten) og træets reaktion på dem.

Træarkitektur er baseret på observation af faste og gentagne fænomener i plantestrukturer, herunder de udviklingsprocesser, hvorfra de opstår. Selvom træarkitektur kan bruges som et værktøj til at beskrive strukturen af et enkelt træ og til at vurdere de påvirkende miljøprocesser og faktorer, skal det i første omgang betragtes som et middel til at beskrive og forudsige dynamikken i træene i trævækst og -udvikling på en generel måde. Træarkitektur er således baseret på observation og skematisering af mange individer af samme art, in situ, på forskellige udviklingsstadier og i forskellige miljøer. Det er afgørende at basere den arkitektoniske beskrivelse af en art på mange observationer, da målet er at isolere de endogene udviklingsprocesser og udelukke variationen introduceret af genetisk variabilitet og miljøfaktorer. De identificerede arkitektoniske egenskaber er generelt gyldige for alle individer af samme art eller endda for flere arter.

2. Nøglebegreber

2.1 Arkitektoniske kendetegn

Arkitektoniske kendetegn er planteegenskaber, der adskiller dem fra andre planter, præcis som andre plantekendetegn, der ikke er arkitektoniske (f.eks. bladform, blomsterfarve, ...). Der findes en lang række kendetegn til at beskrive en plantes arkitektur, men nedenfor vil vi fokusere på nogle af de vigtigste for at forstå nøglebegreberne i træarkitektur.

2.1.1 Vækstrytme

Vækstrytme er et væsentligt arkitektonisk kendetegn: Nogle træer har en stærk rytme i funktionen af deres meristemer, mens andre mangler denne rytme.

Hos træarter med stærk **rytmisk vækst** skifter det apikale meristem mellem en aktiv fase og en latent fase. I den aktive fase udvikler meristemet nye væv. I den latente fase er meristemet indkapslet i en beskyttende struktur: en knop. Dette kan beskytte meristemet mod barske miljøforhold som frost. Rytmisk vækst medfører også ændringer i dimensionerne af blade og internodier langs samme akse. Imidlertid dannes knopper ikke kun om vinteren: Nogle rytmisk voksende arter danner også knopper i vækstsæsonen og installerer en slags 'hvileperiode' for den primære trævækst. Meristemet kan genvinde aktiviteten senere på vækstsæsonen og producere en ny vækstkud af trævækst. Dette kendetegn med at have flere skud per vækstsæson kaldes **polycyclisme**. Det mest kendte eksempel på dette er den såkaldte **sankthansvækst** hos stilk-eg (det andet skud i slutningen af juni). Bemærk, at stilk-eg kan have mere end to sådanne vækstkud. Også andre arter som *Fagus sylvatica* og *Pinus halapensis* kan udvise polycyclisme.

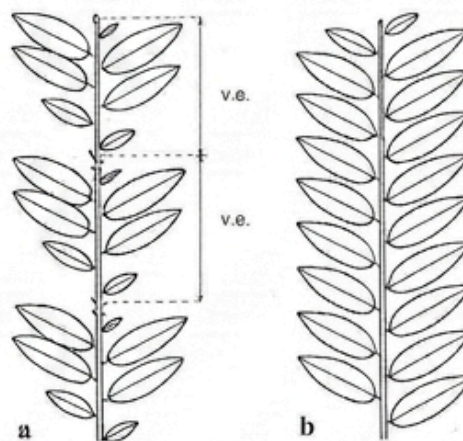


Fig 2: a: træart med stærk vækstrytme og tydelige vækstenheder (v.e.); b: træart der mangler vækstrytme.

© Jeanne Millet

Det skal præciseres, at meristemet ikke er helt inaktivt i den latente fase: Inden i sin beskyttende knop er meristemet aktivt i gang med at præformere den næste vækstenhed, komplet med alle blade, internodier, blomster osv., dog i en miniaturetilstand. Dette kan ses, når knopstørrelsen øges i hvileperioden.

Hos træarter, der mangler stærk vækstrytme, ændres funktionen af de apikale meristemer ikke fundamentalt over tid, i det mindste i udviklingen af de laterale akser. Hastigheden for vævsudvikling ved meristemet kan øges eller mindskes (eller endda stoppe, selvom dette er omdiskuteret), påvirket af miljøfaktorer som temperatur, men der er ingen tydelig hvileperiode med knopdannelse, og blade og internodier er konstante i størrelse langs samme akse.

Gennem evolutionen har årstiderne i tempererede regioner pålagt de fleste træarter rytmisk vækst. Den hårde vintersæson med lave temperaturer er en svær tid at holde meristemer i gang. De fleste træarter har tyet til at beskytte deres apikale meristemer i en vinterknop. Bemærk, at mange stedsegrønne nåletræarter som gran, ædelgran eller fyr også er rytmiske vokser og danner knopper om vinteren.

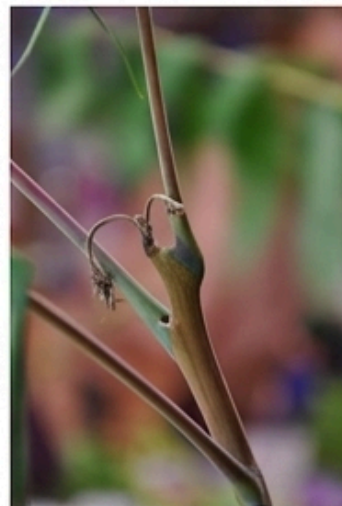
2.1.2 Monopodial vs. sympodial vækst

Monopodial vækst refererer til egenskaben ved fortsat vækst fra det samme apikale meristem. Hovedaksen bevarer generelt sin dominans med underordnede laterale akser, som ikke udfordrer hovedaksens dominans.

Sympodial vækst refererer til egenskaben ved at videresende apikal dominans fra en akse til en eller flere laterale akser, der stammer fra subterminale knopper. Den oprindelige akse ændrer enten sin vækstretning eller holder op med at vokse, i hvilket tilfælde dens apikale meristem kan abortere eller transformeres til en anden type struktur (f.eks. blomst, ranke, torn, etc.).

Sympodial vækst kan føre til en lineær sympode, hvor den apikale dominans overføres til en enkelt akse, eller til en gaffel, hvor den apikale dominans deles mellem flere akser.

Bemærk, at træer fra tempererede regioner ofte kombinerer både monopodial og sympodial vækst inden for det samme træ som en del af deres normale arkitektoniske udvikling (f.eks. monopodial vækst på hovedaksen, sympodial på sideakserne). Miljøfaktorer (f.eks. frostskafer på terminale knopper) kan give anledning til sympodiale træstrukturer, også hos træarter, der naturligt har et monopodiale vækstmønster.



Billeder 1&2: venstre: monopodial vækst af *Picea abies*; højre: forudsigelig spontan abort af det apikale meristem af *Ailanthus altissima* ved slutningen af vækstsæsonen. I den næste vækstsæson vil forlængelsesvæksten blive realiseret af en akse, der vokser fra et af meristemerne i bladakslerne, hvilket fører til sympodial vækst.

2.1.3 Forgrening

Forgrening eller ramifikation refererer til en plantes evne til at danne sideakser på hovedaksen. I mange tilfælde er sideakserne differentieret fra hovedaksen, hvilket fører til flere aksekategorier.

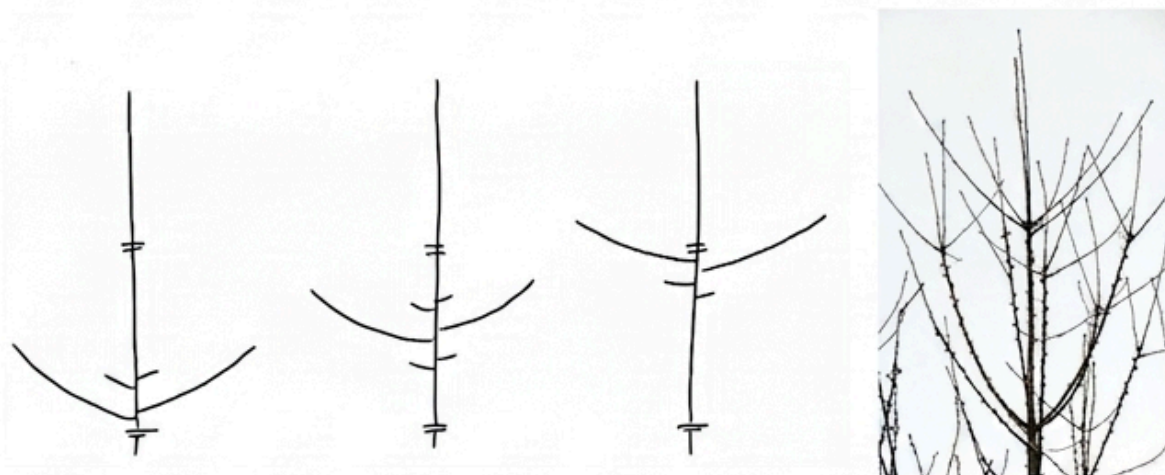
Nogle planter (f.eks. de fleste palmer) har kun ét apikalt meristem, som er aktivt gennem hele deres liv. De danner ikke sidegrene. Alle træer fra tempererede regioner danner dog sidegrene, hvilket fører til installationen af en stor flerårig struktur af stamme(r) og grene.

Sideakser (grene) i træer stammer fra laterale meristemer placeret i bladakslerne langs hovedaksen. Hver bladakse huser et eller flere laterale meristemer.

