

OPLEIDING DUURZAME GEBOUWEN

CIRCULAIRE ECONOMIE
ONGEBAKKEN AARDE

LENTE 2022

Structurele samenstelling van werken uit ongebakken aarde

Welke rol voor de structuuringenieur in een dossier voor ecologische
en circulaire bouwprojecten?

Cédric EVRARD





- ▶ Lessen uit het verleden trekken
 - ▶ Het materiaal aarde en zijn verwerkingstechnieken bekijken
 - ▶ De tools van de ingenieur illustreren
 - ▶ Bepaalde ontwikkelingsbelemmeringen aanstippen
- ⇒ **Perspectief voor het gebruik van ongebakken aarde in de huidige context**



FRANÇOIS COINTEREAUX: EEN LES GESCHIEDENIS

- ▶ Ontwerper en bouwer
- ▶ Onderwijzer
- ▶ Onderzoeker
- ▶ Utopist

MATERIAAL

STRUCTURELE SOBERHEID

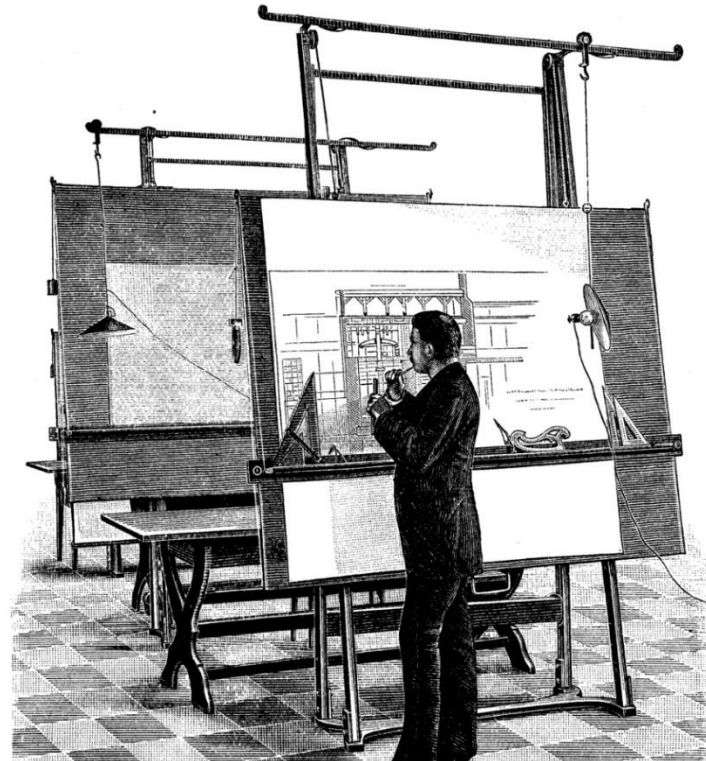
BELEMMERINGEN VOOR DE ONTWIKKELING



4 FRANÇOIS COINTEREAUX (1740-1830)

Ambachtsman en autodidactisch architect

- ▶ Van man van de praktijk tot theoreticus
- ▶ Eerst metselaar uit Lyon, vervolgens zelf uitgeroepen professor in landelijke architectuur



