

OPLEIDING DUURZAME GEBOUWEN

CIRCULAIRE ECONOMIE : ONGEBAKKEN AARDE

HERFST 2024

De weerbaarheid van bouwwerken uit ongebakken aarde

Hoe het prestatieparadigma overstijgen bij structurele overwegingen?

Cédric EVRARD





- ▶ Wat is een passende filosofie?
- ▶ Ongebakken aarde in het kader van transitie
- ▶ Aarde als bouw materiaal en de bijbehorende uitvoeringstechnieken
- ▶ Illustratie van de tools waarover de ingenieur beschikt



WEERBAARHEID

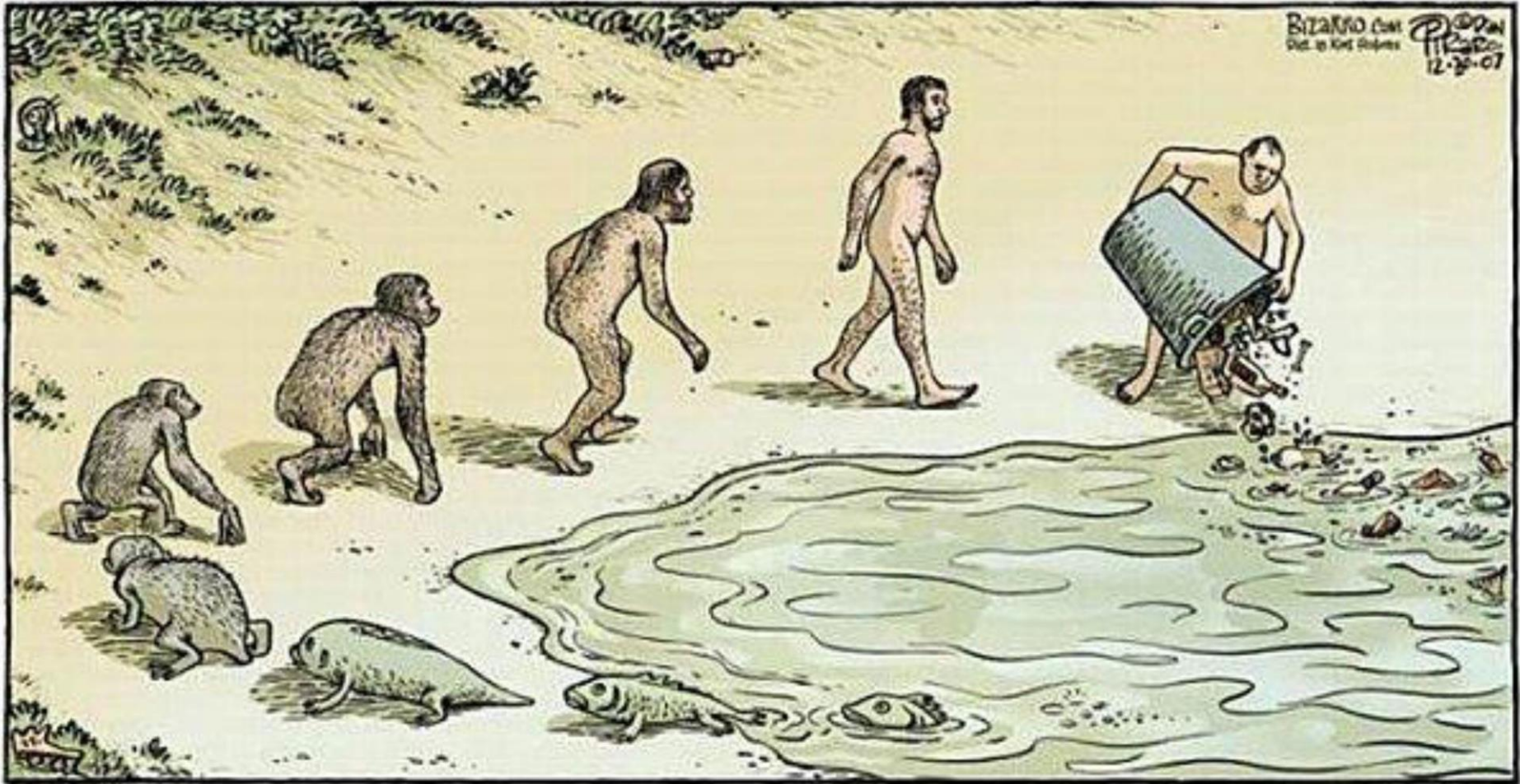
- ▶ Prestaties
- ▶ Variabiliteit
- ▶ Weerbaarheid

TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN ONGEBAKKEN AARDE

STRUCTURELE SOBERHEID



Levenscyclus



Hoe hier een halt aan toe roepen?



Olivier HamantTEDx Talks: https://www.youtube.com/watch?v=QI2_sO30ITY**Prestatie = effectiviteit + efficiëntie**

Je doel bereiken met zo weinig mogelijk middelen

Maar

- Optimaliseren maakt ook kwetsbaar
- Reboundeffect (hogere prestaties leiden tot meer productie en dus een hoger verbruik)
- De wet van Goodhart (wanneer een prestatie-indicator een doelstelling wordt, is het geen goede indicator meer)
- Ecologische kost (impact op klimaat, biodiversiteit, vervuiling)



© Babelio

We zijn verslaafd aan PRESTATIES

Om een antwoord te bieden op de ecologische crisis, kiezen we steeds meer voor prestaties: elektrificatie, digitalisering, landbouw met drones, enz.



Als we de focus op prestaties nu eens achter ons zouden laten

- ▶ Burn-out van mensen en ecosystemen
- ▶ Schaarste aan interacties



© JOHN WESSELS



© HR MAPS

Zouden we deze focus op prestaties wel missen?



Een bijzonder variabele wereld

Onze natuurlijke omgeving vertoont een onvoorspelbare en geduchte variabiliteit: overstromingen, stormen, bosbranden, droogte, extreme koude, ...

**Om deze variabiliteit het hoofd te bieden,
heeft het leven gekozen voor een strategie van onderpresteren**



Voorbeeld van lichaamstemperatuur:

- Bij 37 °C worden de proteïnen en enzymen van het lichaam niet optimaal benut. Ze functioneren slechts aan 50 % van hun potentiële prestatieniveau.
- Bij 40 °C presteren stofwisseling en immuunsysteem optimaal.
- Het is echter niet mogelijk om dit maximale prestatieniveau (40°C) langer dan 3 dagen vol te houden.

Door de stijging van de lichaamstemperatuur kan onvoorspelbare variabiliteit worden opgevangen.

Voorbeeld van fotosynthese:

een fenomeen dat 3,8 miljard jaar geleden verscheen en een gas transformeert tot een koolstofhoudende vloeistof. Maar het energierendement bedraagt slecht zo'n 0,5 % (voor een zonnepaneel is dat 15 %)



Levende wezens zijn weerbaar omdat ze niet performant zijn

- ▶ Ze zijn dus niet perfect aangepast, maar hebben daarentegen een groot **aanpassingsvermogen**
- ▶ Ze versterken dus niet hun sterke punten, maar ze bouwen voort op hun zwakke punten

De WEERBAARHEID van het leven

Doel van het leven is om het systeem stabiel te houden ondanks variabiliteit

- *politieke onzekerheid*
- *gezondheidsonzekerheid*
- *ecologische onzekerheid*
- *energieonzekerheid*

Geconfronteerd met een wereld waarin de variabiliteit toeneemt, moeten we onze weerbaarheid opbouwen

Voorbeeld: Agro-industrie  Permacultuur



WEERBAARHEID DOOR OLIVIER HAMANT

TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN ONGEBAKKEN AARDE

- ▶ **Ruimtelijke ordening**
- ▶ Energieprestaties
- ▶ Aarde als bouw materiaal
- ▶ Uitvoeringstechnieken

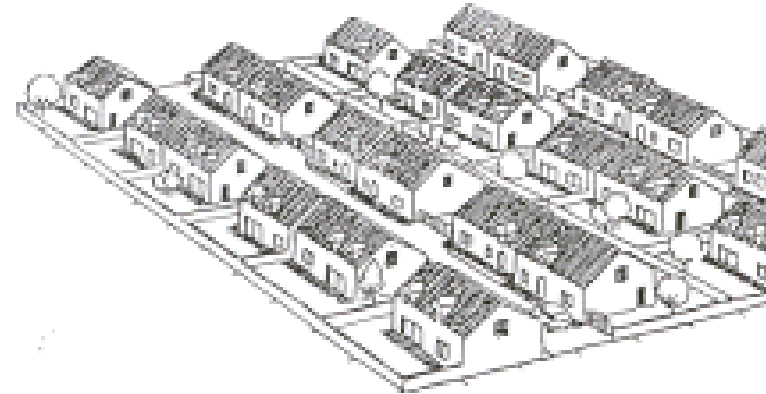
STRUCTURELE SOBERHEID



Ruimtelijke ordening

Uitdeinende verstedelijking

- ▶ Verstedelijking vernietigt het platteland ten voordele van een stedelijke levensstijl.
 - Behoud van natuur en platteland
- ▶ Verdichting van woongebieden met het oog op duurzame ontwikkeling.
 - Vermindering van transportbehoeften



- Ons gebruiken liggen aan de basis van de crisissen
- Overvloed stimuleert onderlinge concurrentie

Weerbaarheid = proactief nadenken over het gebruik van geobaseerde en biobaseerde materialen



Ruimtelijke ordening



Cohousing en coöperatie

- ▶ Met anderen samenleven of samenwerken in een geest van solidariteit (sociale en psychologische weerbaarheid)
- ▶ Levenskwaliteit en comfort dankzij gemeenschappelijke ruimtes en voorzieningen.
- ▶ Samenleven vereist groepsbeslissingen, het afspreken van gemeenschappelijke regels, enz. en dat is nooit gemakkelijk.

- Alleen ga je sneller, samen kom je verder!
- Ontwikkeling van een collaboratief beslissings- en ontwerpproces

Weerbaarheid = proactief nadenken over het gebruik van geogebaseerde en biogebaseerde materialen





Shibam, Jemen, 17e-eeuwse ommuurde stad

WEERBAARHEID DOOR OLIVIER HAMANT

TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN ONGEBAKKEN AARDE

- ▶ Ruimtelijke ordening
- ▶ **Energieprestaties**
- ▶ Aarde als bouw materiaal
- ▶ Uitvoeringstechnieken

STRUCTURELE SOBERHEID

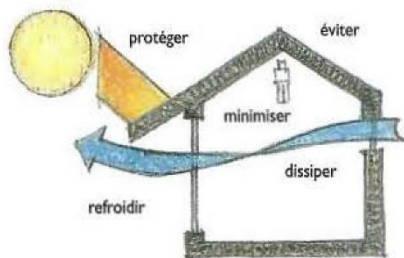


Energieprestaties van gebouwen

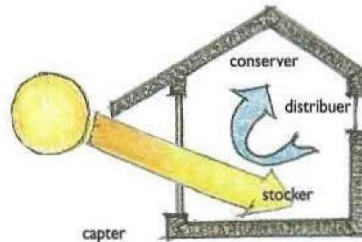
Bioklimatologische architectuur

1. Klimaat en milieu
2. Gebouwschil en architectuur
3. Levensstijl van bewoners
4. Benutten en beschermen
5. Verwarmen en ventileren

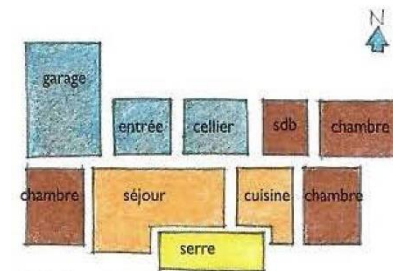
Stratégie du froid



Stratégie du chaud



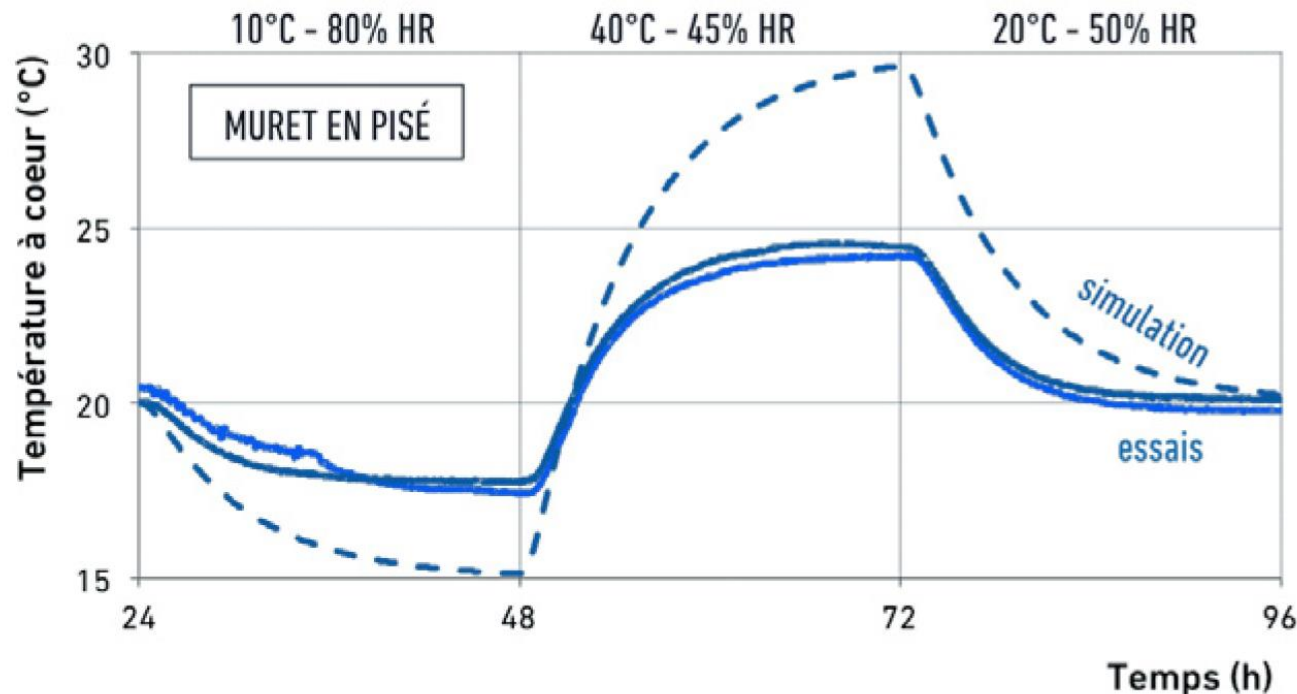
Weerbaarheid = vermogen om zich aan omgeving aan te passen ⇒ niet zomaar passief



Principes du zonage thermique.