Kontinuerlig forgrening refererer til det vækstmønster, hvor alle laterale meristemer producerer en sideakse, som er mere eller mindre ens i størrelse.

Rytmsk forgrening refererer til det vækstmønster, hvor nogle laterale meristemer producerer kraftige sideakser, men andre laterale meristemer er ikke aktive eller danner kun små sideakser.

placering af de stærkeste sideakser på hovedaksen skelner vi mellem **akrotoni** (stærkeste sideakser placeret i den distale del af vækstenheden), **mesotoni** (stærkeste sideakser placeret i den midterste del af vækstenheden) eller **basitoni** (stærkeste sideakser placeret i den basale del af vækstenheden). Bemærk at de fleste træarter fra tempererede regioner udviser et rytmisk forgreningmønster, i særdeleshed akrotoni.



Figur 3: forskellige former for rytmisk forgrening: venstre basitoni, midte mesotoni, højre akrotoni.

Billede 3: stærk akrotoni i *Prunus avium*

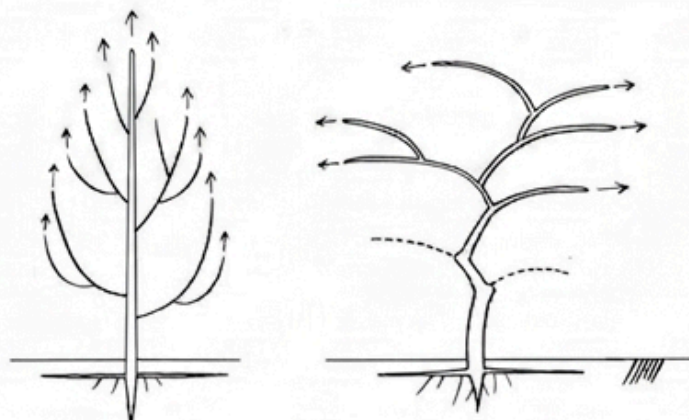
2.1.4 Morfologisk differentiering mellem akser

Baseret på en akse orientering og symmetri kan vi skelne mellem ortotropiske og plagiotropiske akser.

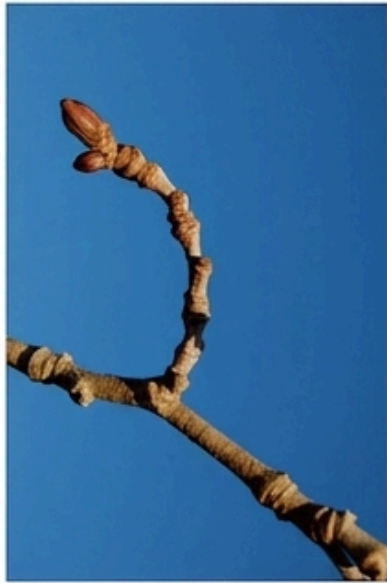
Ortotropiske akser (fra græsk 'orthos': lige og 'tropos': retning) vokser mere eller mindre opretende og har en radial symmetri (omkring hovedaksen). Deres radiale symmetri er resultatet af den radiale disponering af bladene og/eller sideakserne og deres ensartede dimensioner i alle retninger.

Plagiotropiske akser (fra græsk 'plagios': skrå og 'tropos': retning) vokser vandret eller skråt og har en bilateral symmetri. Deres blade og/eller sideakser er arrangeret i et horisontalt plan, eller deres udvikling begunstiges på lateralsiden af hovedaksen.

Bemærk at ortotropiske og plagiotropiske akser kan forekomme sammen i strukturen af et individuelt træ, med forskellige aksekategorier med forskellige egenskaber. Denne kombination af aksekategorier giver træet dets typiske ydre habitus.



Figur 4: venstre: træ med kun ortotropiske akser; højre: træ med kun plagiotropiske akser © Hallé



Billede 4: ageotropisk akse af *Platanus x hispanica*

En tredje kategori er **ageotropiske akser** (fra græsk 'a': uden, 'geo': jord og 'tropos', retning), som ikke har en foretrukken orientering eller symmetri. Det er akser, der udviser kendetegnene for ældning: korte vækstenheder, hæmmet vækst, mangel på forgrening, osv. Disse kan forekomme på aldrende træer eller på træer i tilbagegang.

Bemærk, at bladarrangementet (phyllotaxis) har betydning for arrangementet af sideakser, da disse udspringer fra laterale meristemer placeret i bladaksillerne. Hvis blade f.eks. er arrangeret på modstående sider af akse, fremmer dette en bilateral symmetri. Imidlertid kan sideakser omarrangere sig, så phyllotaxis er ikke den eneste afgørende faktor for aksesymmetri.

2.1.5 Terminal kontra lateral blomstring

Det sidste væsentlige arkitektoniske kendetegn, vi dækker, er placeringen og oprindelsen af blomstringen. Træer kan enten blomstre terminalt (dvs. blomster dannes i en endeknop) eller lateralt (dvs. blomster dannes fra laterale knopper).

Terminal blomstring påvirker altid træets arkitektur, da forlængelsen af blomstringsaksen skal genoptages fra en eller flere laterale knopper, hvilket fører til sympodial vækst. Lateral blomstring påvirker ikke træets arkitektur: træet kan vokse enten monopodiale eller sympodialt. Men i sidstnævnte tilfælde er sympodial vækst ikke pålagt af blomstringsmetoden.



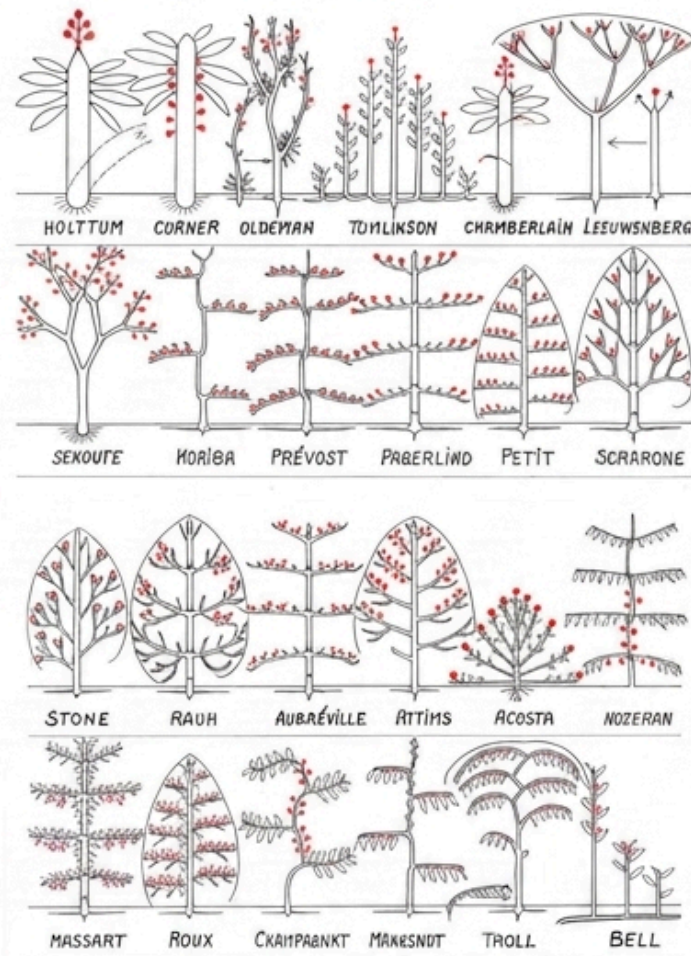
Billede 5: terminal blomstring påvirker altid træets arkitektur (*Magnolia* spp.)

2.2 Arkitektoniske modeller

Oprindelsen til moderne træarkitektur var definitionen af arkitektoniske modeller af Hallé og Oldeman i 1970'erne (Hallé & Oldeman, 1970; Hallé et al, 1978). De definerede 24 arkitektoniske modeller, herunder 3 teoretiske modeller, der ikke var blevet observeret i virkeligheden på det tidspunkt. Hver arkitektonisk model er defineret i henhold til en specifik kombination af arkitektoniske kendetegn, som tilsammen beskriver de grundlæggende vækstdynamikker for en bestemt gruppe af træarter.

Baseret på mangfoldigheden af tilgængelige arkitektoniske kendetegn ville man forvente et højt antal potentielle kombinationer og dermed arkitektoniske modeller. Forskning har dog vist, at kun et begrænset antal kombinationer af arkitektoniske kendetegn eksisterer i virkeligheden. Siden definitionen af de oprindelige arkitektoniske modeller af Hallé og Oldeman er der blevet foreslået nogle revisioner, og for nylig er der tilføjet 2 ekstra arkitektoniske modeller (Oldeman-model og Acosta-model) (Hallé & Keller, 2019).

Bemærk, at de arkitektoniske modeller, som defineret af Hallé og Oldeman, oprindeligt refererer til det unge træ (ældre træer af samme art kan have forskellig vækstdynamik), og at nogle træarter udviser mellemliggende karakteristika mellem modellerne.



Figur 5: De 24 arkitektoniske modeller der i øjeblikket anvendes © Hallé, 2017

Mangfoldigheden og kompleksiteten af arkitektoniske modeller har ændret sig under træernes evolution over hundreder af millioner af år. De oprindelige enkle og højt hierarkiske modeller (f.eks. af træbregner), hvoraf nogle stadig eksisterer i dag, udviklede sig til mere komplekse modeller, der i nogle tilfælde har vist sig at være meget succesfulde. Specifikke kombinationer af arkitektoniske karakteristika, der adskiller sig fra dem, vi kender i dag, blev fundet i fossile planteregistre (Chomicki et al., 2017). De repræsenterer arkitektoniske modeller, der i øjeblikket ikke længere eksisterer, sandsynligvis fordi de blev udkonkurreret af mere succesfulde modeller i løbet af evolutionen.