Bron: Wikipedia

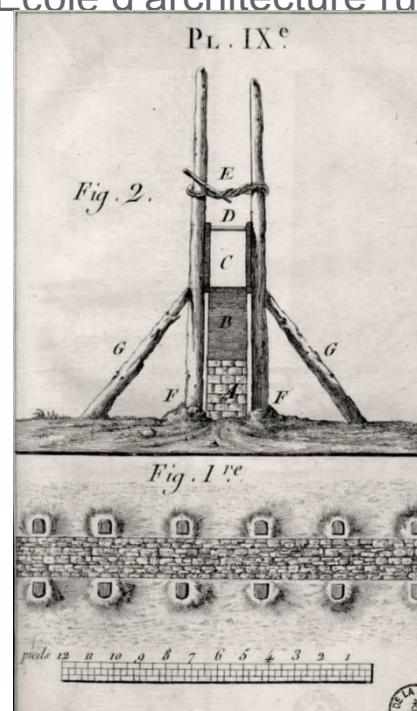
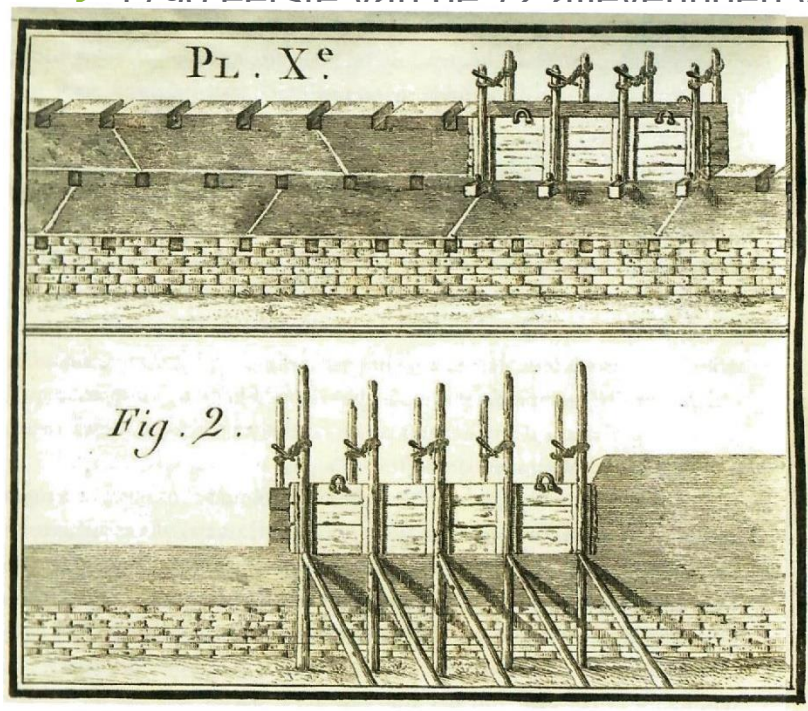
⇒ De verschillende disciplines ontzuilen

Reliëfs van de klokkentoren van Giotto

5 FRANÇOIS COINTEREAUX (1740-1830)

Productieve auteur, onvermoeibare promotor van stampleem en vulgarisator

- ▶ 1787 Academie van Amiens: stadjes en dorpen tegen brand beschermen
- ▶ 1789 Société d'agriculture de Paris: scriptie "la Ferme"
- ▶ 1790 eerste van de 72 afleveringen van de Ecole d'architecture rurale.



⇒ **Gemoderniseerde traditie**

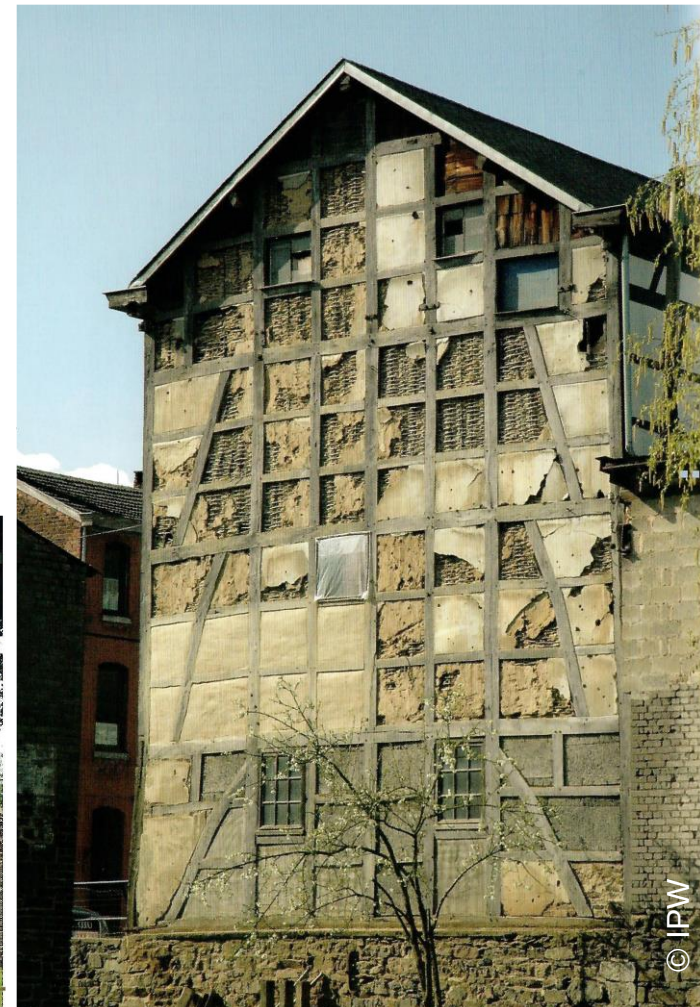
Bron: Ecole d'architecture rurale,
Cointereaux