Energieprestaties van aarde



- Thermische inertie
- Materiaal met natuurlijke faseverandering

verschil tussen de experimentele metingen van de temperatuur in de kern van het muurtje en de prognose verkregen d.m.v. een eindige-elementenmodel.

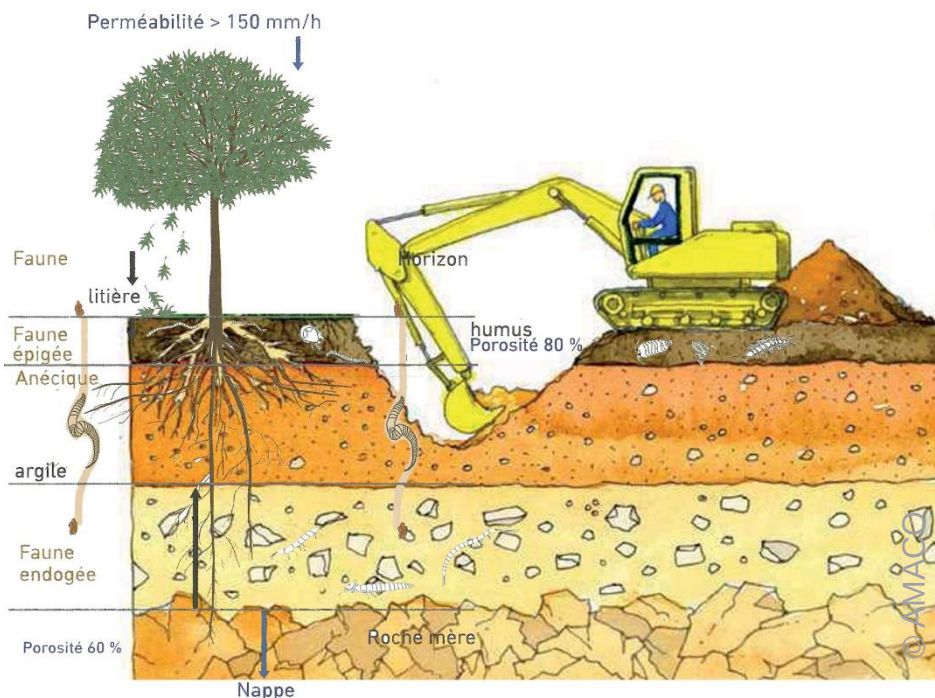
Het water verandert van toestand: het verdampt of condenseert en absorbeert hierbij energie of geeft hierbij energie vrij.

Weerbaarheid = benutten van winsten die moeilijk te kwantificeren en dus niet in normen te vatten zijn



Aarde als bouw materiaal

Lokaal en overvloedig aanwezig materiaal dat slechts weinig verwerking vereist



LINEAR ECONOMY



RECYCLING ECONOMY



CIRCULAR ECONOMY



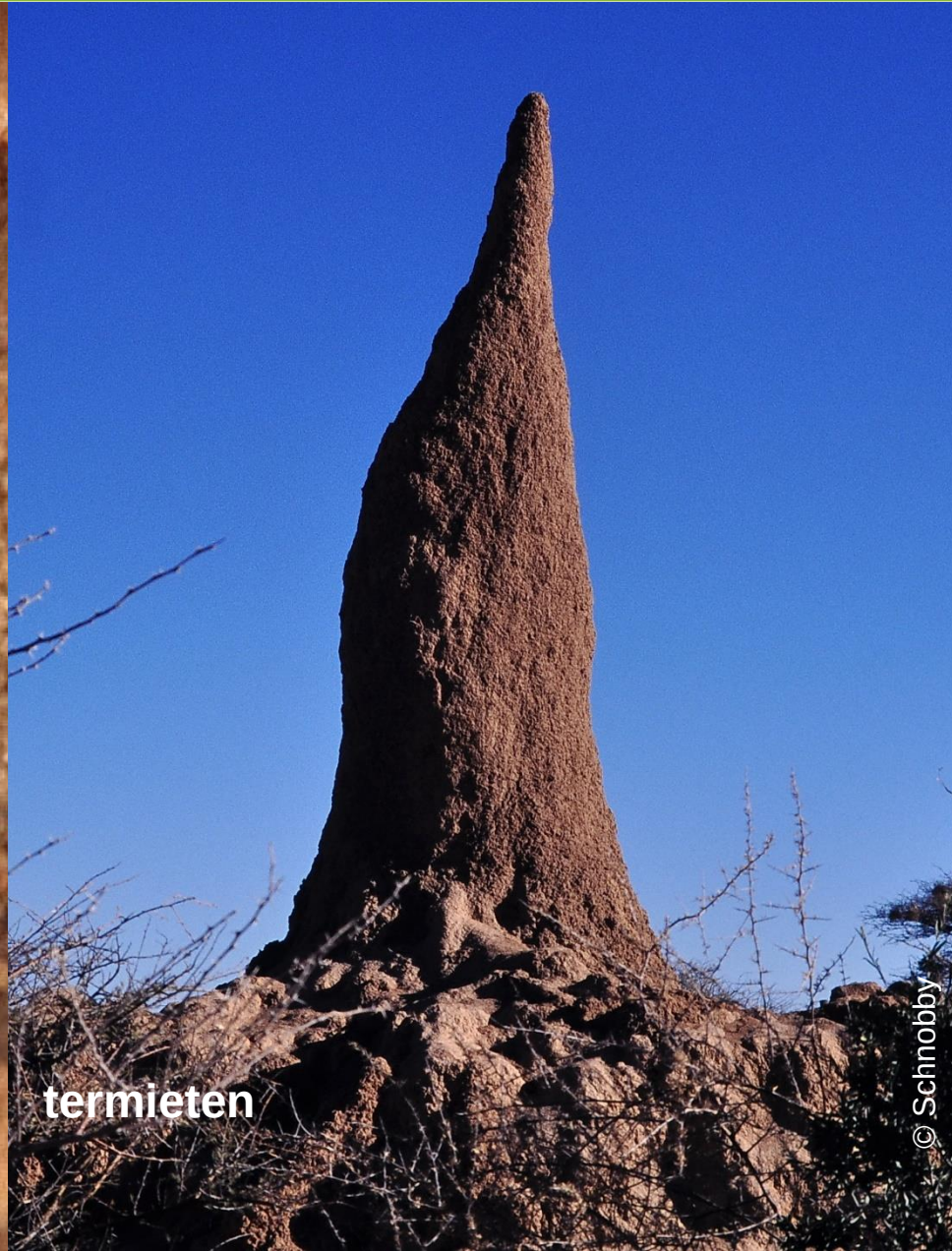
(source : Plan C)

Ideaal circulair materiaal
dat echter met andere levende wezens gedeeld moet worden





solitaire bij



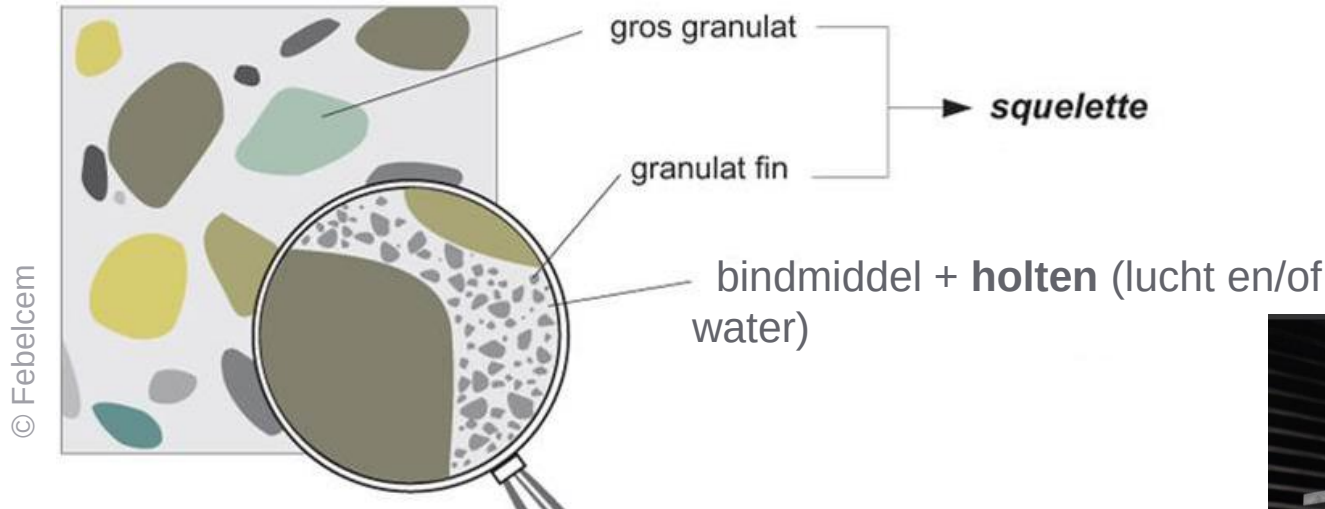
termieten

Druksterkte**Minder performant materiaal**

→ sociale weerbaarheid = overvloed aan interacties



Aarde, samengesteld uit minerale materialen



- ▶ Hoe minder holten, hoe sterker de samenstelling.

Vergelijkbaar met beton

- ▶ De druksterkte voorspellen door experimentele metingen.
- ▶ De samenhang tussen microstructuur en mechanische eigenschappen is uiterst complex.

Maar er bestaat geen norm!



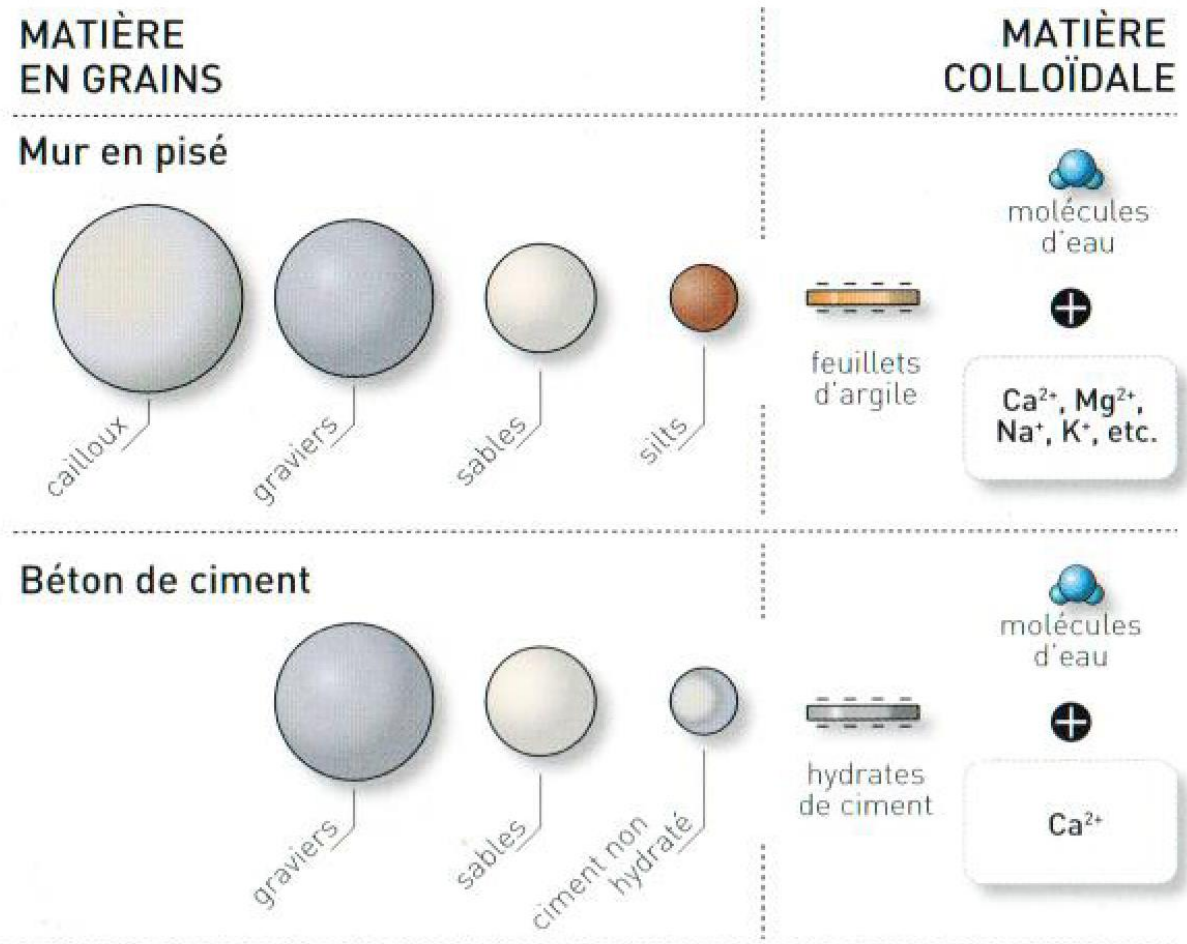
Vergelijking met beton: samenstelling van het mengsel

Granulaten of aggregaten: inerte materialen (gebroken grind, zand, ...)

Bindmiddel: materiaal dat andere materialen (cement, kalk, klei, ...) kan binden.

Water: vereist om een specie met variabele homogeniteit te verkrijgen.