2.3 Hierarki vs. polyarki

Hierarki henviser til en streng organisering og rangordning af akser i et træ, generelt med 1 hovedakse. Hierarki i det (unge) træ er det, der skelner træer fra buske. Polyarki er fraværet af hierarki, permanent eller midlertidigt, hvilket fører til ækvivalens mellem akser. Unge træer udviser generelt stærkt hierarki, men afhængigt af artens arkitektoniske model kan hierarki være mere eller mindre udtalt. Træarter med højt hierarki har en ret forudsigelig udvikling, men kan være mindre fleksible i forhold til at reagere på miljøfaktorer, f.eks. i tilfælde af traumatiske begivenheder, der påvirker hovedaksen. Andre træarter (f.eks. *Quercus robur*) udviser en tilbagevendende, men midlertidig mangel på hierarki, hvilket fører til fremkomsten af tilbagevendende gafler, som resorberes i det unge træs hierarkiske organisering. Hos disse arter kan dominansen overføres mellem akser, hvilket giver en mindre forudsigelig udvikling, men mere fleksibilitet. Disse træarter kan generelt genoprette hierarki ret godt efter en traumatisk begivenhed, da overførslen af dominans mellem akser er en del af deres normale udvikling.



Billede 6: to unge *Platanus x hispanica* træer, det til venstre polyarkisk (dvs. installation af kronen), det til højre hierarkisk (dvs. arkitektonisk enhed).



Billeder 7&8: *Quercus robur*-frøplante; venstre billede i maj, der viser polyarki efter at den terminale knop ikke spirede; højre billede samme træ i august samme år, tydeligt demonstrerende at hierarkiet er blevet genoprettet uden nogen indgriben.

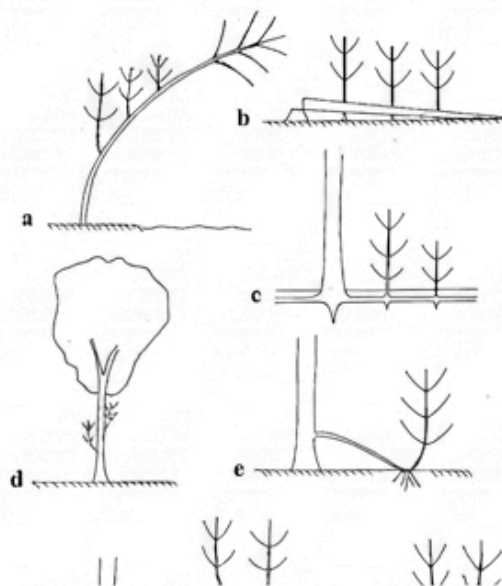
Graden af hierarki i et specifikt træ er ikke en vurdering af dets iboende kvalitet: både træer med hierarki og polyarki kan være kvalitative træer, velegnede til plantning. Afhængigt af træets placering kan en vis grad af hierarki imidlertid være gunstig, f.eks. under formgivende beskæring af gadetræer, mens en mere polyarkisk udvikling kan foretrækkes i åbne parktræer.

2.4 Reiteration og duplikering

Reiteration som et arkitektonisk koncept er gentagelsen af den grundlæggende arkitektoniske model (eller en del af den) i strukturen af et træ, der stammer fra et meristem (i stedet for et frø). Reiterationer kan forekomme i mange former og sammenhænge.

Duplikering refererer til dannelsen af en gaffel i en akse, som en del af et træs forudsigelige udvikling, mens det opbygger sin krone. Det plejede at blive betragtet som en form for reiteration, stadig omtalt som 'sekventiel reiteration' i litteraturen. Duplikering adskiller sig fra reiteration ved, at det er en fortsættelse af træets morfogenetiske udvikling, mens reiteration er backtracking-udvikling: en ontogenetisk yngre akse udvikler sig på en ældre akse.

Reiteration forekommer snarere uforudsigeligt, tilpasser og reparerer et træs struktur som en reaktion på miljømæssige påvirkninger og begivenheder (f.eks. en traumatisk begivenhed eller fysiologisk stress, eller opportunistisk). Lagdeling, rodskud, phønix-regenerering, etc. er alle former for reiteration. En total reiteration er gentagelsen af den arkitektoniske model af et helt træ (inklusive stammen). En **delvis reiteration** er gentagelsen af den arkitektoniske model af en del af træet (f.eks. en gren).



Figur 6: forskellige typer reiteration; a: epikormiske skud på et hældende træ; b: epikormiske skud på et væltet træ; c: rodskud; d: epikormiske skud på stammen; e: lagdelt gren; f: basale skud; g: genvækst på en stub; h: genvækst fra (rods)stikling; i: hovedgaffel gennem duplikering © Millet

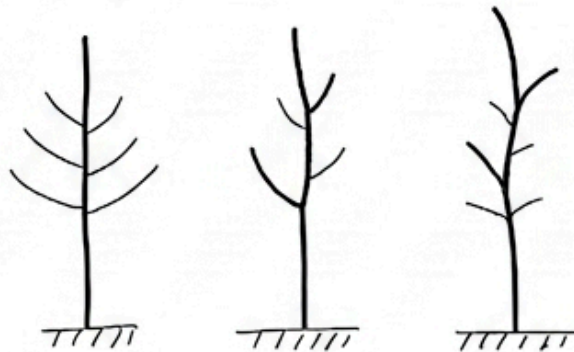


Billede 9: reiteration i *Abies* spp.

2.5 Træudviklingsstrategier

2.5.1 Ungt træ: hierarki

De fleste unge træer udviser en vis form for hierarki, hvilket giver dem mulighed for at opbygge en dominerende stamme. Afhængigt af træarten kan denne hierarkiske periode være lang eller kort, graden af hierarki kan være stærk eller moderat, og den vækstdynamik, hvormed de etablerer deres stamme, kan variere. Bemærk, at et godt fysiologisk helbred er en forudsætning for etablering af hierarki i det unge træ. Unge træer, der er stressede, kan miste hierarki, enten midlertidigt eller permanent. For eksempel kan mangel på ressourcer (lys eller andre) tvinge træet ind i en slags ventetilstand og danne 'ventegafler'.



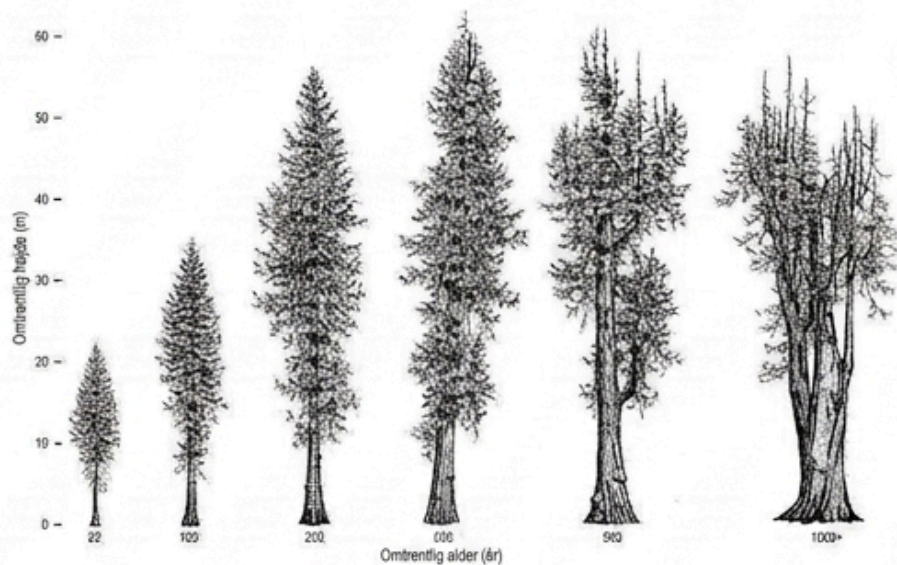
Figur 7: vækstdynamikken varierer, men unge træer udviser generelt stærkt hierarki (ikke alle arkitektoniske træmodeller er repræsenteret)

Plantearter, der ikke har mindst en (kort) periode med stærkt hierarki, betragtes generelt ikke som træer, da de mangler en dominerende stamme.

2.5.2 Gigantisme

Der er en gruppe træer, der bevarer stærkt hierarki gennem hele deres liv: de fortsætter bare med at vokse sig større, men holder sig til den vækstdynamik, der er forbundet med deres arkitektoniske model, som i dette tilfælde generelt er meget hierarkisk. Den modne træstruktur minder så om den unge træstruktur, kun større. Denne strategi, kaldet *gigantisme*, er ret udbredt blandt nåletræsarter (gran, ædelgran, douglasgran, ...).