6 FRANÇOIS COINTEREAUX (1740-1830)

Belgische traditie vanaf de middeleeuwen tot de 19e eeuw

- ▶ Leemmortel
- ▶ Strostampleem



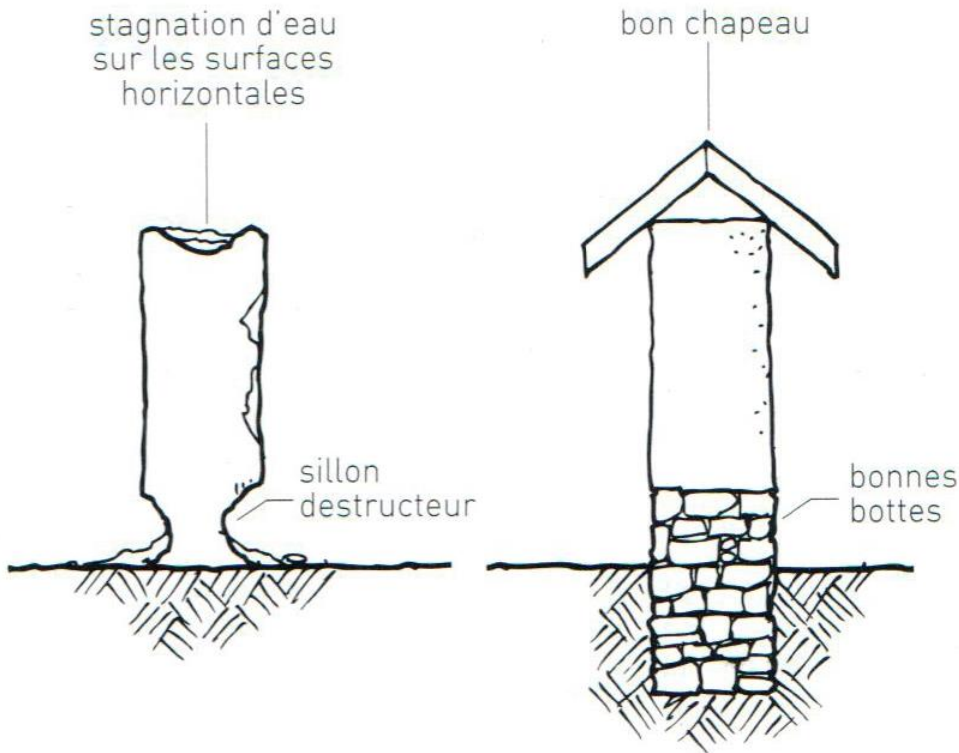
⇒ **De traditie bestuderen**



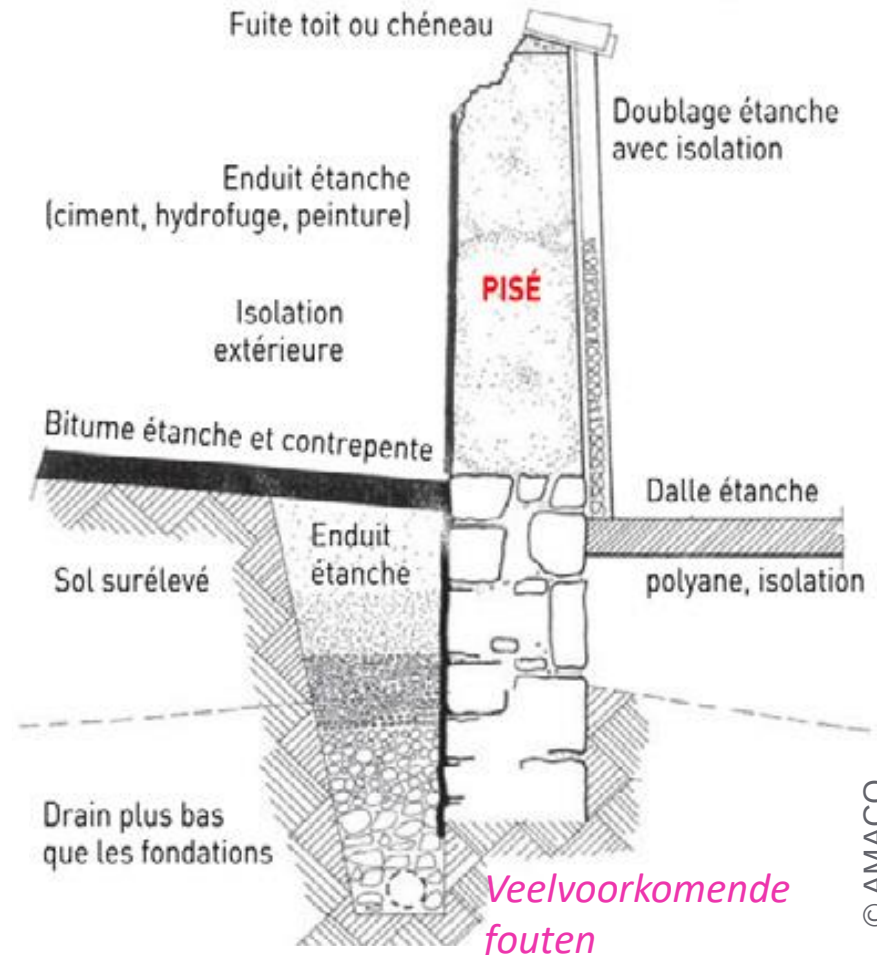