Toeslagstoffen: wijzigen de fysische en chemische eigenschappen van het mengsel



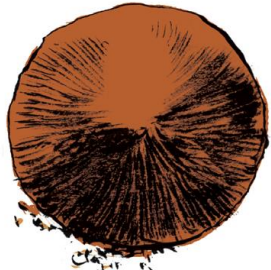
Het skelet

Welke aarde om te bouwen?

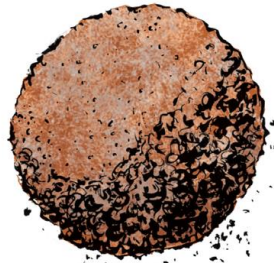
- ▶ Mogelijkheid om de samenstelling van het mengsel te herformuleren
- ▶ Voorafgaande multidisciplinaire studies
 - Beschikbaarheid van grondstoffen in de nabijheid van de bouwsite
 - Bepalen van eventuele verbeteringen



des argiles
 $< 2\mu\text{m}$



des silts
 $60\mu\text{m}$ à $2\mu\text{m}$



des sables
 2mm à $60\mu\text{m}$



des graviers
 2cm à 2mm



des cailloux
 20cm à 2cm

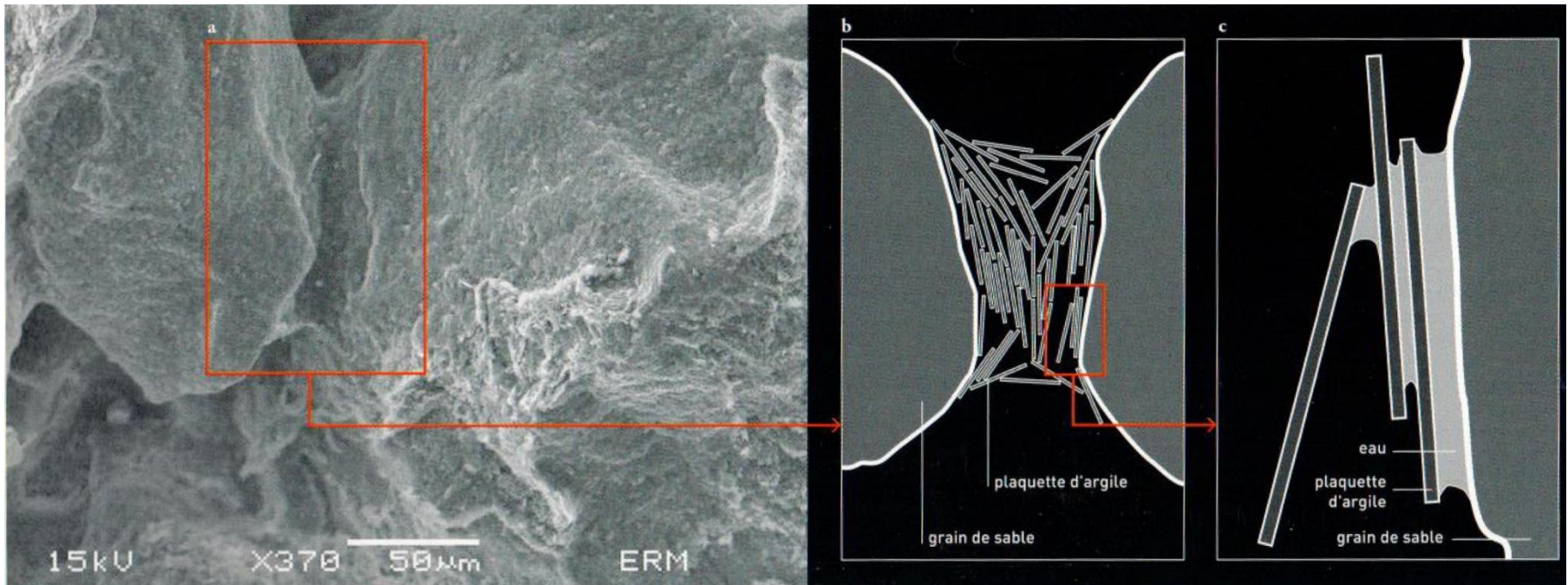
SOURCING = bloei van ongebakken aarde



Het bindmiddel

Klei + water + lucht = capillaire brug

- Eigenschappen van cohesie en plasticiteit verbonden aan water.



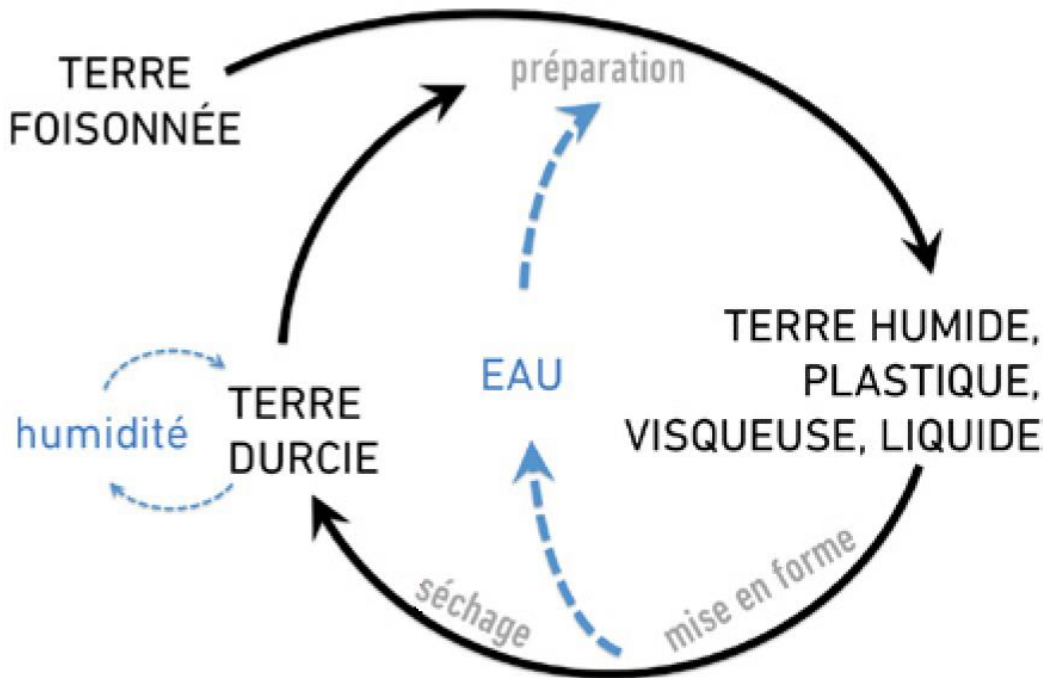
Capillaire brug ↔ **interface tussen water en lucht**

- De capillaire krachten oefenen een zeer grote aantrekkingskracht uit.
- Optimalisatie van het oppervlak tussen water en lucht.



Drogen om uit te harden

- ▶ Gelijktijdige aanwezigheid van water en lucht = cohesie.
- ▶ De vochtigheid van de lucht volstaat om de cohesie van de plaatjes te verzekeren.



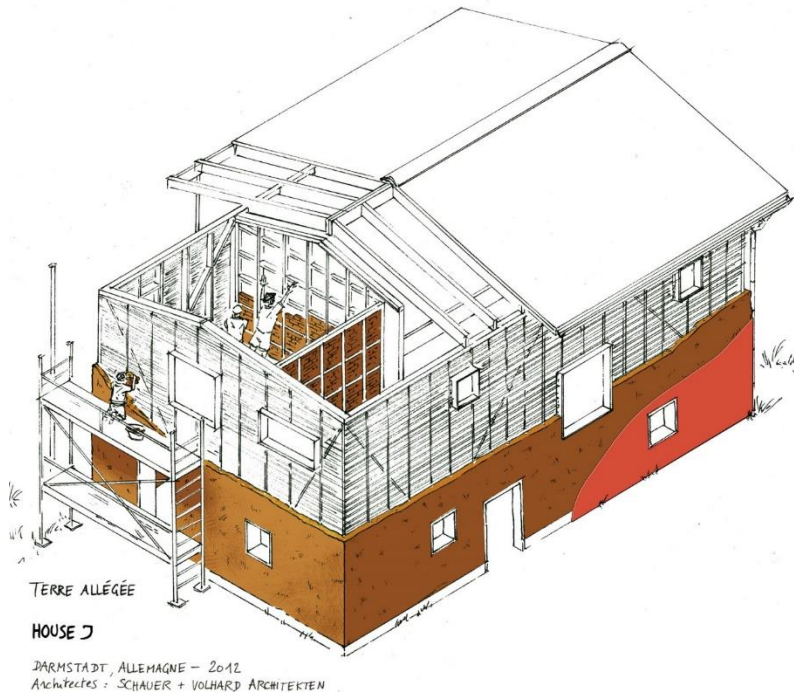
Oneindige omkeerbaarheid van leem (ongebakken aarde)
Opgelet bij verbeteringen om de prestaties te verhogen



Bouwtechnieken

Niet-structurele aarde: BEPLEISTERING

- ▶ Eenvoudig
- ▶ Risicovrij
- ▶ Bevat geen allergenen
- ▶ Goede regelaar van omgevingsvochtigheid



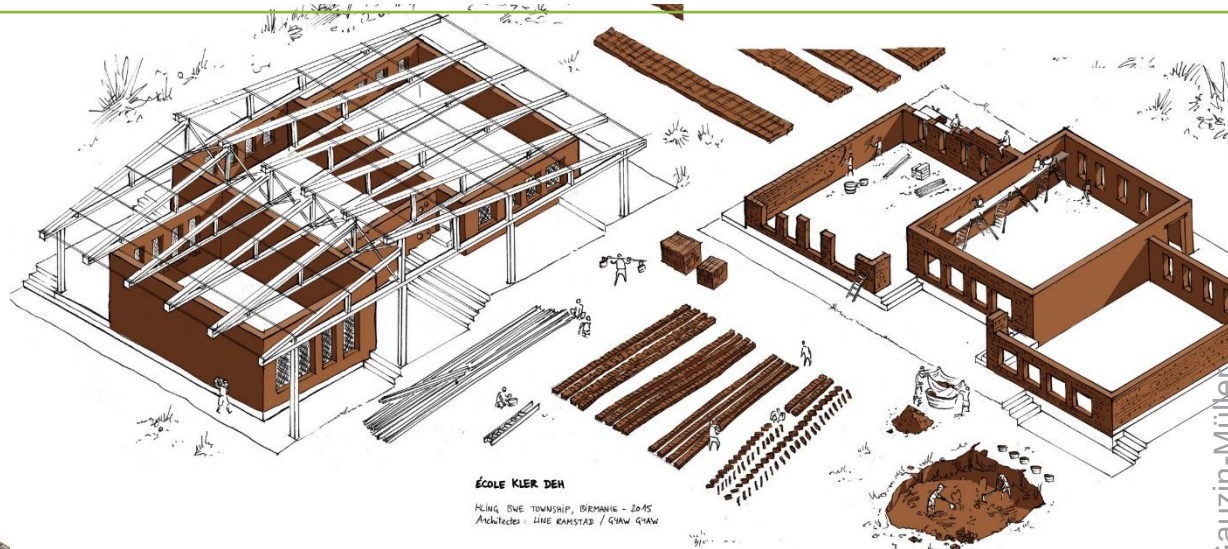
Niet-structurele aarde: LEEMMORTEL en lichte stroleem

- ▶ De mengeling wordt in plastische toestand verwerkt en aangebracht op een latwerk (hout, teen, bamboe) of een gevlochten rijswerk, vastgezet in een houten draagstructuur die met de naam vakwerk wordt aangeduid.
- ▶ De Duitser Franz Volhard bouwde voort op het principe van lichte stroleem op basis van stro gemengd met leempap.



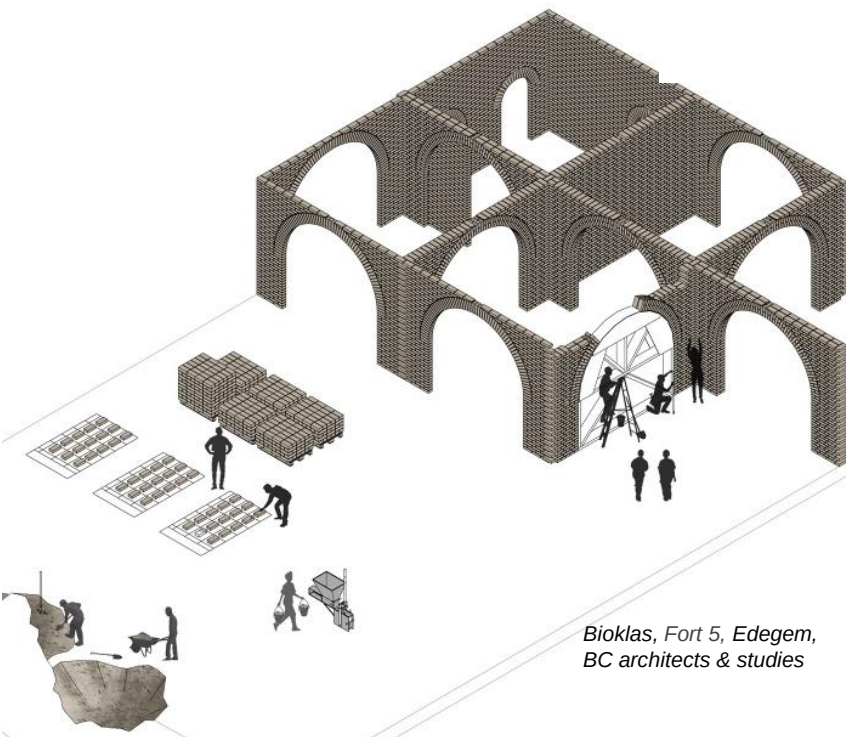
Aarde als draagelement: ADOBE

- ▶ handvormsteen uit ongebakken aarde
- ▶ enkele dagen lang in de openlucht of op overdekte plaatsen gedroogd



Aarde als draagelement: geperste leemstenen

- ▶ vervaardigd met behulp van hand- of gemechaniseerde persen
- ▶ de toevoeging van cement of kalk is gangbaar om de mechanische eigenschappen en de watervastheid te versterken: onomkeerbaar