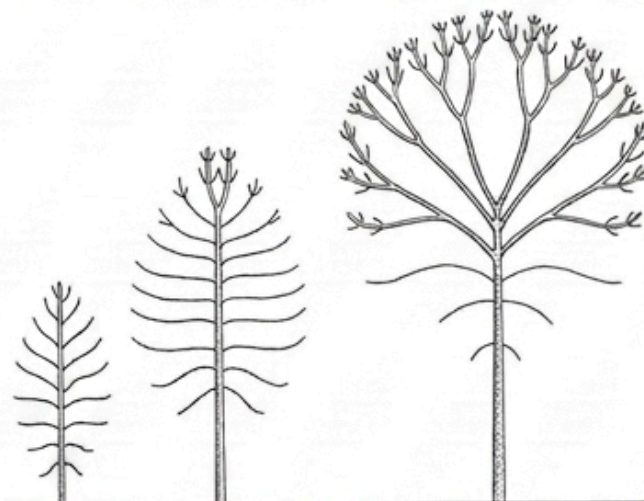
Men også træarter, der udviser gigantisme som en strategi, kan reitere og ende med en polyarkisk struktur. De vigtigste drivkræfter i denne proces er katastrofale begivenheder (f.eks. toppen knækker af) og i deres senere livsstadier, hydrologiske begrænsninger forbundet med deres højde.



Figur 8: udvikling af *Thuja plicata*, der udviser gigantisme i mange århundreder, men til sidst optræder gentagelser i det gamle træ, da hydrologiske begrænsninger forbundet med træhøjdegrænsen begrænser fortsættelsen af gigantisme. © Van Pelt

2.5.3 Opbygning af en krone ved duplikering

Andre træarter har en anden strategi: de bygger først en stamme for at hæve sig over deres konkurrenter og etablerer derefter en krone. Stammen er opbygget ved at udvise stærkt hierarki i deres unge udviklingsstadiet. Senere skifter de til en vekslen mellem polyarkiske øjeblikke og længere hierarkiske perioder, hvor de bygger en krone ved duplikering (sekventiel gentagelse). Under de polyarkiske øjeblikke installeres hovedgafler i træets krone og deler dominansen. Bemærk, at nogle træarter (f.eks. nogle *Populus* spp.) kan installere hovedgrene svarende til hovedaksen, mens de stadig fortsætter med at forlænge hovedaksen, hvilket giver anledning til en struktur, der minder om en række gåsefødder snarere end en række gafler.



Figur 9: opbygning af en krone gennem duplikering; venstre: det unge træes arkitektoniske enhed med stærkt hierarki; højre: et modent træ med en tydelig skelnen mellem stammen og kronen, bestående af tre på hinanden følgende duplikeringer, der installerer hovedgafler (© Drénou)

En permanent hovedgaffel i træets krone må ikke forveksles med en utilsigtet gaffel, som ikke er prædisponeret i et træs udvikling, men som er resultatet af et eksternt traume. I tilfælde af utilsigtede gafler fortsætter gaffelelementerne deres normale udvikling stort set uafhængigt af

hinanden: de deler ikke dominans, men konkurrerer med hinanden om dominans. (Bemærk dog, at utilsigtede gafler også er reiterationer.)

En evaluering af antallet af reiterations-/duplikationsbølger i en trækrones krone, kombineret med en analyse af strukturen af de terminale arkitektoniske enheder, bruges generelt til at definere dets udviklingsstadium.

Gennem hele sin udvikling udviser træet en gradvis størrelsesreduktion og til sidst forarmelse af de terminale arkitektoniske enheder. Denne proces kulminerer i fremkomsten af de minimale arkitektoniske enheder i ældre træer (se nedenfor).

3. Udviklingsstadier

Det er vigtigt at anerkende, at der for træer, i modsætning til for mennesker, ikke er nogen stærk sammenhæng mellem kronologisk alder (dvs. alder siden spiring eller plantning) og ontogenetisk alder (dvs. udviklingsstadium). Dette betyder, at uden faktisk at se et træ, er det helt umuligt at definere dets udviklingsstadium alene på basis af dets kronologiske alder.

Faktisk kan gamle træer, med høj kronologisk alder, faktisk befinde sig i et yngre udviklingsstadium end modne træer. Det er vigtigt at skelne her, fordi det er mere nyttigt at identificere udviklingsstadiet for at informere ledelsesbeslutninger end at kende træets kronologiske alder. Men 'gammelt' er stadig et meget vigtigt koncept til at anerkende den værdi, et træ har, både dets indre værdi og dets kulturelle, historiske, sociale, landskabelige og biodiversitetsværdi. Mange mennesker, der ikke er bekendt med træarkitektur, kæmper for at anerkende, at mærkatet 'gammelt' (hvilket betyder kronologisk meget gammelt) ikke rigtig fortæller os noget om det udviklingsstadium, træet befinder sig i. Vi er nødt til at respektere vigtigheden af dette 'gamle' mærkat for at tilskrive værdi til et træ, men det, man i bruge for at informere ledelsen, er en arkitektonisk analyse af det udviklingsstadium, træet befinder sig i.

3.1 Generisk træudviklingsserie

Vi kan få en generel idé om et træs udviklingsstadium ved at analysere dets hovedstamme og kronebygning, kombineret med en evaluering af de terminale skud.

Så længe træet består af en enkelt arkitektonisk enhed (dvs. ingen duplikationer), betragtes det som et ungt træ. Selvfølgelig ser den arkitektoniske enhed forskellig ud afhængigt af træarten.



Billede 10: ung *Platanus x hispanica*, der illustrerer artens arkitektoniske enhed

Træet når voksenalderen, når den første permanente hovedgaffel er installeret i dets struktur. Bemærk, at vi her refererer til hovedgaffelen, der er foruddisponeret i træets udvikling, ikke en tilfældig gaffel. Frem mod dette tidspunkt vil træet have etableret sit maksimale antal akse kategorier (se nedenfor), og sidegrene vil højst sandsynligt allerede være begyndt at forgrene sig. I løbet af træets voksne liv øges kronens størrelse og kompleksitet, efterhånden som perioder med hierarki veksler med øjeblikke med polyarki, hvorved successive hovedgafler installeres gennem duplikering, at under denne proces falder de terminale arkitektoniske enheder (terminale skud) af træet i størrelse, efterhånden som deres antal øges. Og efterhånden som træer modnes, mister de også kompleksitet i deres terminale skud ved at etablere et faldende antal akse kategorier, hvilket ender med de minimale arkitektoniske enheder af et senescent træ. Som en generisk træudviklingsserie, gældende for mange træarter, kan vi opsummere træudviklingsstadierne som:

- én arkitektonisk enhed (0 reiterationer/hovedgafler): ungt træ; etablering af en enkelt stamme;
- 1-4 hovedgafler i kronen: voksent træ; udforskning af rummet, opbygning af en krone;
- 5-10 hovedgafler i kronen: modent træ; træet har nået sine maksimale dimensioner;
- > 10 hovedgafler i kronen: senescent træ; progressiv død af terminale skud, hvilket fører til træets naturlige død.



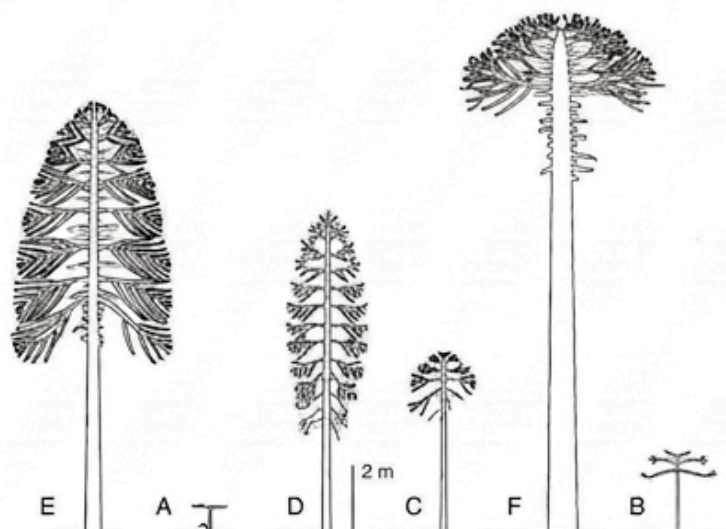
Billede 11: terminale skud af et senescent *Acer pseudoplatanus*, der viser artens minimale enhed

Bemærk, at man ikke udelukkende bør fokusere på antallet af hovedgafler i kronen, men kombinere denne observation med en grundig evaluering af arkitekturen af træets terminale skud. Ikke alene er ovenstående generiske træudviklingsserie ikke en eksakt videnskab, miljøfaktorer kan påvirke etableringen af tilfældige eller opportunistiske gafler, tilføje 'støj' og komplicere analysen af kronen. Bemærk, at træarter, der udviser gigantismestrategien, også gennemgår de udviklingsstadier, der er defineret ovenfor. Men denne proces kan ikke let ses i deres overordnede udseende. Der er dog ændringer i de terminale skuds struktur og orientering og i placeringen af han- og hunblomster i kronen under ældningsprocessen.

3.2 Træartsspecifikke udviklingsserier

Gennem observation og arkitektonisk analyse af mange individer af samme træart, i alle udviklingsstadier, kan den generiske træudviklingsserie skræddersyes yderligere til at passe til en bestemt træart. Den træartsspecifikke udviklingsserie beskriver den arkitektoniske enhed af det unge træ, den foruddisponerede udvikling og de tilhørende ændringer i arkitekturen. Denne arkitektoniske analyse er genstand for den videnskabelige forskning i træarkitektur. Man skal være forsigtig med ikke at drage konklusioner om den træartsspecifikke arkitektur baseret på observation af et begrænset antal individer (let alene baseret på et enkelt træ). Den arkitektoniske enhed af en træart er i virkeligheden det udtryk for den generiske arkitektoniske model for en specifik træart. Den beskriver, hvordan de generelle udviklingstræk, der udgør den arkitektoniske model, "sættes i praksis" i en bestemt træart. Det er den interne 'tegning' af træarten, der refereres til tidligere. Beskrivelsen af den arkitektoniske enhed af en træart tager form af en tabel, der beskriver det maksimale antal akse kategorier og deres arkitektoniske

egenskaber. Denne tabel suppleres af en beskrivelse, både i tekst og tegninger, af egenskaberne for det voksne, modne og senescente træ.