7 FRANÇOIS COINTEREAUX (1740-1830)

Waterpathologieën

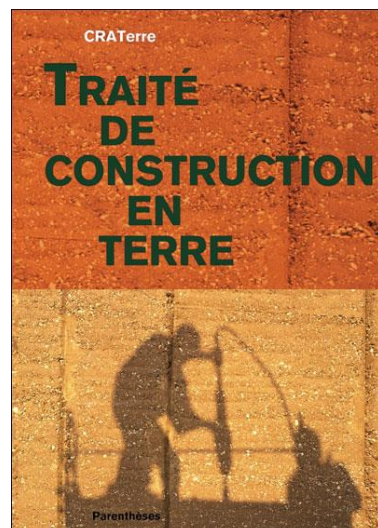
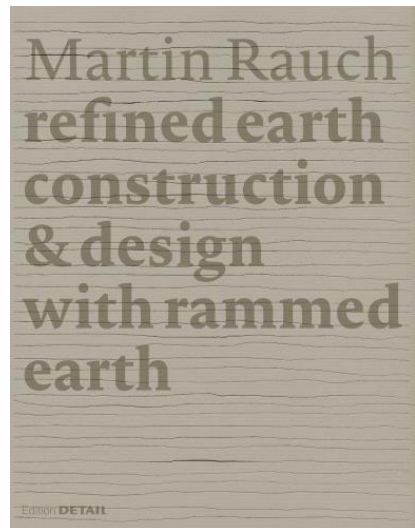
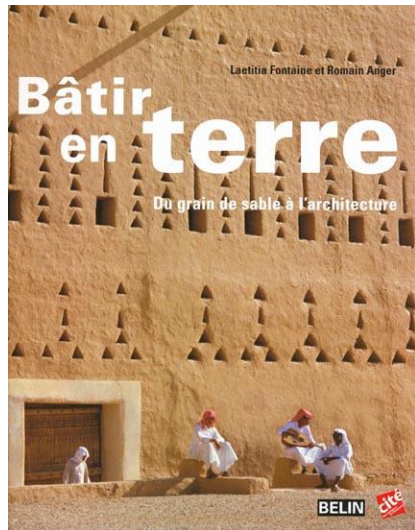
- Een goede fundering en afdekking
- Opgelet voor dampdichte materialen