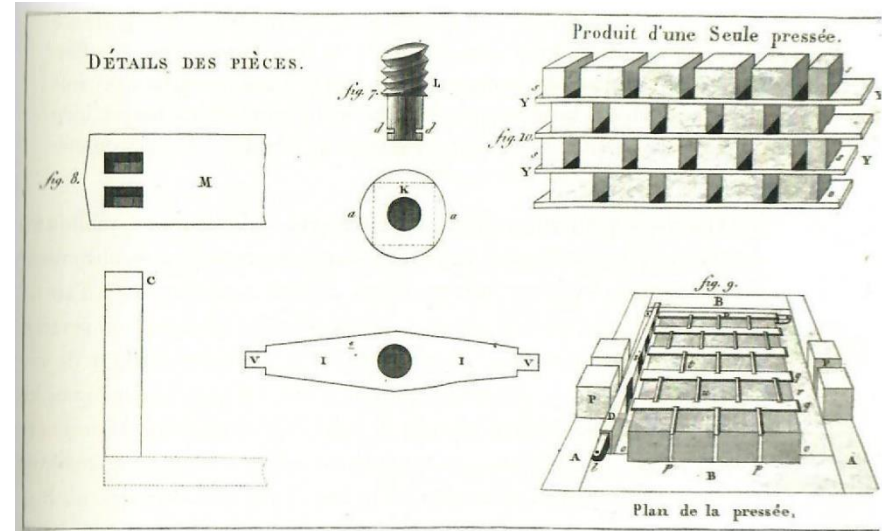
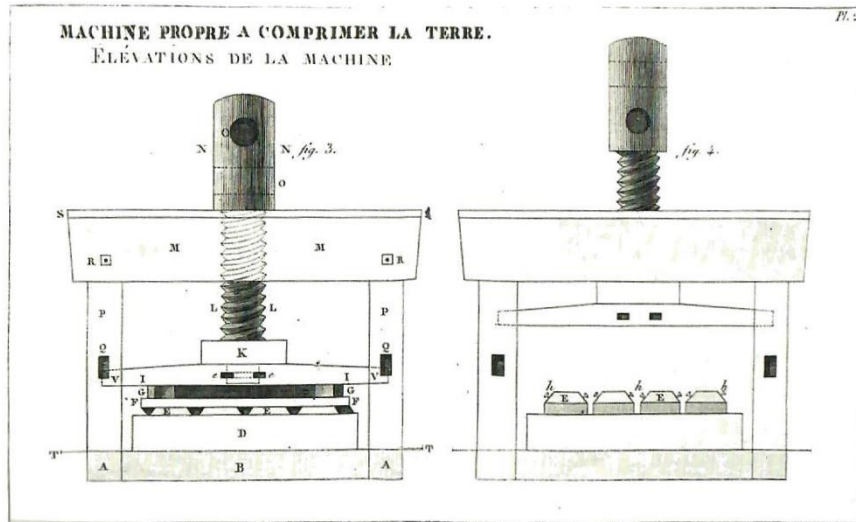


Bioklas, Fort 5, Edegem,
BC architects & studies



François Cointereaux (1740-1830)

- Leemsteenmachine: geperste leemstenen, voorloper van betonblokken

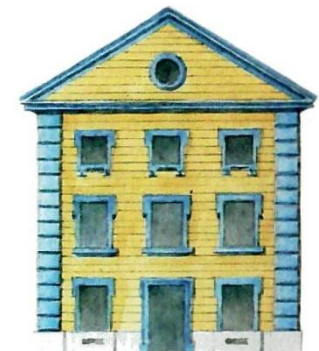


Innovatie en onderzoek

De keizer bekritiseerde de realisaties van François Cointereaux in La Roche-sur-Yon: al dat geld voor een "stad van modder"



Stampleem

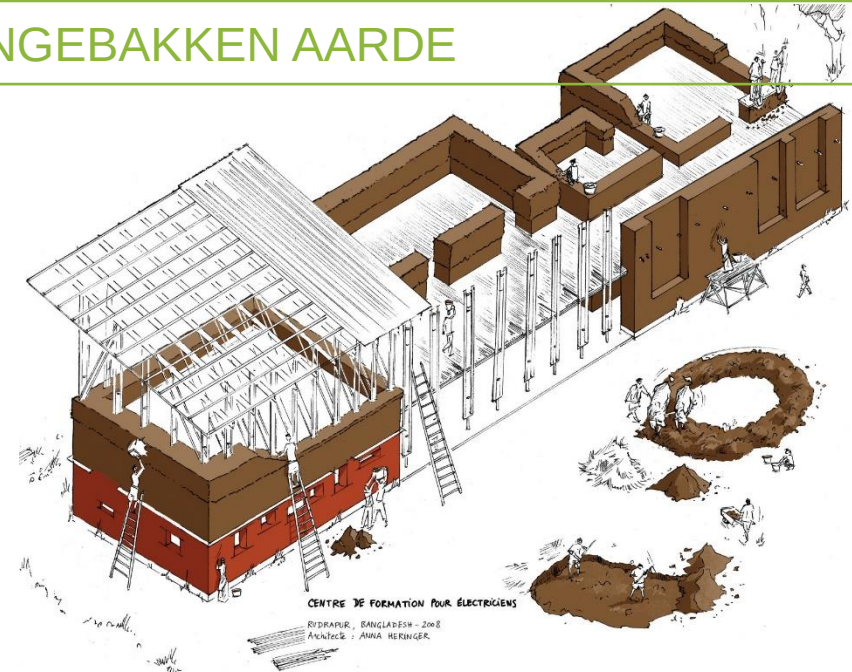
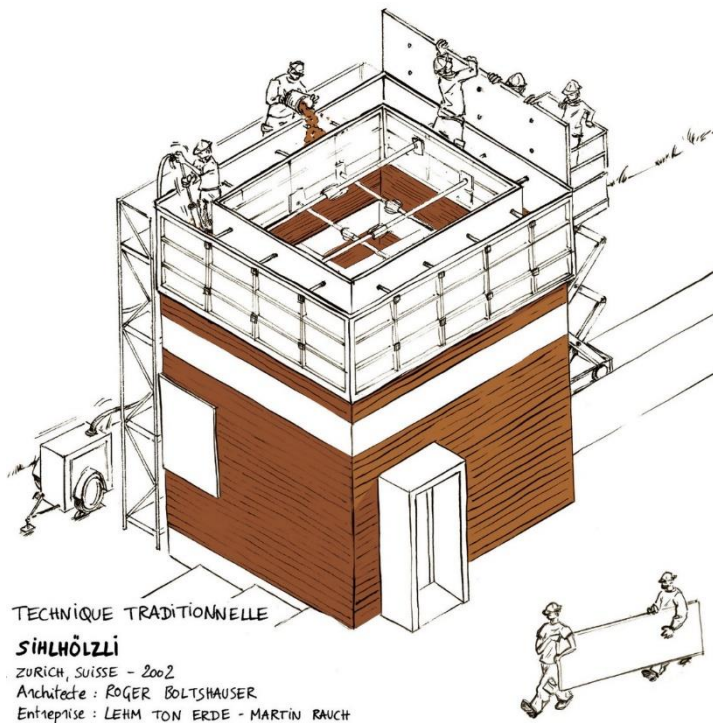


Kalk



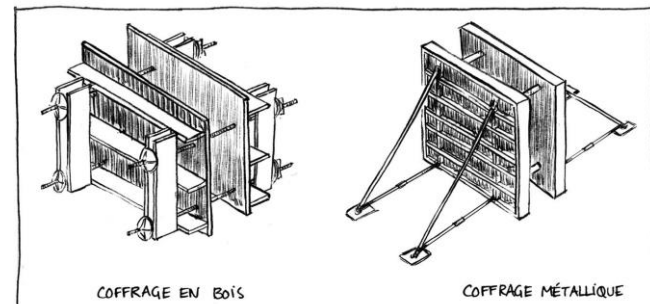
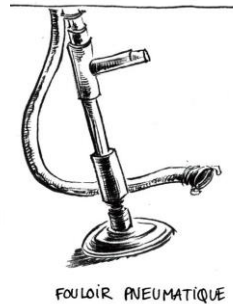
Aarde als draagelement: STROSTAMPLEEM

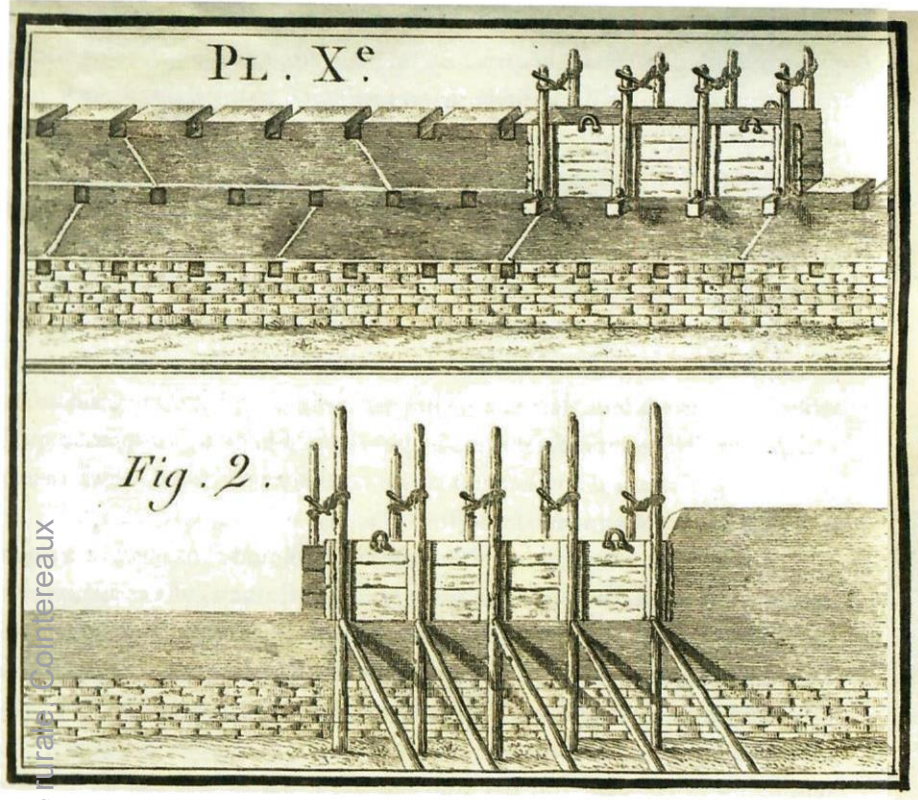
- ▶ massieve, monolithische muren
- ▶ tussen 40 en 60 cm dik.
- ▶ gebouwd door de opeenstapeling van leembollen of -kluiten
- ▶ bescherming tegen de weersinvloeden



Aarde als draagelement: STAMPLEEM

- ▶ Voorloper van beton
- ▶ Aangestampte aarde in een bekisting
- ▶ Soms verbeterd door toevoeging van cement of kalk: onomkeerbaar





Modernisering van de traditie



Aarde als draagelement: ter plaatse gegoten KLEIBETON

- ▶ kennis, knowhow, technologieën en innovaties op het gebied van cementbeton overdraagbaar naar kleibeton.
- ▶ Stabilisatie d.m.v. een hydraulisch bindmiddel voor de bekisting: tussen 4 en 8 % kalk of cement ten opzichte van 12 tot 15 % voor beton.
- ▶ **O&O**: cementvrij zelfhardend kleibeton. Toevoeging van een stollingsmiddel en/of vloeibaar makende stof met vertraagde werking.



Bekisting



Uitvoering

Aarde, een polymorf en aan alle omstandigheden aanpasbaar materiaal



WEERBAARHEID DOOR OLIVIER HAMANT

TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN ONGEBAKKEN AARDE

STRUCTURELE SOBERHEID

- ▶ **Gezond verstand**
- ▶ **Lastoverdracht**
- ▶ **Bogen en gewelven**
- ▶ **Technische details**
- ▶ **Geïdealiseerd voorstel**



Naar vereenvoudigd bouwen

- ▶ Een absolute eis
- ▶ Renovatiebehoefte reduceren
- ▶ Hergebruik van materialen bevorderen (gestandaardiseerde tools)
- ▶ Leesbaarheid van bouwmethodes (draagelement ↔ afwerkingselement)
- ▶ Knowhow en materialen: lokaal of regionaal
- ▶ Niet-gespecialiseerde bouwwijze
- ▶ Diepgaande analyse van technische en milieueisen
- ▶ Voorkeur geven aan lowtech (juiste technologische dosering voor eenvoudig onderhoud)
- ▶ **Structurele krachttoeren tot een minimum beperken**