Figur 10: eksempel på en træartspecifik udviklingsserie (*Araucaria araucana*, en træart med 3 aksekategorier)
© Grossfeld

A1	A2	A3	A4	A5
lineær sympode	lineær sympode	lineær sympode	lineær sympode	lineær sympode
rytmisk vækst	rytmisk vækst	rytmisk vækst	rytmisk vækst	rytmisk vækst
	årligt modul på +/- 15 knuder	årligt modul på +/- 10 knuder	årligt modul på 7 knuder	årligt modul på 5 knuder
Ramifikation rytmisk, forsinket, akrotonisk	Ramifikation rytmisk, forsinket, akrotonisk	Ramifikation rytmisk, forsinket, akrotonisk	Ramifikation rytmisk, forsinket, akrotonisk	Kort skud, ingen ramifikation
ortotropisk	plagiotropisk	plagiotropisk	plagiotropisk	plagiotropisk
radial symmetri	bilateral symmetri	bilateral symmetri	bilateral symmetri	bilateral symmetri
uendelig levetid	begrænset levetid (lang sigt)	begrænset levetid (mellemlang sigt)	dør efter 1 – 6 år	dør efter 1 – 4 år
ingen blomstring	ingen blomstring	ingen blomstring	terminal blomstring	terminal blomstring

Tabel 1: eksempel på en beskrivende tabel for den arkitektoniske enhed, det genetiske 'blå print' af arten (*Platanus x hispanica*, en art med 5 aksekategorier) © Caraglio

Bemærk, at det maksimale antal aksekategorier er artsspecifikt og begrænset: f.eks. 3 for *Fraxinus excelsior*, 4 for *Quercus robur*, 5 for *Fagus sylvatica* og *Platanus x hispanica*, 6 for *Thuja plicata*.

3.3 Alderdom (Senescens)

Det sidste livsstadium for et træ, alderdommen, fortjener lidt mere opmærksomhed, fordi det ofte forveksles med svækkelse, hvilket det ikke er. De kan begge være forbundet med dør i spidsen af de terminale skud, deraf forvirringen, men oprindelsen af dette tilbagefald er forskellig. Alderdom er relateret til ontogenetisk alder, til udvikling: det defineres som den sidste fase i en organisdvikling, før naturlig død. Svækkelse kan defineres som en regression 'et sted undervejs', ikke knyttet til et specifikt udviklingsstadium og ofte på grund af miljøfaktorer som tørke, jordforringelse osv.

Svækkelse kan være midlertidig og reversibel: hvis udløseren for svækkelsen forsvinder, kan træet komme sig, enten ved at genoprette sin oprindelige krone, udvikle en sekundær krone, falde tilbage på eksisterende grene længere nede i strukturen eller endda udvikle lave epikormiske skud, som kan vinde uafhængighed over tid.

Alderdom er uundgåelig: det er kulminationen på udviklingen, det sidste trin i et langt liv som et individ. Når et træ først er aldrende, er der ingen vej tilbage: træet har mistet evnen til at producere epikormiske skud, der ville gøre det muligt at omstrukturere sin krone. At være aldrende betyder ikke nødvendigvis, at træet vil dø snart, men enhver gren, der dør eller knækker, vil ikke blive erstattet af epikormiske skud.

I modsætning til mennesker har nogle træer dog evnen til at undgå alderdom ved at undslippe deres individuelle udvikling og genopfinde sig selv som en koloni af semi-uafhængige funktionelle enheder, som kan 'genvinde' ungdommen og starte deres individuelle udvikling forfra igen. Når et træ først når denne 'kolonitilstand', har det potentialet for evigt liv. Se nedenfor for mere information om den ikke-lineære udvikling af træer og om alle sidevejene til den 'normale' udvikling af træer beskrevet ovenfor.

3.4 Variabilitet i den individuelle træarkitektur

Selvfølgelig udvikler ikke alle individuelle træer sig langs præcis den samme vej og følger de ovenstående regler. Det ville betyde, at enhver stilkeg overalt i verden ville se nøjagtig ens ud, hvis den var på samme udviklingsstadium, og også ville ældes på nøjagtig samme måde. Dette er tydeligvis ikke tilfældet, der er en stor grad af variabilitet i træform og udvikling, selv inden for samme træart. To af de vigtigste drivkræfter bag denne variabilitet i den individuelle træarkitektur er genetisk variabilitet og miljøfaktorer (f.eks. jord, klima, ...)

3.4.1 Genetisk variabilitet

Selvom alle træer af samme art stort set deler den samme genetiske kode, er der en vis grad af variabilitet, der påvirker deres vækst: nogle træer vokser hurtigere, andre langsommere, nogle mere hierarkiske, nogle mere buskede. Denne genetiske variabilitet kan påvirke den måde, træer udvikler sig og ser ud på. Nogle træk beskrevet ovenfor kan ses tydeligere i et træ end i et andet, så man kunne sige, at visse individuelle træer er mere 'tro' mod deres arts blåtryk end andre. Også, med hver celledeling, er der en chance for at installere en mutation, en 'slåfejl' i DNA'et. Som alle levende organismer har træer udviklet måder at undgå disse mutationer og korrigere dem, hvis de opstår. Men forekomsten af disse små mutationer er en drivkraft for genetisk variabilitet. Det skal ikke ses som noget negativt, da det fører til genetisk mangfoldighed og dermed modstandskraft i en træpopulation. Nogle gange prøver vi endda at drage fordel af disse mutationer ved at vælge ønskværdige mutationer (f.eks. en speciel bladform, bladfarve eller vækstform) og fange dem i en kultivar, en 'dyrket sort'.



Billeder 12 & 13: to *Ginkgo biloba*-træer i den samme allé, der illustrerer genetisk variabilitet inden for den samme art

3.4.2 Miljøbetinget variabilitet

Også miljøet, f.eks. jordbund, kan fremkalde variabilitet i den måde, træer ser ud på. Plantning af et genetisk identisk træ på en rig, fugtig jord og på en fattig, tør jord vil resultere i to helt forskellige træer: træer tilpasser deres vækst og udvikling til deres miljø. En del af denne tilpasning kan endda videregives til fremtidige generationer.



Billede 14: gammel, men lille (< 3m højde) *Quercus robur* på en stenet skråning

4. Ikke-lineær udvikling af træer

Ovenstående beskrivelser kan narre læseren til at tro, at træudvikling er en lineær proces, der starter med et ungt træ og slutter med aldring og naturlig død, på samme måde som det er med os mennesker. Men træer har udviklet mekanismer, der gør det muligt for dem at udforske sideveje og variationer af deres "normale" udvikling beskrevet ovenfor. Deres vigtigste værktøj til at gøre det er udviklingen af epikorme skud, som de bruger til at genoprette eller reorganisere deres krone eller endda fuldstændig genopfinde sig selv.

4.1 Epikorme skud

Et epikormt skud (fra det græske "epi" - på og "kormos" - træ, stamme) kan defineres som ethvert skud, der ikke stammer fra den forudsigelige udvikling af et træs struktur: det er et skud, der dannes på en uforudsigelig måde, på et uforudsigeligt sted. Hvad der er forudsigeligt, afhænger naturligvis af træarten, men for mange tempererede træer er den forudsigelige udvikling, at et skud spirer fra en knop (enten terminal eller aksillær), der har gennemgået en sæson med vinterhvile. Dette betyder, at der dannes en knop i slutningen af vækstsæsonen, og den springer ud den følgende forår.

Alle skud, der stammer fra knopper (eller meristemer), der har gennemgået en længere hvileperiode (det være sig 1 år ekstra eller 100 år ekstra), anses for at være epikorme skud, i dette tilfælde stammende fra "latente knopper".

Epikorme skud kan også dannes direkte fra kambiet, som og når det er nødvendigt. I dette tilfælde anses det epikorme skud for at være stammende fra en "adventivknop" (selvom der ikke var nogen egentlig knop involveret i processen). Kapaciteten til at producere epikorme skud varierer mellem træarter og falder generelt med alderen. Bemærk, at epikorme skud generelt er til stede selv i sunde træer. Men de er vigtigst for træet, når det er underkastet stress.