⇒ De traditie begrijpen



8 FRANÇOIS COINTEREAUX (1740-1830)



⇒ Verspreiden

⇒ Opleiden

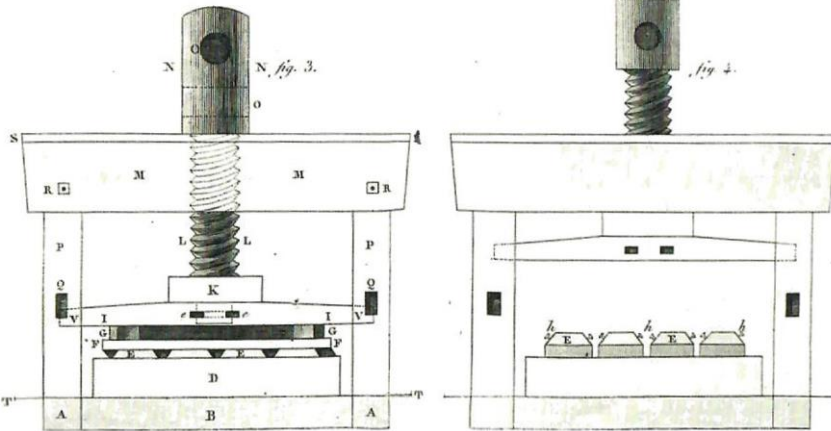


9 FRANÇOIS COINTEREAUX (1740-1830)

Uitvinder, in de geest van de Verlichting

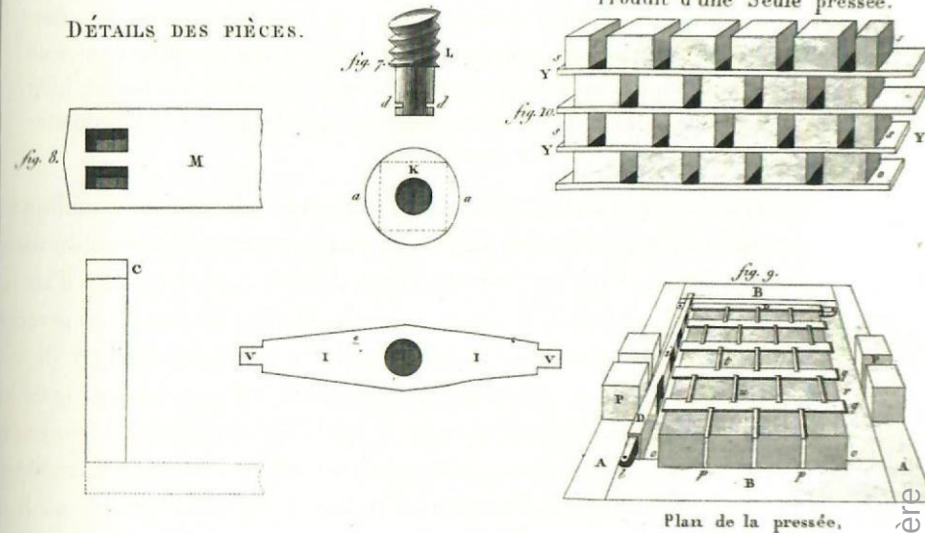
- ▶ Stampleem in een nieuwe vorm = kunstmatige stenen = geperste leemstenen = voorloper van betonblokken
- ▶ Zijn uitvindingen liggen op het convergentiepunt van architectuur en landbouw

MACHINE PROPRE A COMPRIMER LA TERRE.
ELEVATIONS DE LA MACHINE



Pl. 2.