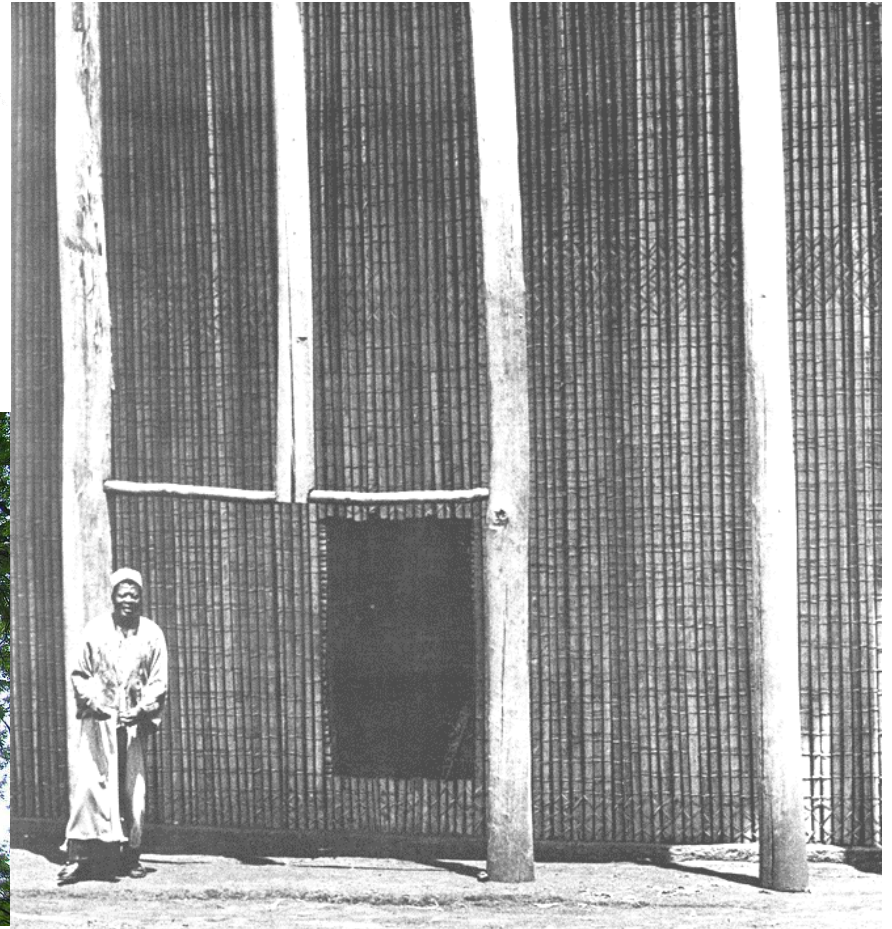
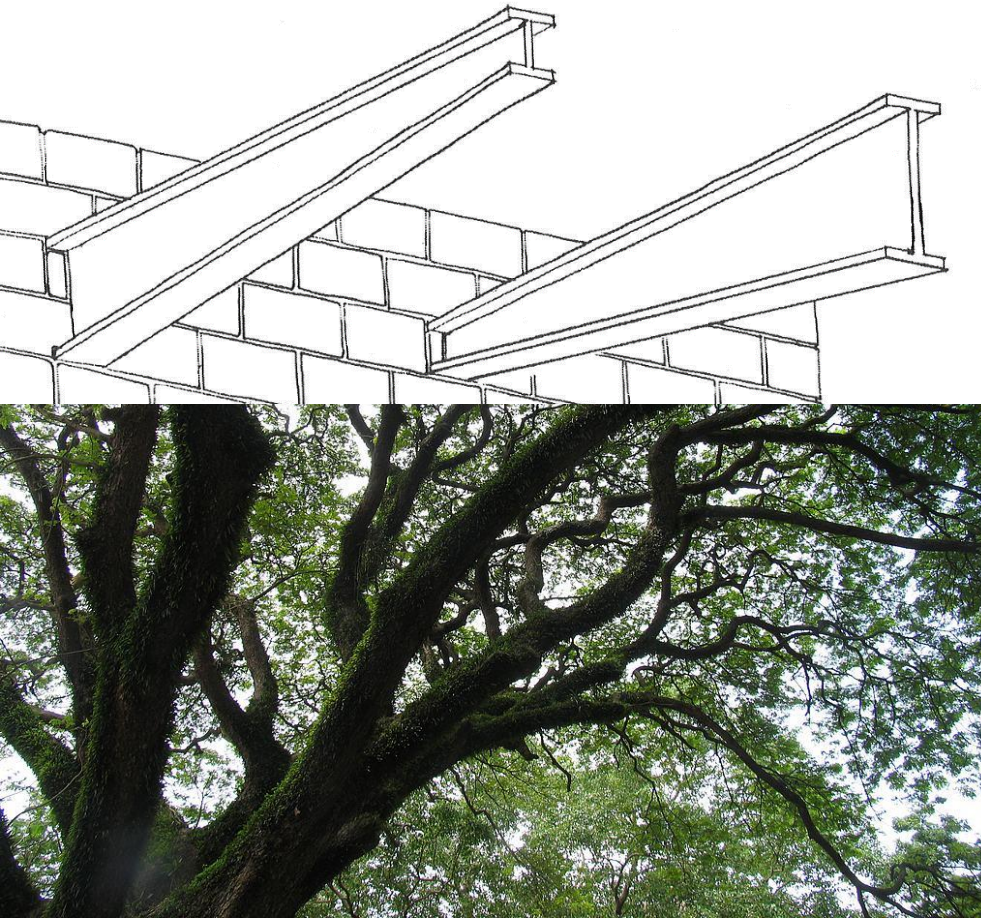


FRUGALITÉ
HEUREUSE
& CRÉATIVE



Gezond verstand

- Intuïtief begrip

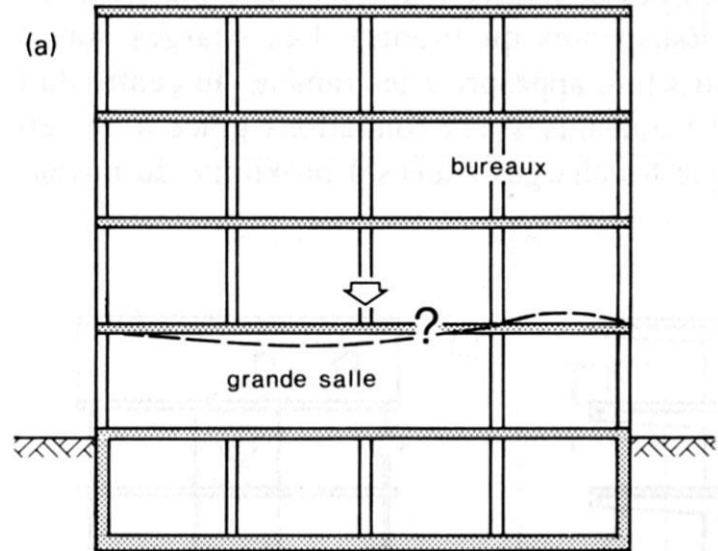
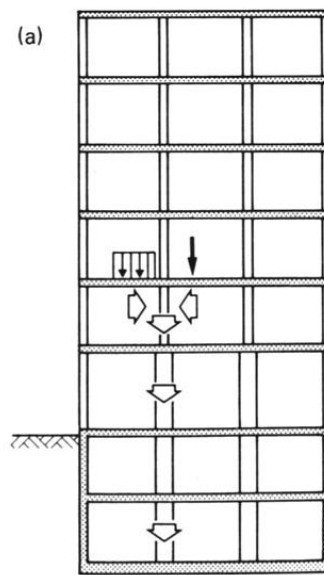
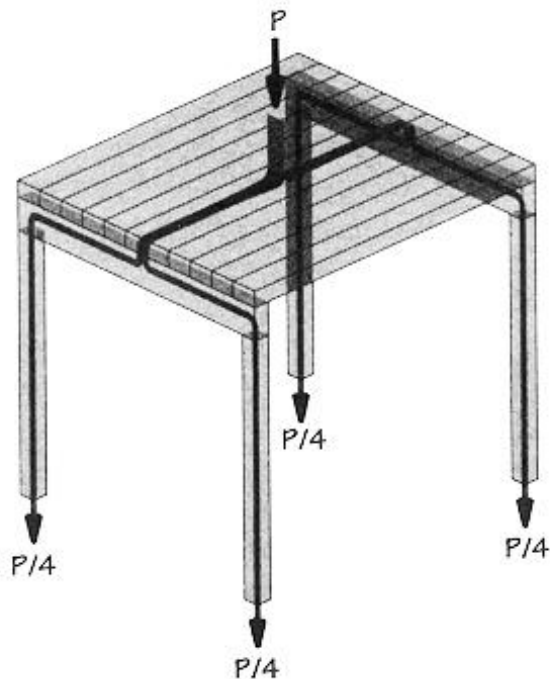


Symbolisch vermogen



Lastoverdracht

- ▶ Structuren dragen hun belastingen over aan hun steunconstructies.
- ▶ Het traject van de krachten in het gebouw tot aan de funderingen moet worden bekeken.



Singuliere punten

Bij uw projecten

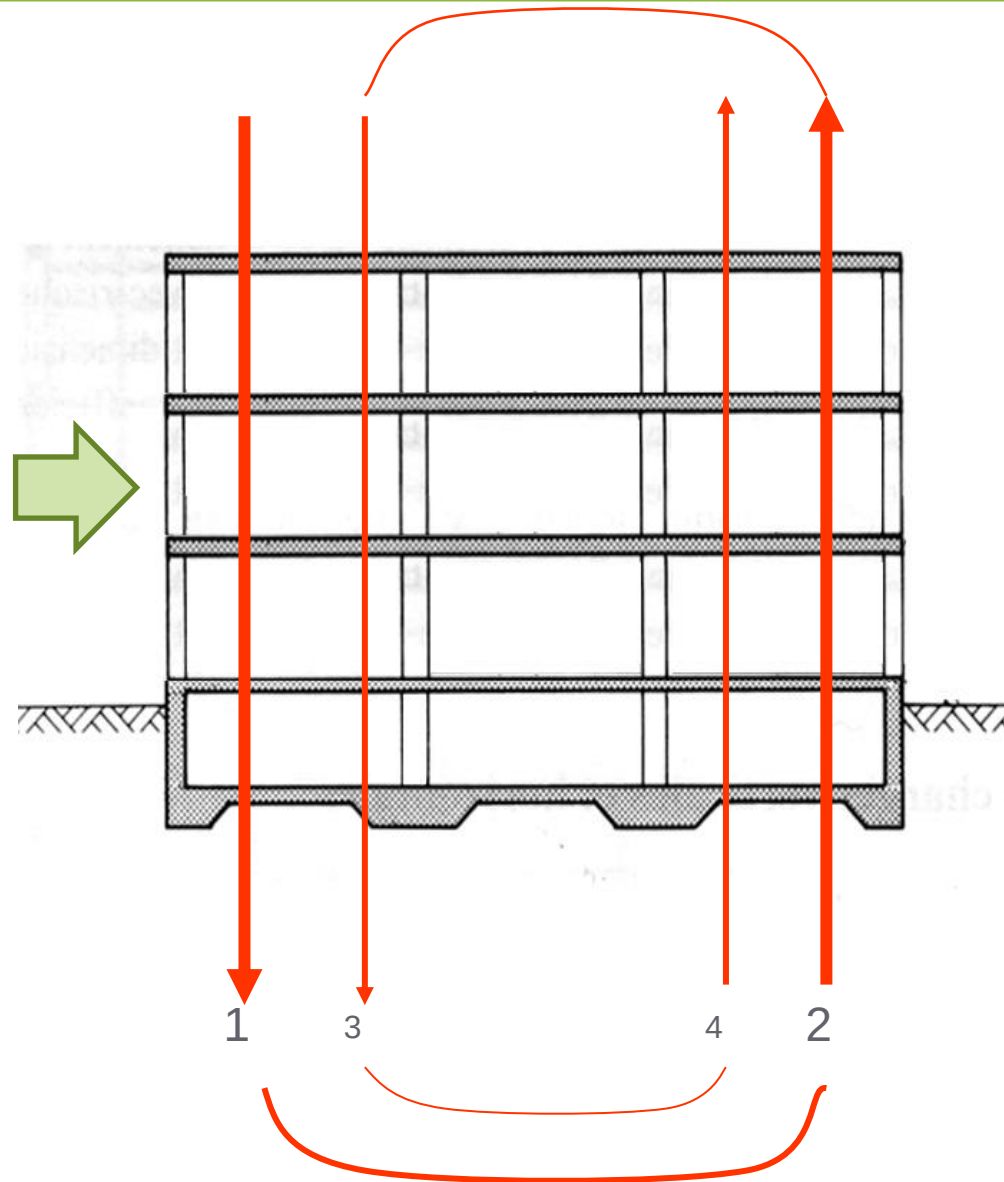
- ▶ Ervoor zorgen dat dit geen hangende vragen blijven
- ▶ Singuliere punten vermijden

Het is niet moeilijker dan dat



Verticale belastingen (zwaartekracht)

- ▶ Analyse verdieping per verdieping tot aan de funderingen.
 - ▶ Overspanningsrichting, materiële eigenschappen en afmetingen van de draagelementen
1. Alle kwesties moeten geïdentificeerd maar niet noodzakelijk opgelost zijn voor de volgende verdieping kan worden bekeken.
 2. De geformuleerde hypotheses worden al dan niet gevalideerd bij het volgen van het omgekeerde traject
- 3 en + En vervolgens herbegint men met nog meer nauwkeurigheid ...



Horizontale belastingen (wind, ...)