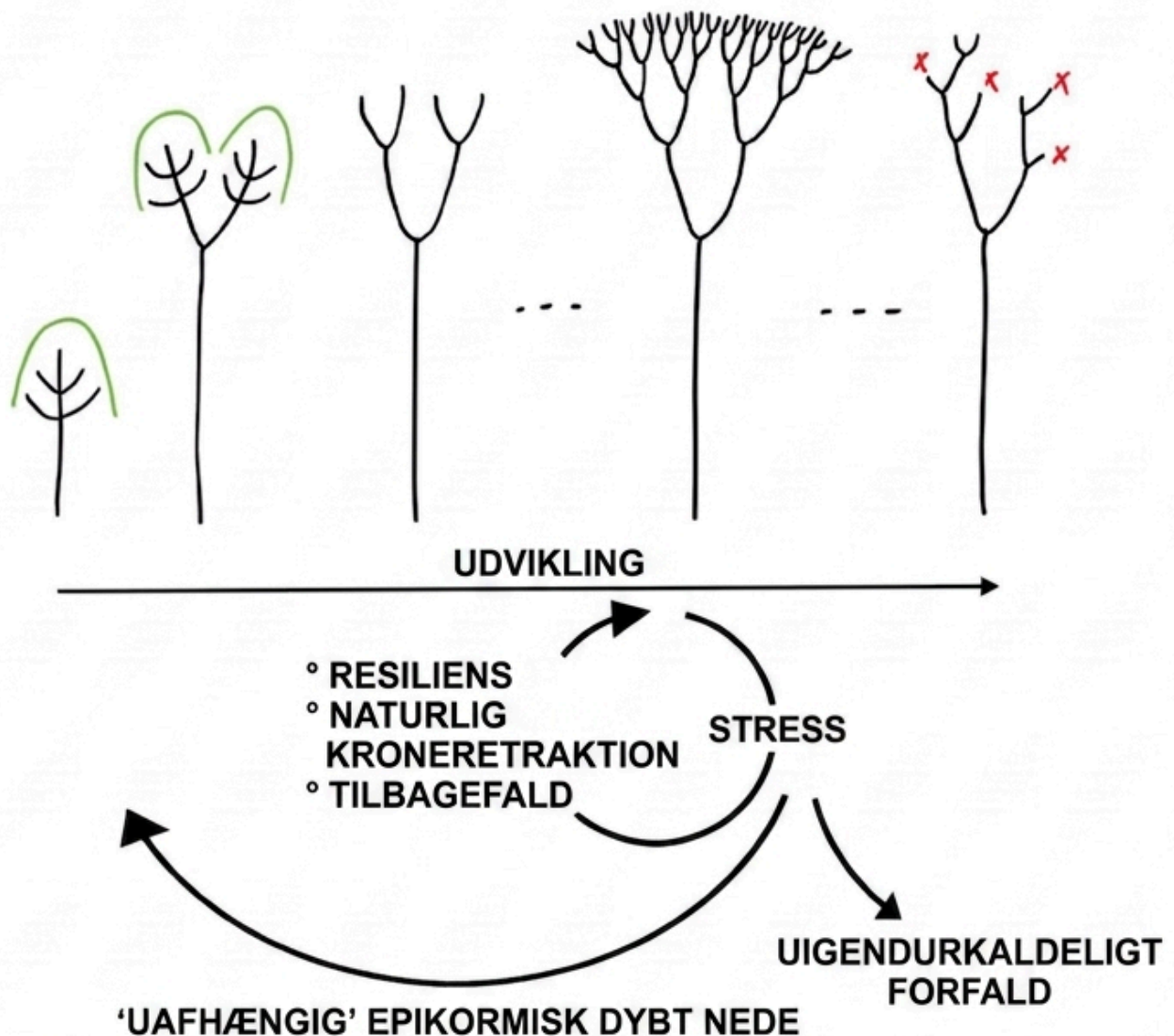
Som i grene kan epikorme skud også variere morfologisk, både i vækstretning og i symmetri. Vi kan skelne mellem ortotropiske, plagiotropiske og ageotropiske epikorme skud. Afhængigt af hvilken type af epikormt skud der er til stede og/eller dominerende, kan man forudsige den fremtidige træudvikling til en vis grad.

4.2 Stress

Enhver type af stress, der fører til et fald i fysiologisk funktion, kan få et træ til at forlade sin forudsigelige udviklingsproces. Dette kan både være miljømæssig stress (f.eks. tørke, jordforringelse, ...) og såkaldt "intern" stress (f.eks. øget hydrologisk modstand i dets struktur). Nøglebudskabet er, at stress er den primære drivkraft for, at træer udforsker sideveje og variationer af deres "normale" udvikling ved at udløse deres epikorme vækst for at forsøge at overvinde det. Bemærk deres epikorme vækst for at forsøge at overvinde det. Bemærk, at en vis grad af stress er en helt normal ting for et træ. Vi taler om organismer, der kan leve i århundreder eller endda årtusinder, så det ville være meget overraskende, hvis ikke en enkelt form for stressor for stress ville opstå i løbet af deres levetid. Afhængigt af træart, udviklingsstadium, fysiologisk sundhed og miljø kan træet gå ind i en af følgende processer.



Billede 15: epikorme skud på stammen af *Quercus robur*



Figur 11: oversigt over ikke-lineære veje for udvikling og reaktion af et træ (tilpasset efter Drénou)

4.3 Resiliens

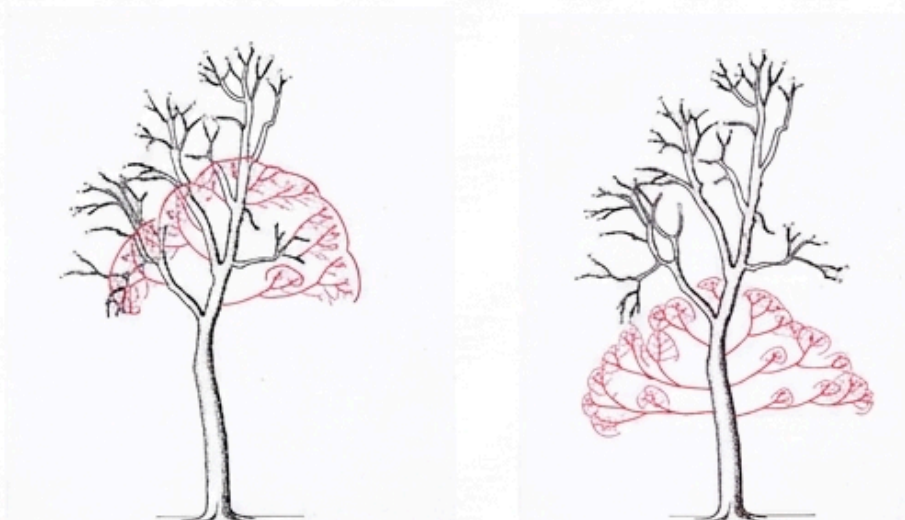
Resiliens er processen, hvor et træ genopretter sin primære krone efter at have gennemgået fysiologisk stress: træet går igennem en fysiologisk 'nedtur' og genoptager derefter bare sin oprindelige udvikling og normale arkitektoniske dynamik. Især orthotrope epikormiske skud i den øvre baldakin er involveret i denne proces med kronegenopretning. Bemærk, at processen med genopretning af den primære krone kan tage noget tid, og at selv i et resiliert træ kan store dele af den primære krone være døde eller mangle.



Figur 12: et resiliert træ, der danner orthotrope epikormiske skud (i rødt) for at genoprette den oprindelige baldakin (i sort) © Drénou

4.4 Krone-retrenchment

Krone-retrenchment er en omorganisering af træet efter stress: træet lykkes ikke med at genskabe sin primære krone (og dermed være robust), men det overvinder den fysiologiske stress ved at udvikle en sekundær krone lavere nede i sin struktur. Denne sekundære krone består hovedsageligt af plagiotrope epikormiske skud på de nedre grene og stammen. Ved at udvikle disse mere kraftige skud tættere på rodsystemet er træet i stand til at overvinde fysiologisk stress og fortsætte sin udvikling, omend den er mindre end den var før.



*Figur 13: To eksempler på krone-retrenchment, til venstre er den sekundære krone indlejret i den primære krone, på de nedre grene; til højre er den sekundære krone installeret under den primære krone, på hovedstammen.
© Drénou*

Ofte ses krone-retrenchment fejlagtigt som et udviklingsstadium, der følger træets normale udvikling, f.eks. i ældgamle træer. Krone-retrenchment er dog ikke et udviklingsstadium, det er et 'værktøj' træer har til at håndtere fysiologisk stress og disorganisering. Det kan skyldes ekstern stress (f.eks. tørke) eller intern stress (f.eks. hydrologiske begrænsninger i træets karsystem). Det betyder, at krone-retrenchment kan forekomme hos træer på ethvert udviklingsstadium, både unge og gamle træer. Misforståelsen med at se krone-retrenchment som forbundet med det sidste livsstadium af et træ stammer fra det faktum, at de fleste ældgamle træer har gennemgået processen med naturlig krone-retrenchment, måske endda flere gange. Faktisk er krone-retrenchment ikke træets sidste livsstadium, snarere tværtimod. Først når et træ ikke længere er i stand til at danne epikormisk vækst og gennemgå processen med krone-retrenchment, går det virkelig ind i sit sidste livsstadium: ældning.

Bemærk, at blot tilstedeværelsen af epikormiske skud lavt nede i et træs struktur ikke er nok til at blive betegnet som en sekundær krone. Vi kan kun rigtig tale om en sekundær krone, hvis den epikormiske vækst er veludviklet og på en eller anden måde struktureret hierarkisk. Det kan tage mange årtier for et træ at udvikle en sekundær krone, der er i stand til at erstatte den oprindelige krone.



Billede 16: velorganiseret sekundær krone på *Quercus robur* © Vikki Bengtsson

4.5 Tilbagegang

Nogle træer udviser forfald af den primære krone, hvilket resulterer i en helt død øvre krone, men er ikke i stand til at erstatte denne med en sekundær krone. De har ikke kapacitet til at danne epikorme skud, så de 'isolerer' den forfaldne del og fortsætter med at fungere med deres uforandrede lavere grene, der stammer fra deres primære struktur. Da træet ikke danner en sekundær krone bestående af epikorme skud, kan vi ikke betegne dette som en kroneskæringsproces.