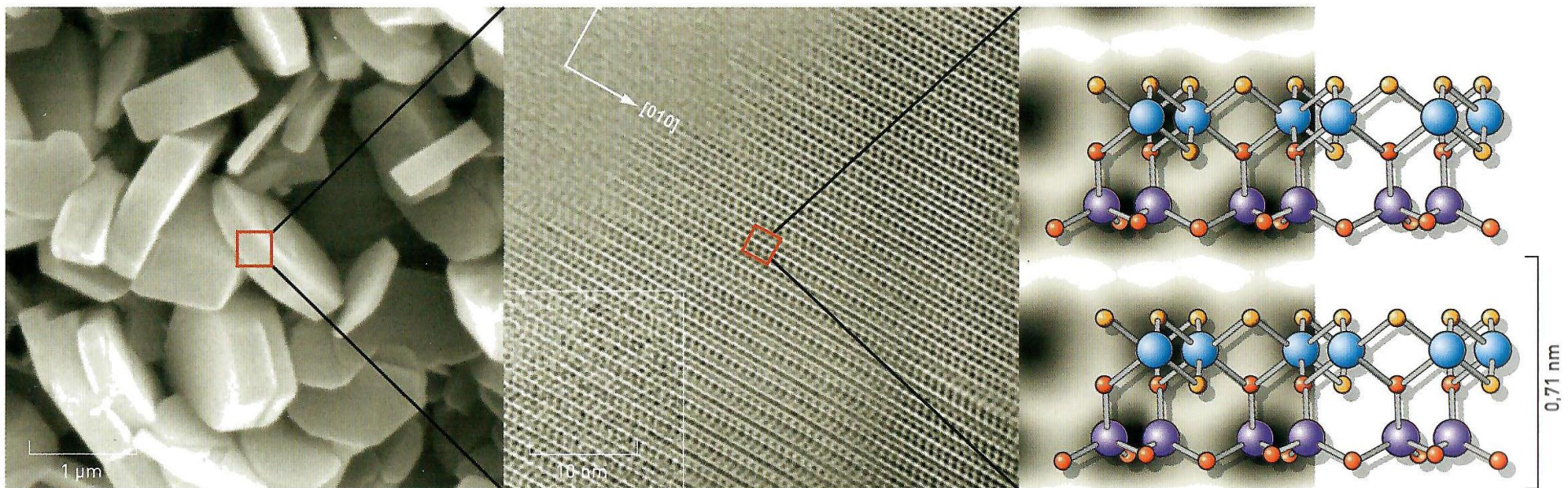
DÉTAILS DES PIÈCES.



⇒ Innovatie



Baanbrekend onderzoeksdomein in volle expansie



⇒ Fundamenteel onderzoek



Een nieuwe wetenschap: de AGRITECTUUR (1797)