Herhalingen



Voorbeelden van opmerkelijke structuren



Coussée & Goris

Boerekreek in Sint-Laureins – 2008

- ▶ Ruimtelijke geometrie, licht
- ▶ Evolutief houten vakwerk



Rem Koolhaas

Maison Lemoine in Floirac – 1998

- ▶ ‘Zwevende doos’, enscenering, dramaturgie van de steunconstructies
- ▶ Portaalconstructie, omgekeerde balk met uitkraging en tegenwicht, betonwand en openingen

Weerbaarheid

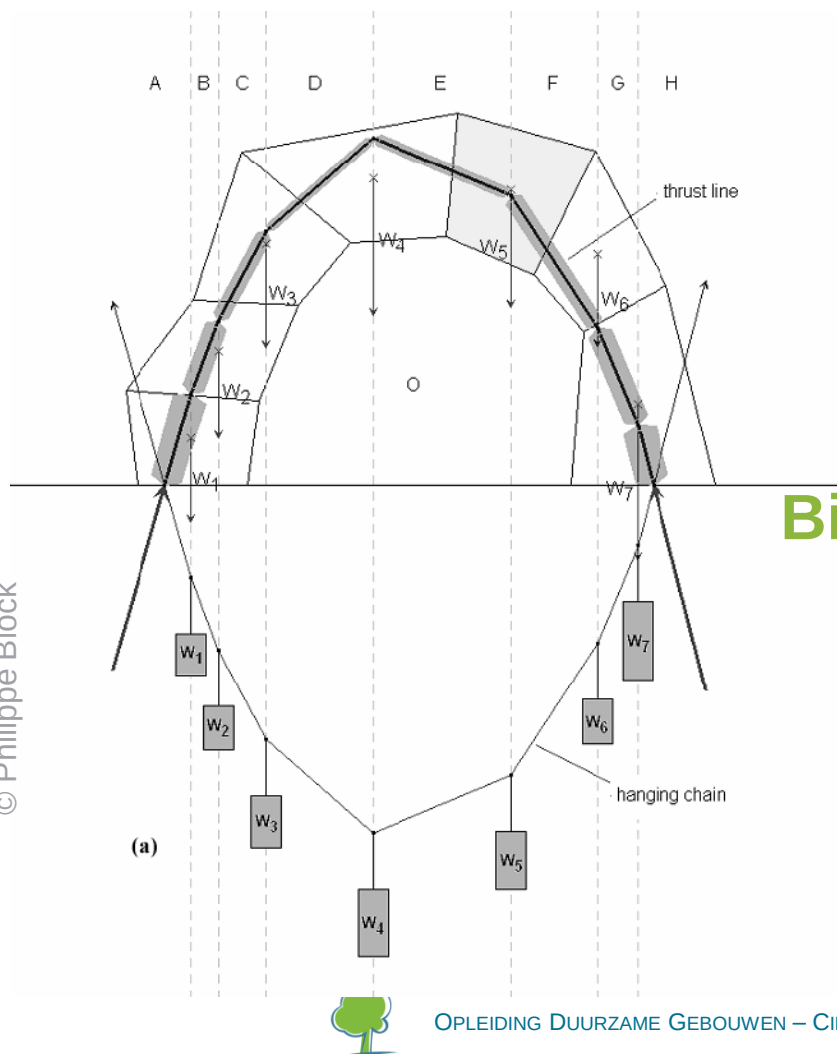
Prestaties



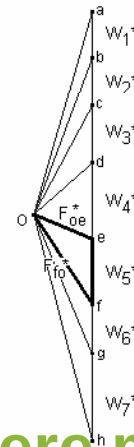
Aarde werkt onder druk

- Geometrie: grafische statica

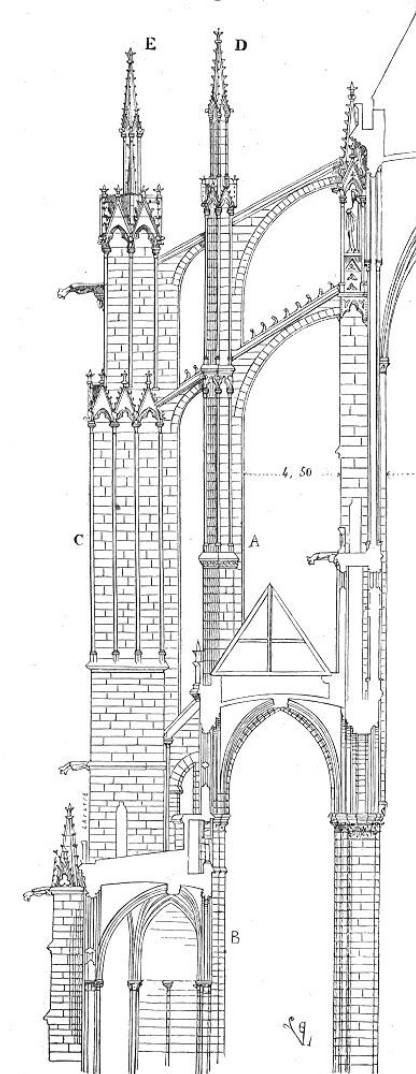
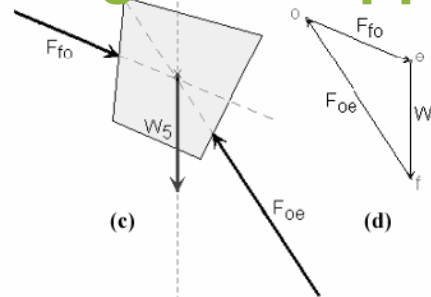
- Wat wil je, baksteen?
- Ik ben dol op bogen
Louis I. Khan



(b)