Figur 14: tilbagegang: ingen epikorme skud synlige, blot den øvre krone er død og træet fortsætter med at fungere med sine lavere grene © Drénou

4.6 Irreversibel tilbagegang

Hvis et træ, efter en stresshændelse, ikke udviser nogen levedygtig restaureringsproces, anses det for at være fanget i irreversibel tilbagegang. Træet kan udvise epikormisk vækst, men dette vil hovedsageligt være af den ageotropiske type: med korte vækstenheder, hæmmet vækst, mangel på forgrening osv. Denne type epikormiske skud lykkes ofte ikke engang med at holde sig i live, endsige genoprette dele af kronen. Over tid fortsætter det med at miste levedygtige dele af kronen, uden at disse erstattes af nye. Irreversibel tilbagegang ender til sidst i død, men bemærk at et træ i denne proces ikke nødvendigvis dør hurtigt, afhængigt af de biotiske og abiotiske miljøfaktorer.



Figur 15: Træ i irreversibel tilbagegang: forarmet forgrening i hele kronen, epikormiske skud (i rødt) kun af den ageotropiske © Drénou



Billede 17: Eksempel på Quercus robur i en tilstand af irreversibel tilbagegang

4.7 Individ eller koloni?

Når et træ lever i meget lang tid og interagerer med sit miljø, kan det ende på to meget forskellige veje: det kan enten forblive et individ, eller det kan blive en koloni.

Nogle træer (eller træarter) har en tendens til at bevare en stærk individualitet, vedvarende i deres lineære udvikling, håndtere miljømæssige belastninger uden at blive afledt. Disse træer tager ikke sideveje til normal udvikling, men udvikler sig gradvist fra et ungt træ til modenhed, for at ende i senescens. Det er vigtigt at bemærke, at dette er en ensrettet vej: der er ingen vej tilbage.

Efterhånden som et træ bliver ældre, mister det gradvist evnen til at udforske sidevejene, der tilbydes af udviklingen af epikormiske skud, adventive rødder, rodskud, lagdeling osv. Bemærk, at det kan tage århundreder eller endda årtusinder for et træ til sidst at ende i senescens, men i sidste ende venter kun den naturlige og uundgåelige død af træet.

I andre tilfælde, på et tidspunkt i deres liv, kan træer udvikle kraftige epikormiske skud lavt nede i deres struktur, ofte forbundet med adventive rødder i deres hule stamme. Eller de udvikler lagdelte grene, rodskud osv. Alle disse strukturer kan genvinde egenskaberne fra et ungt træ og dermed på en måde vende tilbage til et yngre livsstadie. De kompartmentaliserer fra resten af det aldrende træ og opnår (semi-)uafhængighed. Og på den måde starter de udviklingsprocessen helt.

forfra igen. På dette tidspunkt er det individuelle træ blevet en koloni af (semi-)uafhængige funktionelle enheder, der hver udvikler sig i sit eget tempo. Dette er ikke et engangsfænomen, træet kan genopfinde sig selv igen og igen, og på dette tidspunkt har det nået en tilstand af potentiel udødelighed. Bemærk, at træer skal nå denne koloni-tilstand, før de når eller overhovedet nærmer sig alderdomssvækkelse: I takt med at de ældes, falder deres evne til at reagere. De triggere, der fører til denne koloni-tilstand, er generelt tilbagevendende miljømæssige belastninger, som træet skal håndtere.



Billede 18: gammelt asketræ er nu blevet en koloni © Daggfeldt

5. Trædiagnose: hvordan man læser et træs arkitektur

Hovedudfordringen på dette tidspunkt er, hvordan man inkluderer disse koncepter om træarkitektur i vores fælles arboridyrkningspraksis. Fordi træarkitektur kan anvendes inden for mange områder af arboridyrkning: træbeskæring, træundersøgelser, evaluering af fysiologisk sundhed, understøttelse af ledelsesbeslutninger og endda forudsigelse af deres chance for succes. Men man kan kun rigtig inkorporere dette gennem omhyggelig og gentagen observation, ved at lære at se på træer på en anden måde, helst under vejledning af en mere erfaren person om emnet. Ofte, når nogen peger på en indlysende arkitektonisk egenskab ved et træ, begynder man at se det overalt, og det bliver næsten umuligt at 'afse' det, til det punkt, hvor man måske undrer sig over, hvordan i alverden det var muligt ikke at bemærke det. Det vigtigste budskab til folk, der ønsker at introducere træarkitektur i deres arboridyrkningspraksis, er ikke at fortvivle. Det er normalt ikke at se skoven for bare træer, når man først starter med det. Vedholdende observation af træer vil i sidste ende føre til forståelse.

Arkitekturen for mange individuelle træarter er blevet grundigt undersøgt af forskere og publiceret i videnskabelig litteratur (ofte som en del af ph.d.-afhandlinger). Selvfølgelig er dette den første kilde at gå til, når man udforsker arkitekturen af et specifikt træ. Desværre er ikke meget af den videnskabelige litteratur om emnet tilgængelig på engelsk, da det meste er udgivet på fransk og kun oversat til andre romanske sprog (spansk, italiensk). På den anden side er ikke alle træarter endda blevet beskrevet arkitektonisk, da dette er en langvarig videnskabelig proces, baseret på observation i marken af mange træer af samme art, under forskellige miljøforhold og på forskellige udviklingsstadier. Dog kan et trænet øje, ud fra omhyggelig observation, hurtigt skelne grundlæggende arkitektoniske egenskaber, selv i et enkelt træ, der gør det muligt at evaluere dets udvikling, reaktion og, vigtigst af, vist omfang. I korte træk består en arkitektonisk diagnose af et træ af følgende trin:

- Vurder træets oprindelige struktur, der stammer fra dets udvikling:
 - Identificer det udviklingsstadium, træet befinder sig i;
 - Evaluer, om den oprindelige øvre krone og terminale skudstruktur ser ud, som det kan forventes af et træ af den art på det udviklingsstadium (dødelighed, forgrening osv.);
- Vurder tilstedeværelsen, typen og fordelingen af de epikormiske skud:
 - Hvor er de epikormiske skud?
 - Hvordan ser de ud?
 - Er de struktureret på nogen måde?
- Sammenstil ovenstående oplysninger for at identificere den fysiologiske tilstand og den udviklings- eller reaktionsproces, træet befinder sig i.

5.1 METODEN ARCHI

Der findes en standardiseret metodologi til at vurdere et træs arkitektur, som kaldes 'ARCHI-metoden' og er udviklet af Christophe Drénou (CNPf – IDF). Denne metode gør det muligt at udvide en visuel vurdering af et træ til en prognose for dets fremtidige udvikling. Metodologien skelner mellem to overvejrede billeder: det første billede gør det muligt at forstå, hvordan træet udvikler sig, det andet billede, hvordan det reparerer sig selv og reagerer på stressfaktorer.

5.1.1 Billede nr. 1 – original udvikling

Det første billede består af stammen, hovedgrenene, de sekundære grene og til sidst terminalskuddene, som bærer blade. Dette billede er resultatet af en genetisk programmeret udviklingsproces. Når træet er ungt, forgrener det sig efter meget præcise regler, hvilket har gjort det muligt for Hallé og Oldeman at definere 24 arkitektoniske modeller. Når træet bliver voksent, kan det forblive tro mod sin oprindelige model (f.eks. *Picea* spp., *Sequoia* spp., *Pseudotsuga menziesii*, *Araucaria* spp.) eller det kan duplikere sig under sin udvikling. Denne mekanisme, automatisk og forudsigelig, er oprindelsen til dannelsen af hovedtvejer. De fleste løvtræer (*Platanus* spp., *Quercus* spp., *Fraxinus* spp. osv.), men også visse nåletræer (*Pinus pinea*, *Pinus halepensis*, *Taxus baccata*, *Ginkgo biloba* osv.) udvikler sig på denne måde.



5.1.2 Billede nr. 2 – epikorme skud

Det andet billede består af alle epikorme skud. I modsætning til den udbredte opfattelse, 'snylter' disse epikorme strukturer ikke på det træ, de vokser på. Tværtimod spiller epikorme skud en afgørende rolle i fysiologisk genopretning, mekanisk forstærkning og arkitektonisk robusthed. Et træ, der har epikorm vækst, er et træ, der producerer nye blade, ofte større end dem, der bæres af de oprindelige kviste, og derved reaktiverer transpirationen, drivkraften bag dets hydrologiske cirkulationsprocesser. Fremkomsten af epikorme skud længere nede, tilbagetrukket fra terminalgrenene, forkorter afstanden mellem rødder og blade, hvilket letter saftstrømmen, såvel som de større årringe for de epikorme skud sammenlignet med den gren, de vokser på. Og sidst men ikke tjener de nye kar i de epikorme skud til at omgå hydrauliske veje, der er beskadigede eller ikke længere brugbare på grund af kavitation.

Figur 16: repræsentation af et træ bestående af to overlejrede billeder: original udvikling i sort, epikorme skud i rødt © Drénou

5.1.3 ARCHI-typer

I ARCHI-metoden skelnes der mellem følgende typer (fysiologiske tilstande), (se også ovenfor):

- **Rask:** et træ uden væsentlige symptomer på kroneforringelse, og hvis arkitektur er i overensstemmelse med dets udviklingstrin. Et rask træ er ikke nødvendigvis 'perfekt' og kan endda udvise 'normal' dødelighed eller vise tegn på historisk dødelighed (f.eks. hos et tidligere stresset træ eller et træ, der har lidt grenskade fra fældning af nærliggende træer, hvilket ikke ændrer dets sundhedstilstand).
- **Stresset:** et træ, der gennemgår stress, hvilket kan ses ved ændringer i dets arkitektur (forringelse af forgrening, dødelighed, eventuelt fremkomst af epikorme skud, ...), uden at det er muligt for observatøren øjeblikkeligt at beslutte dets fremtidige genopretning eller yderligere forringelse baseret på vurderingen. Fældning af stressede træer betyder at reducere antallet af potentielt robuste træer i en population. Det er bedre at vente et par år for at give træet tid til at udtrykke sig. Udviklingen af en stresstilstand afhænger af forværende faktorer eller gunstige faktorer som klima, konkurrence, biotiske faktorer, jordkomprimering, sår, ...