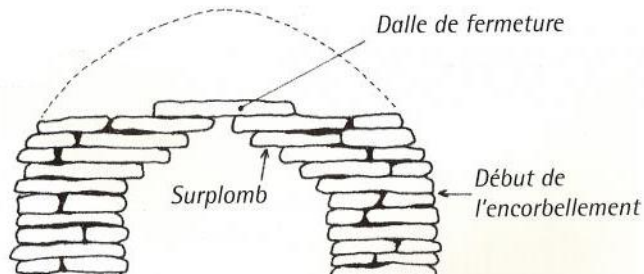


Bijzondere materiaal-eigenschappen

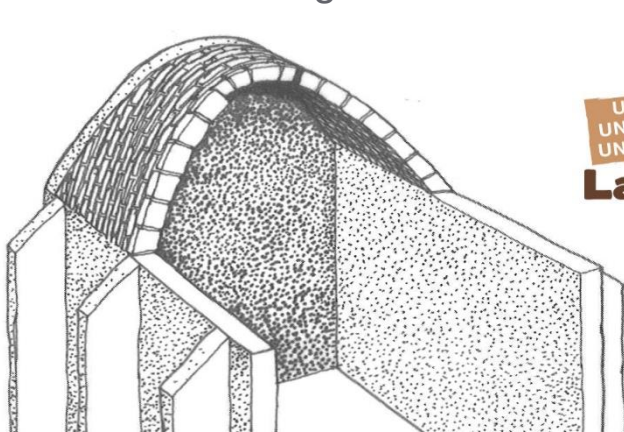


Uitvoering

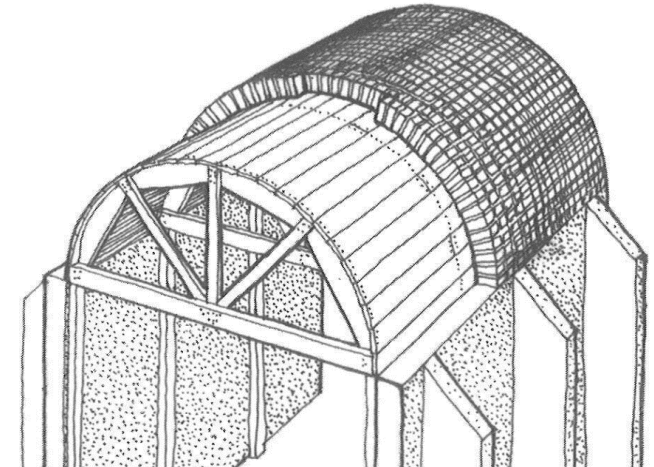
► Kraaggewelf



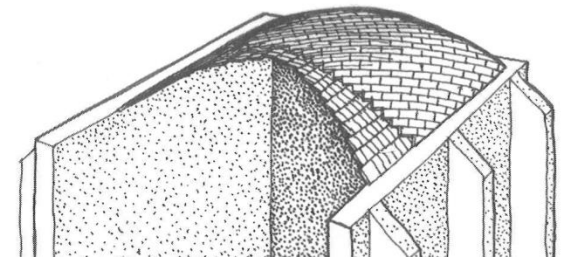
► Nubisch gewelf



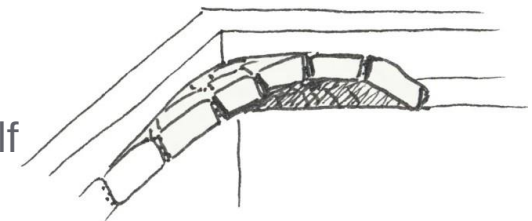
► Boog en gewelven met boogstenen



► Tamboerijngewelf



► Mexicaans gewelf

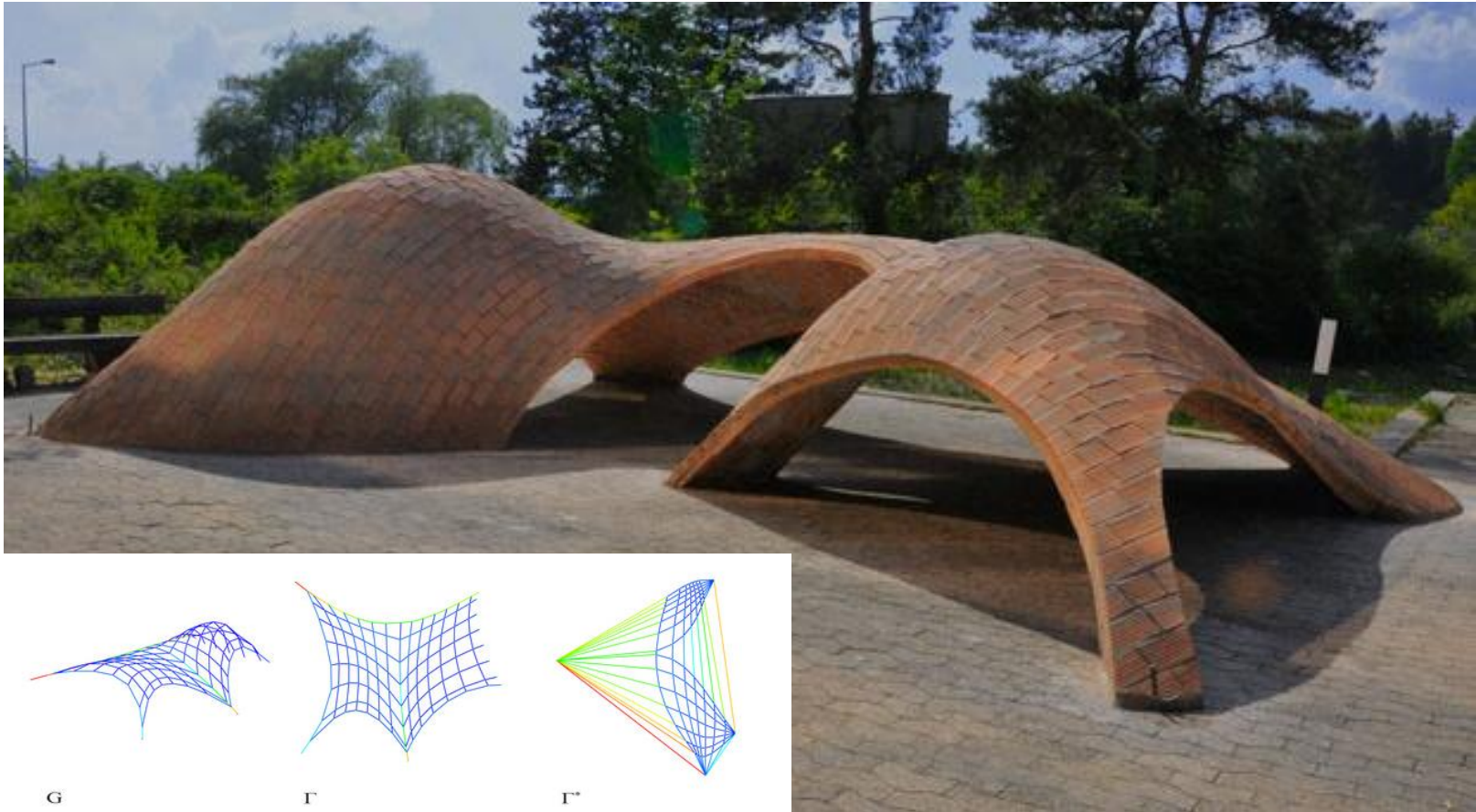




**Villa Janna Ecolodge, opleidingscentrum ongebakken aarde,
Marrakech, Denis Coquard**

Form-Finding bij drukbelasting

- Philippe Block, MIT, ETHZ, rhinovault



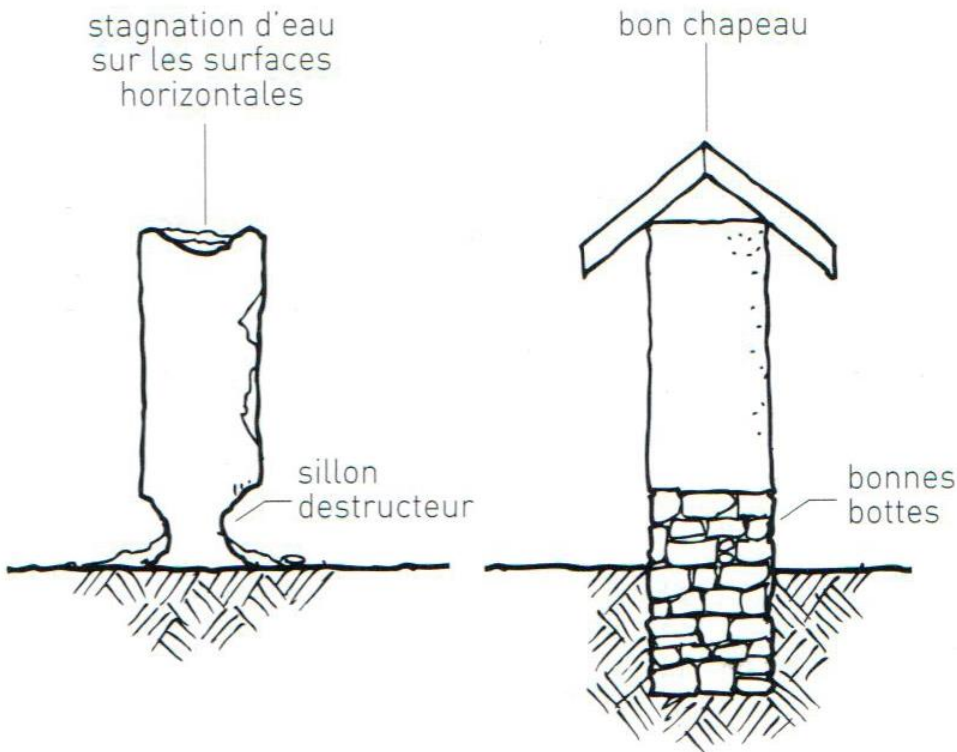


Mapungubwe Interpretation Centre, geperste leemstenen, Peter Rich

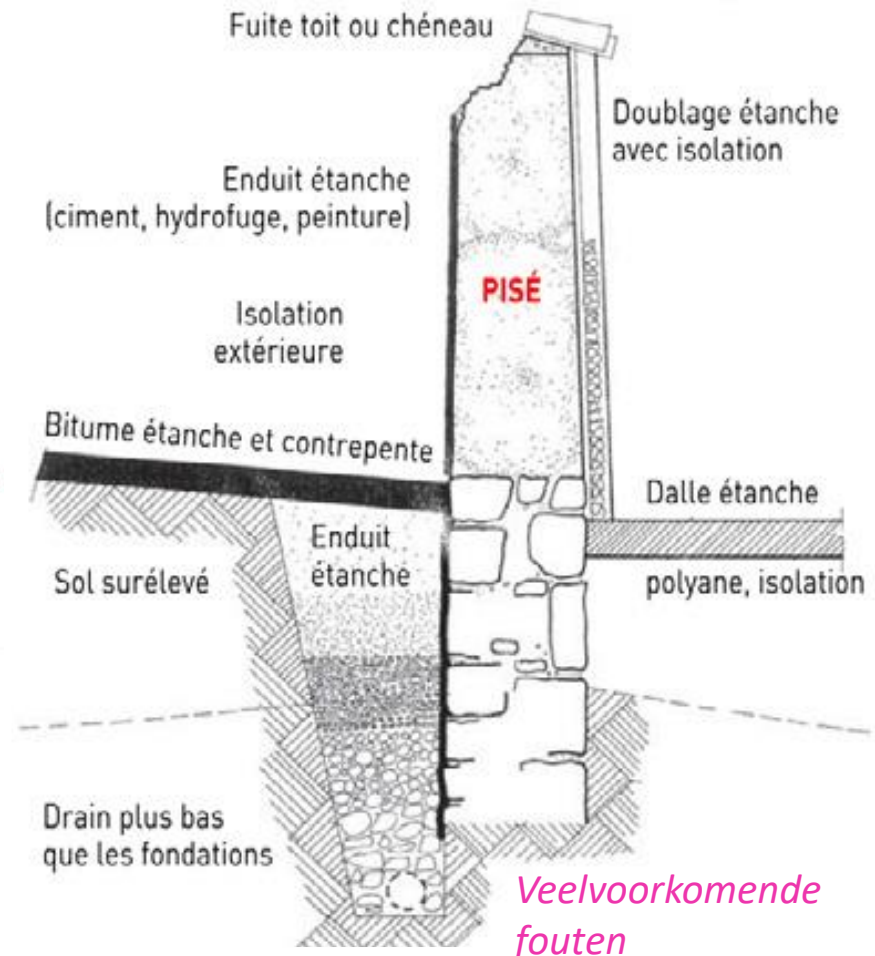


Waterpathologieën

- ▶ Een goede basis en afdekking
- ▶ Opgelet voor dampdichte materialen



De traditie begrijpen



Technische details

- Door de bouwknopen te analyseren, ontstaat er een duidelijk beeld.

1 - bouwmethode / lastoverdracht

30 - 300 jaar

2 - dichtheid van de buitenzijde (water en wind)

20 jaar

3 - thermische isolatie

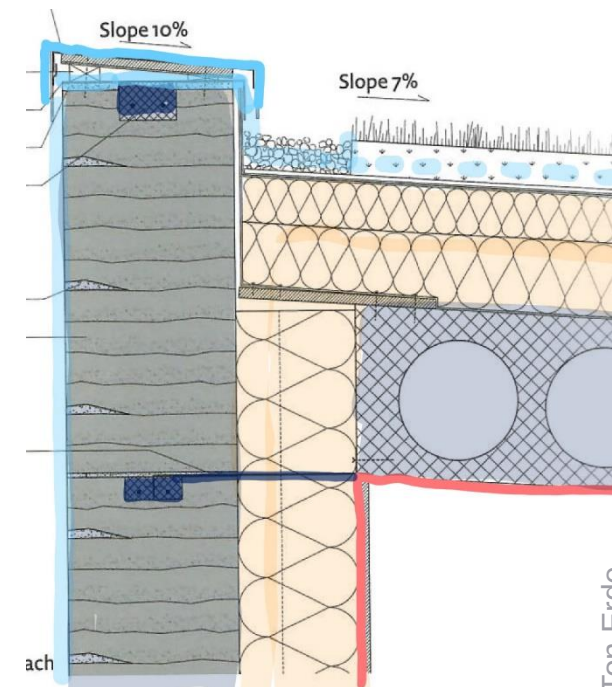
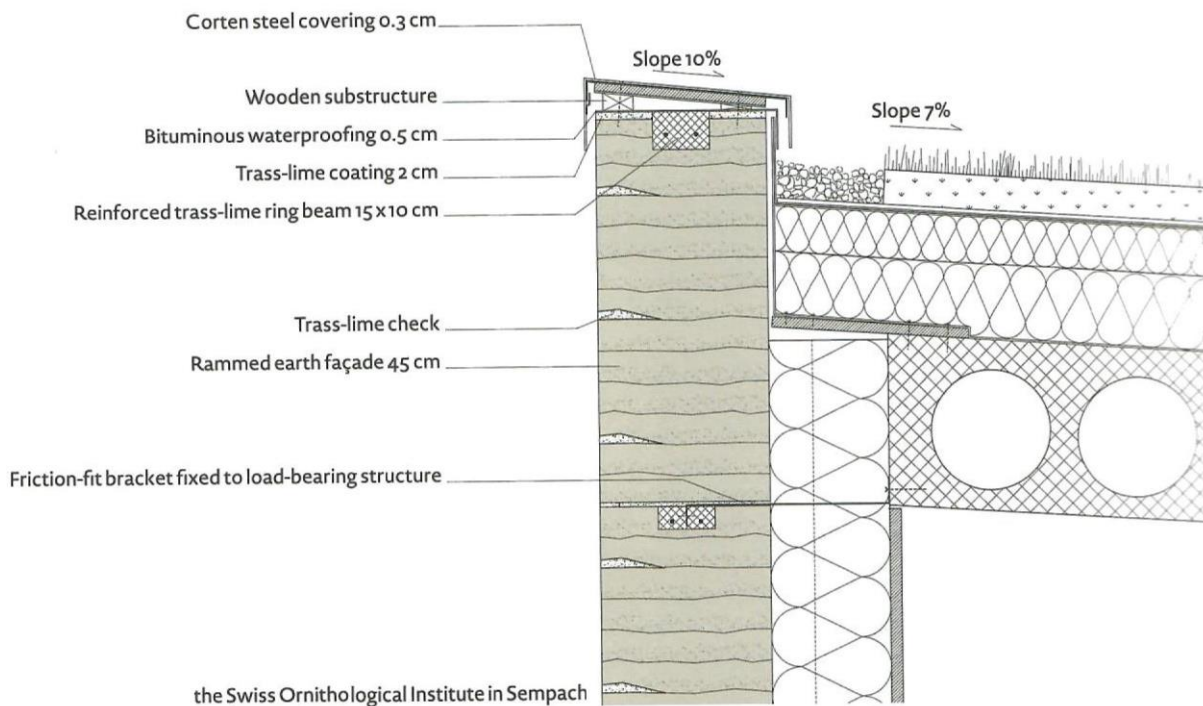
30 jaar

4 - dichtheid van de binnenzijde (lucht en waterdamp)

30 jaar

5 - inrichting, vloeistofverdeling

15 jaar



Het Zwitserse ornithologische instituut

Sempach, Zwitserland, 2015
:mlzd

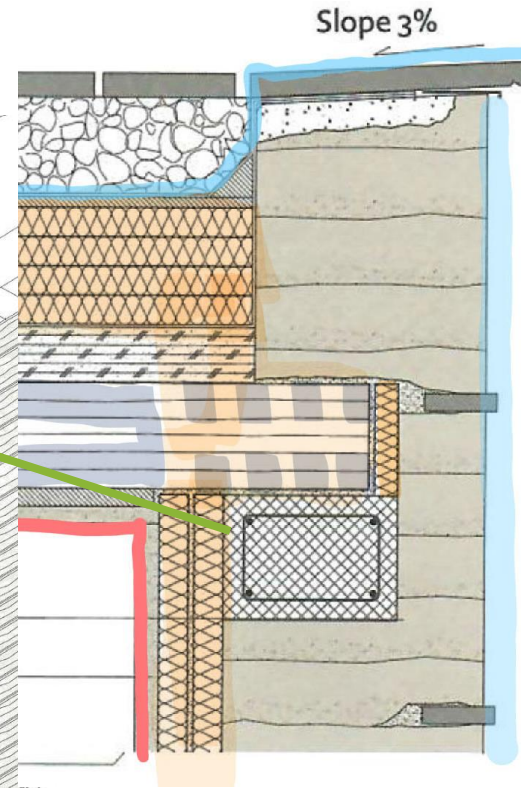
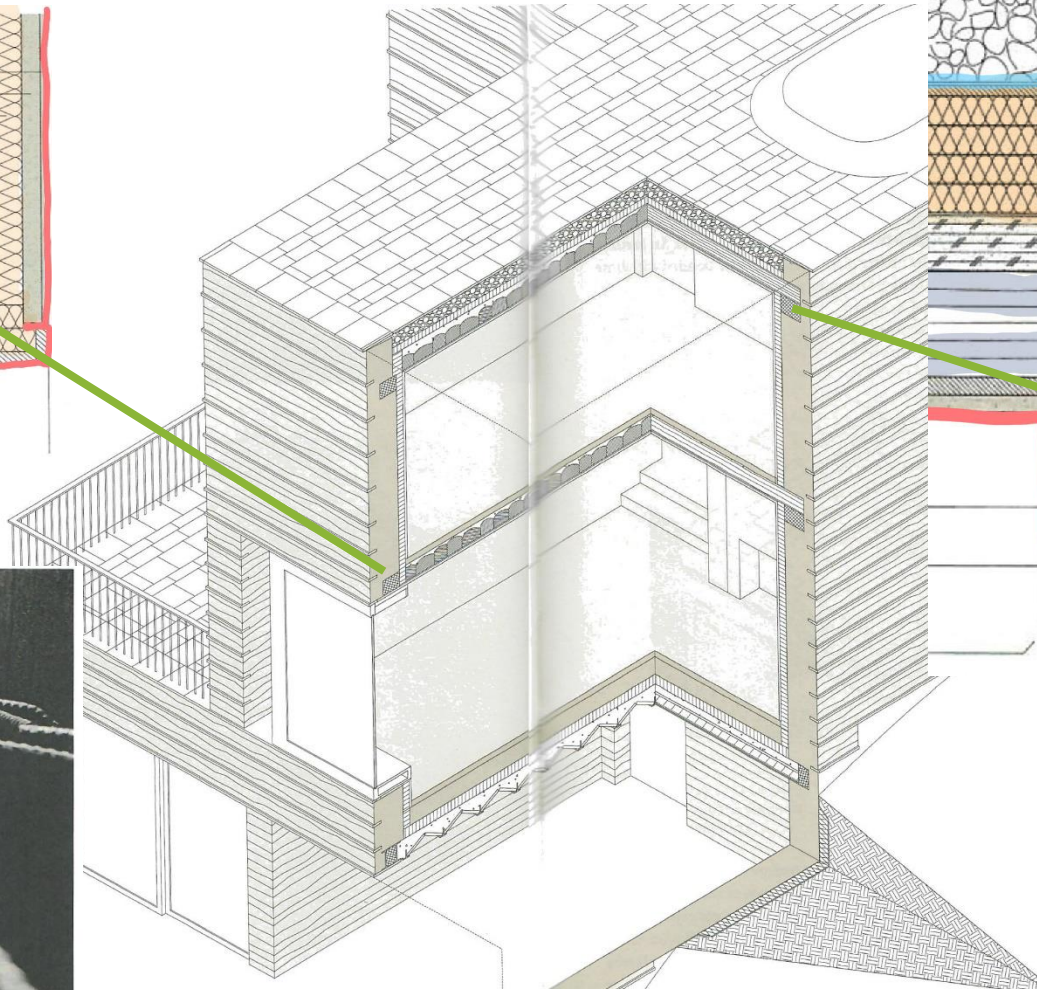
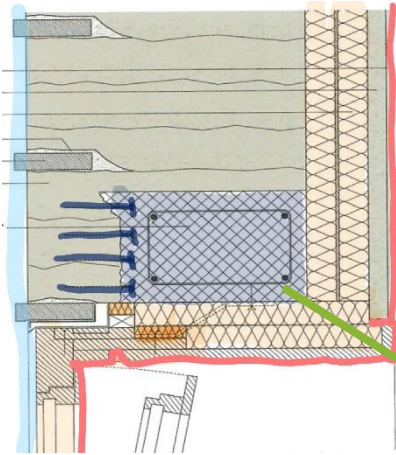




Het Zwitserse ornithologische instituut

Sempach, Zwitserland, 2015
:mlzd

Het huis van Martin Rauch



Schlins, Oostenrijk, 2005 – 2008
Roger Boltshauser / Martin Rauch





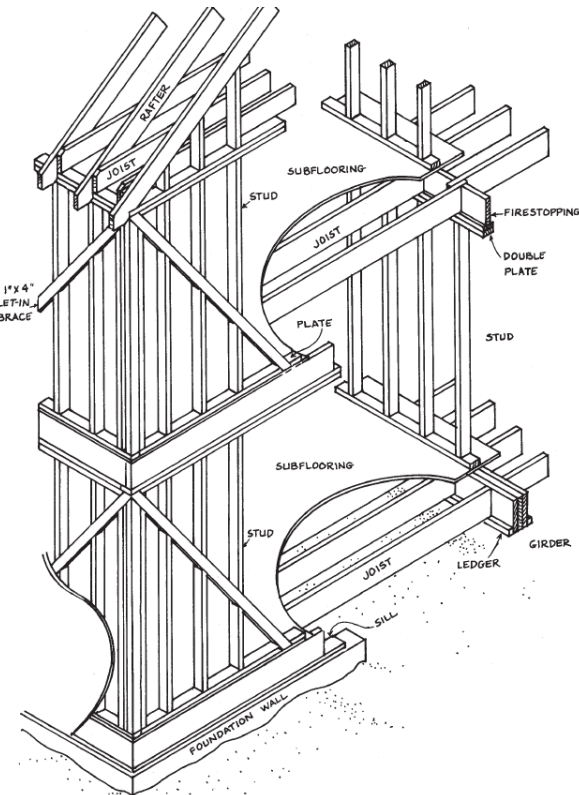
Haus Rauch

Schlins, Oostenrijk, 2005 – 2008
Roger Boltshauser / Martin Rauch

Geïdealiseerd voorstel met lichte stroleem

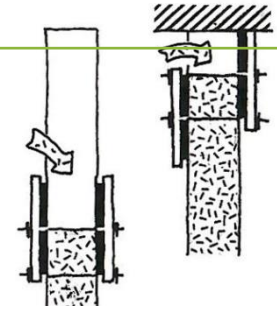
► Fase 1

- Draagstructuur
- Verstijving
- Tijdelijke afdekking



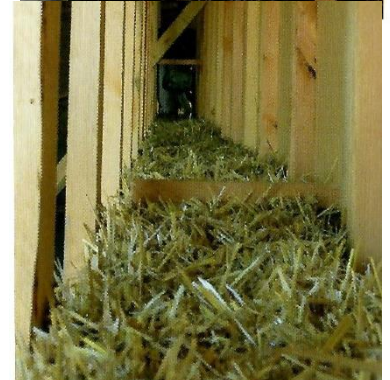
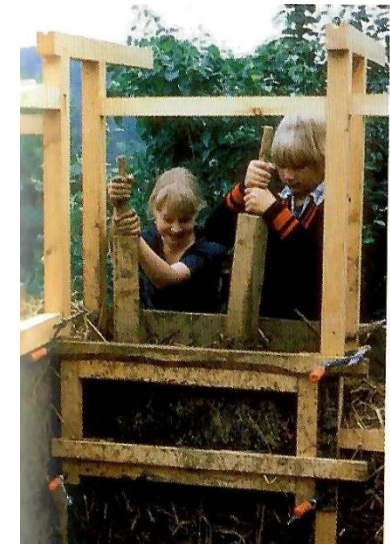
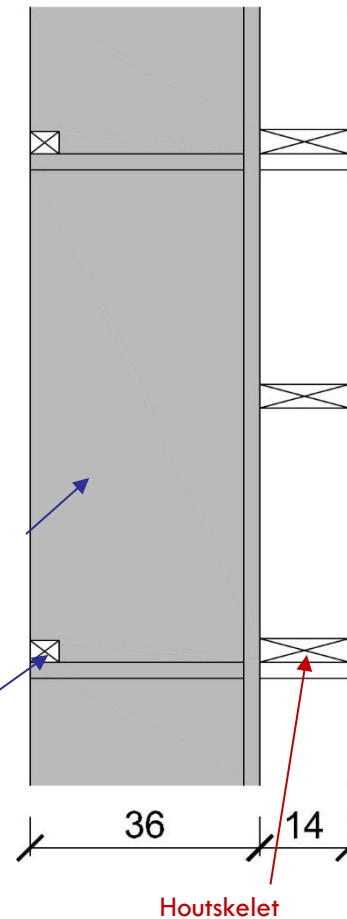
► Fase 2

- Isolatie



Lichte stroleem of stroleem

Secundaire structuur



STRUCTURELE SOBERHEID

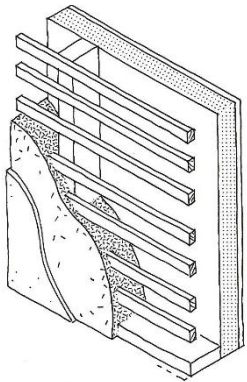
► Fase 3

Buiten

- Water- en winddichtheid

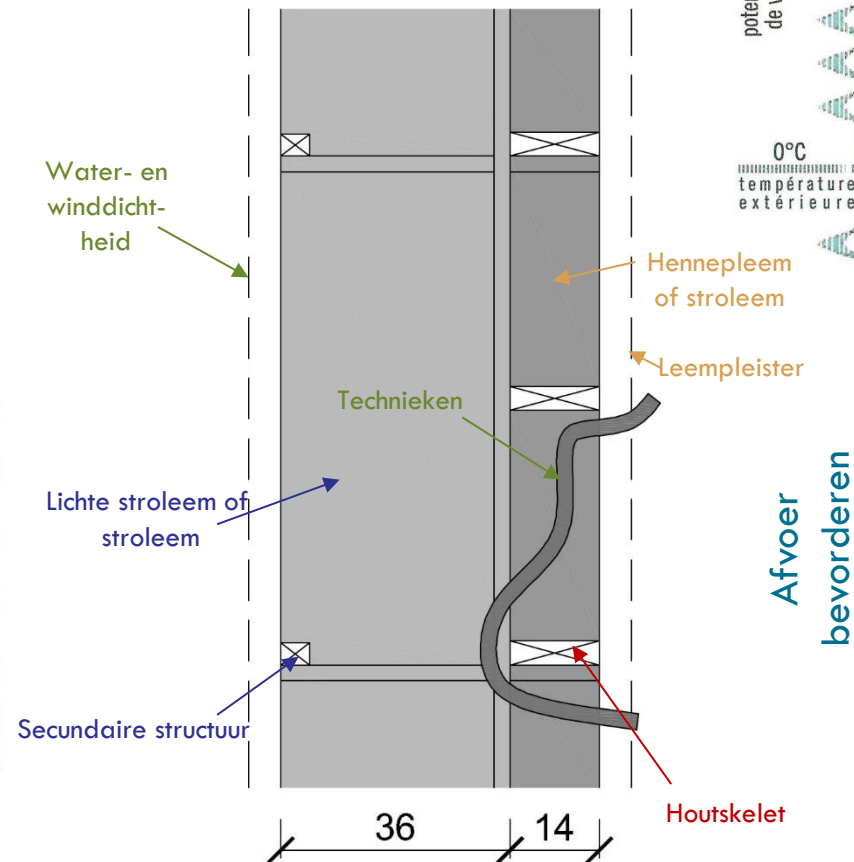
Binnen

- Technieken



► Fase 4

- Thermische inertie
- Regeling van de waterdamp



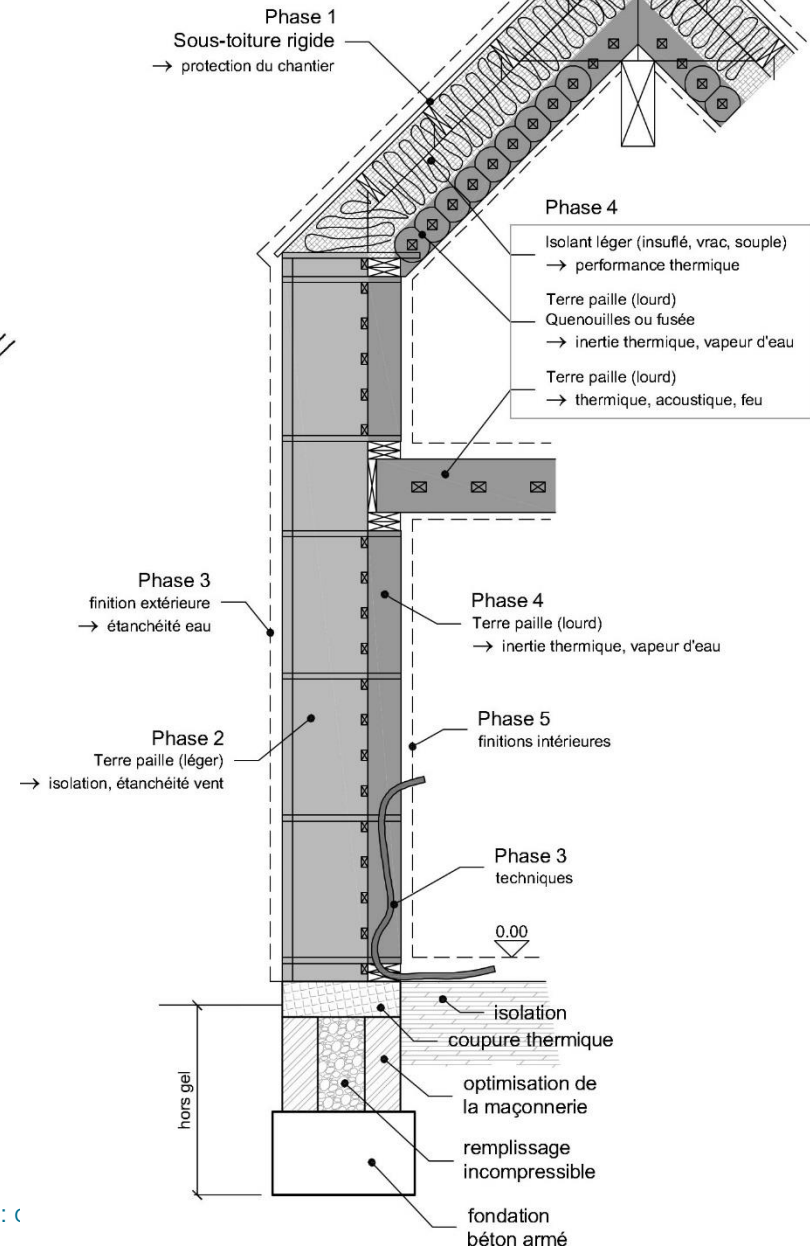
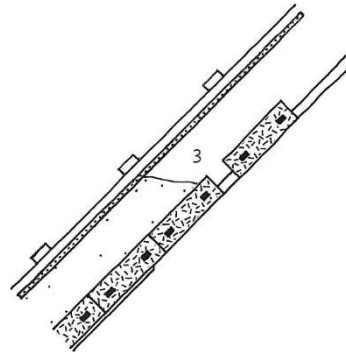
STRUCTURELE SOBERHEID

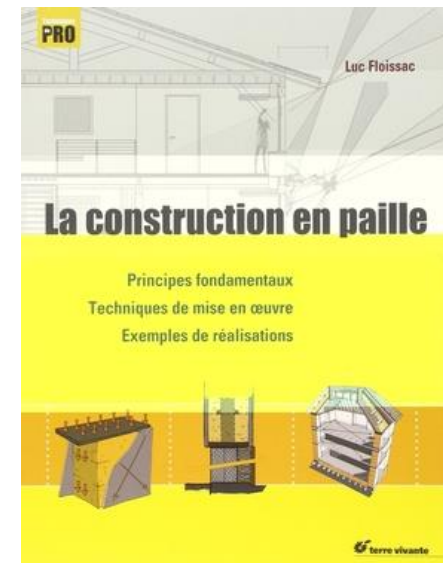
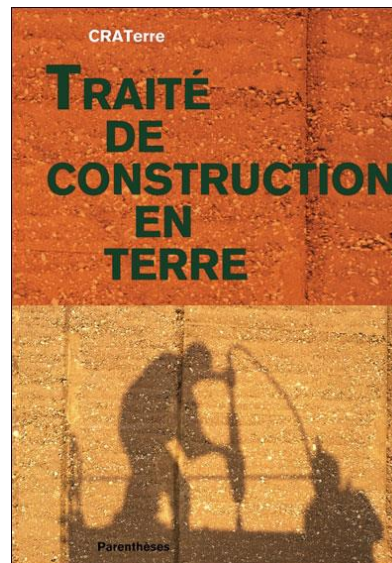
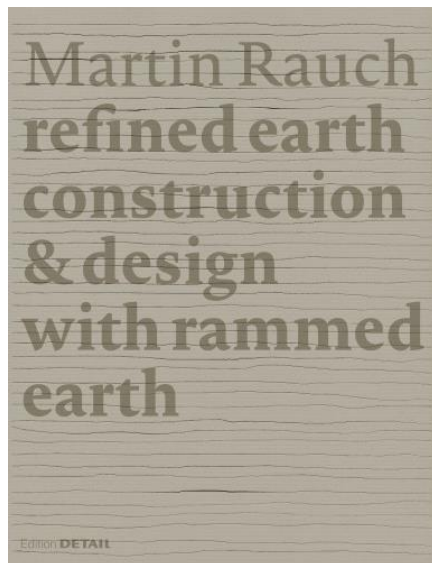
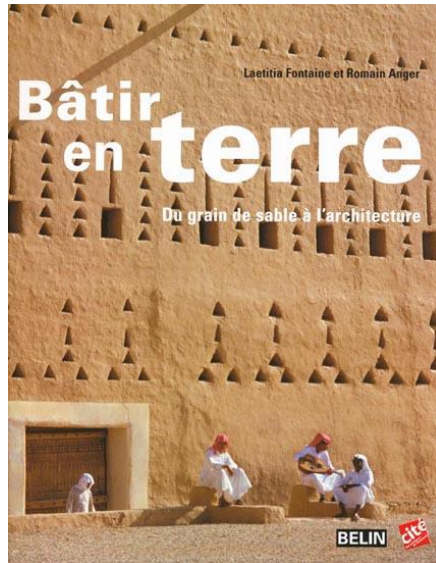
► Fase 4

- Dak (massa en isolatie)
- Vloer (massa)

► Fase 5

- Afwerkingen







Het einde van de materiële overvloed
=
Het begin van overvloedige interacties

- ▶ Denken vanuit **weerbaarheid** in plaats van prestaties
Aanpassingsvermogen in een variabele wereld
- ▶ De **diversiteit** van aardebouwtechnieken en -materialen vereist voorafgaan multidisciplinair werk.
- ▶ De verschillende bouwvakken moeten worden **gedecompartimenteerd** om een collaboratief beslissings- en ontwerpproces te ontwikkelen
- ▶ Knowhow moet worden **overgedragen** en kennis moet worden ge vulgariseerd, telkens opnieuw
- ▶ **Innoveren** in een bijzonder variabele sociale, economische en ecologische context



Cédric Evrard

Stabiliteitsingenieur

Prototype srl

Louvain-la-Neuve

☎ +32 472 20 33 75

✉ cedric.evrard@gmail.com



BEDANKT VOOR UW AANDACHT

Noodzaak is de moeder van de uitvinding

Plato (427-348 v. Chr.)