- **Modstandsdygtig:** et træ, hvis kroneudvikling genoptager normale arkitektoniske dynamikker efter en afvigelse fra normalen. Dette skyldes hovedsageligt udviklingen af ortotropiske, epikormiske skud i den øvre krone. Bemærk, at et modstandsdygtigt træ stadig kan vise tegn på mortalitet. Modstandsdygtighed skal ikke forveksles med resistens, f.eks.: korkegetræet tåler tørke rigtig godt, men dets kapacitet til at producere ortotropiske epikormiske skud efter en arkitektonisk desorganisering er meget begrænset, især hos ældre træer. Så korkegetræet har høj resistens, men lav modstandsdygtighed.
- **Krone-retrenchment:** et træ i den dynamiske dannelsesproces af en ny, sekundær krone under den oprindelige krone, som til sidst dør. Træer i krone-retrenchment reducerer afstanden mellem blade og rødder for at tilpasse sig deres omgivelser. Skal ikke forveksles med tilbagegang i den øvre krone. Krone-retrenchment er sjældent i tætte træbevoksninger, fordi træet har brug for lys til at etablere en organiseret sekundær krone under den oprindelige.
- **Fallback:** et træ, der ikke har en levende øvre krone, men fortsætter med at fungere med uændrede lavere grene fra sin oprindelige struktur. Træet danner ikke en sekundær krone, så det er ikke i en krone-retrenchment-proces.
- **Irreversibel tilbagegang:** et træ med en forringet krone (forarmet forgrening, unormal mortalitet) uden nogen levedygtig restaureringsproces af forgrening (epikormiske skud er næsten fraværende eller mentennortaltes freks eller enieres mortalitet eller tværtimod rigelige, men (næsten) alle af den ageotropiske type). Et træ i irreversibel tilbagegang dør ikke nødvendigvis hurtigt, afhængigt af de biotiske og abiotiske miljøfaktorer.

5.1.4 ARCHI-nøgler

Forsigtig observation af et individuelt træ (billede nr. 1 og billede nr. 2) gør det muligt at vurdere, i hvilken af de ovennævnte typer træet kan klassificeres. Denne klassificering fører automatisk til en prognose for træets fremtidige udvikling, hvilket giver mulighed for at understøtte forvaltningsbeslutninger.

For flere træarter er der udviklet en dikotom ARCHI-nøgle (på fransk sprog) af Christophe Drénou for at støtte, facilitere og objektivisere den arkitektoniske analyse af individuelle træer. Disse nøgler er specifikke for træarter. For nogle arter inkluderer nøglen en vurdering af træets udviklingstrin.

I øjeblikket (2022) er ARCHI-nøgler tilgængelige for følgende arter: *Castanea sativa*, *Quercus (robur + petraea + pubescens)*, *Quercus suber*, *Quercus ilex*, *Fagus sylvatica*, *Pseudotsuga menziesii*, *Picea abies*, *Pinus (sylvestris + nigra subsp. Pinus (sylvestris + nigra subsp. laricio var. corsicana + nigra subsp. salzmannii + uncinata)* og *Abies alba*.

ARCHI-nøglerne kan downloades fra:

<https://www.cnpf.fr/nos-actions-nos-outils/outils-et-techniques/archi>

Nedenfor er et skærmbillede af en af ARCHI-nøglerne (for *Quercus* spp.). (©Drénou)

ARCHI-nøgle for ege (*Quercus robur*, *Q. petraea*, *Q. pubescens*)

```

graph TD
    Start[START  
Dominant eller med-dominant træ:  
er denne eg i live?] -- YES --> Q1{Øverst halvdel af kronen ude af konkurrence*: er der mere end 25 % grenstubbe* og døde grene?}
    Start -- NO --> Q2{Hele træet: er der tydelig og struktureret sekundær krone dannels?}
    Q1 -- JA --> Q3{Kronen ude af konkurrence: er mere end halvdelen af den oprindelige kv. volumen ved at blive erstattet af ortiotropiske vanris med normal forgrening?}
    Q1 -- NEJ --> Q4{Kronen ude af konkurrence: er mere end halvdelen af den oprindelige kv. volumen ved at blive erstattet af ortiotropiske vanris med normal forgrening?}
    Q2 -- JA --> Q4
    Q2 -- NO --> Q3
    Q3 -- JA --> R1[Type R1 eller R2: Robust]
    Q3 -- NEJ --> S1[Type S1 eller S2: Stressed]
    Q4 -- JA --> R2[Type R1 eller R2: Robust]
    Q4 -- NEJ --> S2[Type S1 eller S2: Stressed]
    S1 --> I1[Type I1 eller I2: Irreversibel tilbagegang]
    S2 --> I2[Type I1 eller I2: Irreversibel tilbagegang]
    I1 --> I2
    I2 --> D[Type D: Kroneinds- skrumpling]
    R1 --> Sa[Type Sa: Sund]
    R2 --> Sa
    S1 --> Sa
    S2 --> Sa
    I1 --> Sa
    I2 --> Sa
    D --> M[Type M: Død]
    
```

Flowchart Details:

- START:** Dominant eller med-dominant træ: er denne eg i live?
 - YES:** Øverst halvdel af kronen ude af konkurrence*: er der mere end 25 % grenstubbe* og døde grene?
 - JA:** Kronen ude af konkurrence: er mere end halvdelen af den oprindelige kv. volumen ved at blive erstattet af ortiotropiske vanris med normal forgrening?
 - JA:** Type R1 eller R2: Robust
 - NEJ:** Type S1 eller S2: Stressed
 - NEJ:** Kronen ude af konkurrence: er mere end halvdelen af den oprindelige kv. volumen ved at blive erstattet af ortiotropiske vanris med normal forgrening?
 - JA:** Type R1 eller R2: Robust
 - NEJ:** Type S1 eller S2: Stressed
 - NO:** Hele træet: er der tydelig og struktureret sekundær krone dannels?
 - JA:** Type D: Kroneinds- skrumpling
 - NO:** Type M: Død
- Intermediate Decision Boxes:**
 - Hele træet: er mere end 75 % af pladsen optaget af vanris bestående af ageotropisk eller plagiotropisk med løsfarmet forgrening?**
 - JA:** Type I1 eller I2: Irreversibel tilbagegang
 - NEJ:** Type S1 eller S2: Stressed
 - Hele træet: er vanris sjældne eller fraværende?**
 - JA:** Type D: Kroneinds- skrumpling
 - NEJ:** Type I1 eller I2: Irreversibel tilbagegang
- Final Outcome Boxes:**
 - Type Sa: Sund** (Green)
 - Type R1 eller R2: Robust** (Light Green)
 - Type S1 eller S2: Stressed** (Yellow)
 - Type I1 eller I2: Irreversibel tilbagegang** (Red)
 - Type D: Kroneinds- skrumpling** (Orange)
 - Type M: Død** (Dark Red)

bonitetten en lys og klar.

Gøretub: en afbrøkket gren med en diameter på over 3 cm, hvoraf såret endnu ikke er overvokset med callus.

A.U.: Arkitektonisk enhed ; grundlæggende arkitektur for et træ, der karakteriserer den unge udfoldingsfase. Den første arkitektoniske enhed bygger stammen, følgende den færdige arkitektoniske enhed bygger stammen, følgende arkitektoniske enheder stammer fra hinanden ved duplikering og danner kronen.

ประมวลกฎหมาย ๑๘ ประการ พ.ศ. ๒๔๗๕

[illegible]

Sekundær krone: en sekundær krone beskrives som struktureret, når der er stærkt hierarki mellem vanrfs-skuddene.

6. Bibliografi

Barthélémy, D. and Caraglio, Y., 2007. Plante-arkitektur: en dynamisk, flerniveau og omfattende tilgang til planteform, struktur og ontogeni. *Annals of botany*, 99(3), s.375-407.

Chomicki G, Coiro M, Renner SS., 2017. Evolution og økologi af plante-arkitektur: integration af indsigter fra fossilregistret, eksisterende morfologi, udviklingsgenetik og fylogener. *Ann Bot.* 120(6):855-891.

Hallé F., 2017. *Des données récentes sur les arbres*

Hallé F., Oldeman R.A.A., 1970. *Essai sur l'architecture et la dynamique de croissance des arbres tropicaux*. Paris: Masson, 178s

Hallé F., Oldeman R.A., Tomlinson P.B., 1978. Tropiske træer og skove: en arkitektonisk analyse. Berlin: Springer-Verlag.

Mouliat, B., 2013. Plantebiomekanik og mekanobiologi er konvergente veje til blomstrende tværfaglig forskning. *Journal of experimental botany*, 64(15), s.4617-4633.

Van Pelt, R. Identifikation af modne og gamle skove i det vestlige Washington.



Samfinansieret af
Den Europæiske Unions
Erasmus+ program

Europa-Kommissionens støtte til produktionen af denne publikation udgør ikke en godkendelse af indholdet, som kun afspejler forfatterens synspunkter, og Kommissionen kan ikke holdes ansvarlig for enhver brug, der måtte blive gjort af oplysningerne deri.