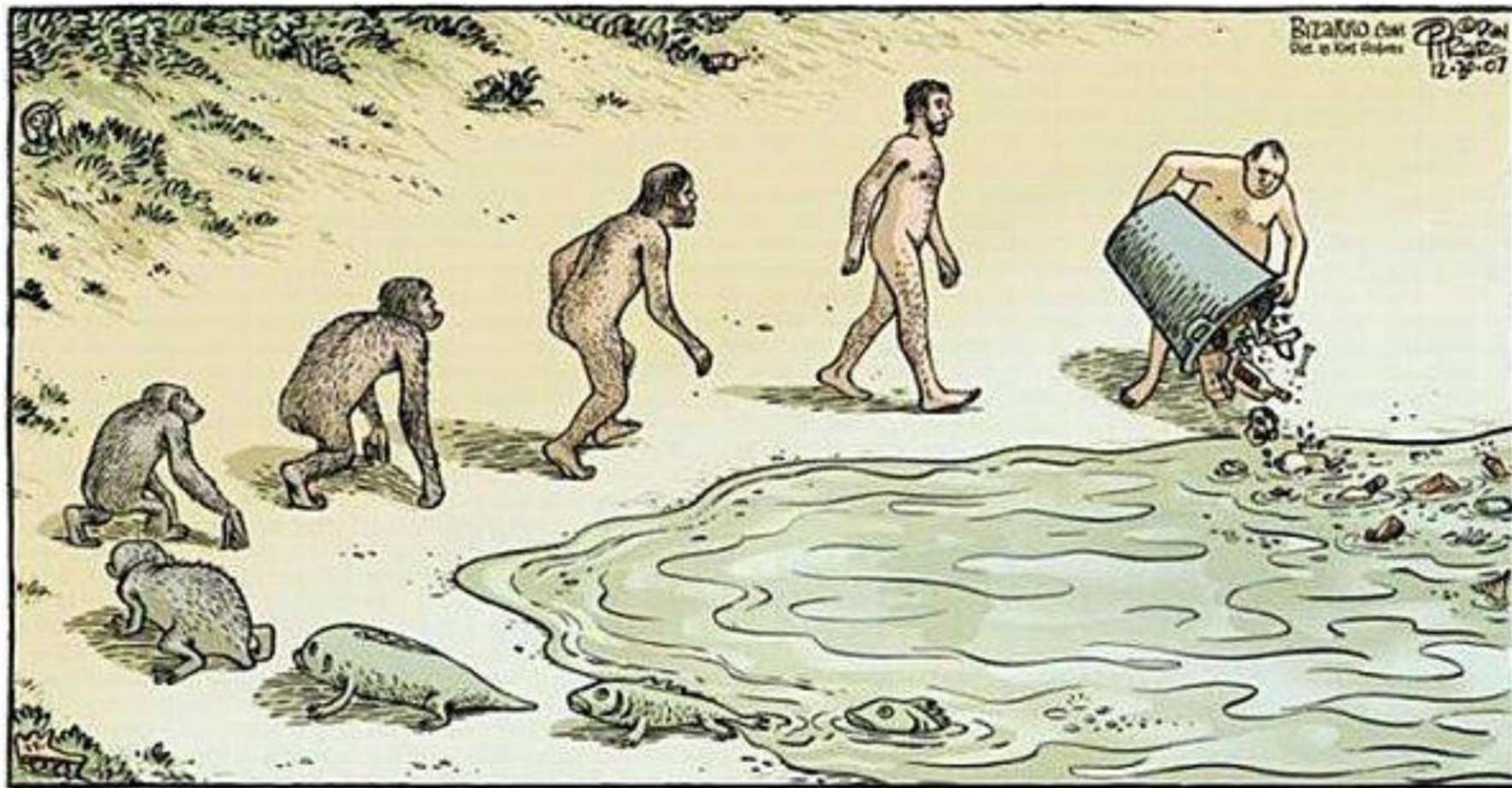
- ▶ Architect van de volksklasse: de enige ontwerper en bouwer die namens de landbouwers sprak
- ▶ “La profession de bâtir et de cultiver doit être exercée par une même personne”.



⇒ Zorgen voor de aarde



Levenscyclus

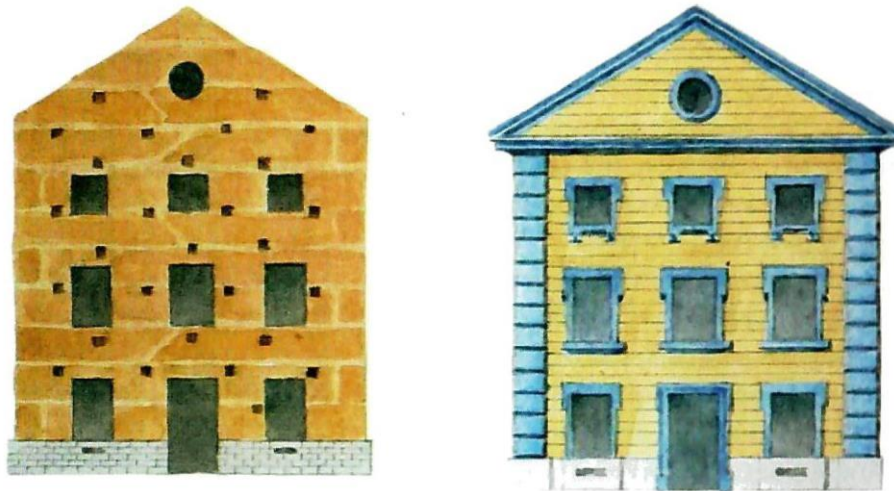


⇒ **Het moet stoppen!**



Niet geliefd bij zijn tijdgenoten

- ▶ Tal van weigeringen vanwege de Société des inventions et découvertes
- ▶ De keizer veroordeelde de realisaties in La Roche-sur-Yon: al dat geld voor een “stad van modder”



⇒ Financieel realisme

⇒ Verantwoordelijkheid en risico



Mythe van de la moderniteit, pressiegroepen, ...



⇒ Onze individuele en collectieve gedragingen herzien



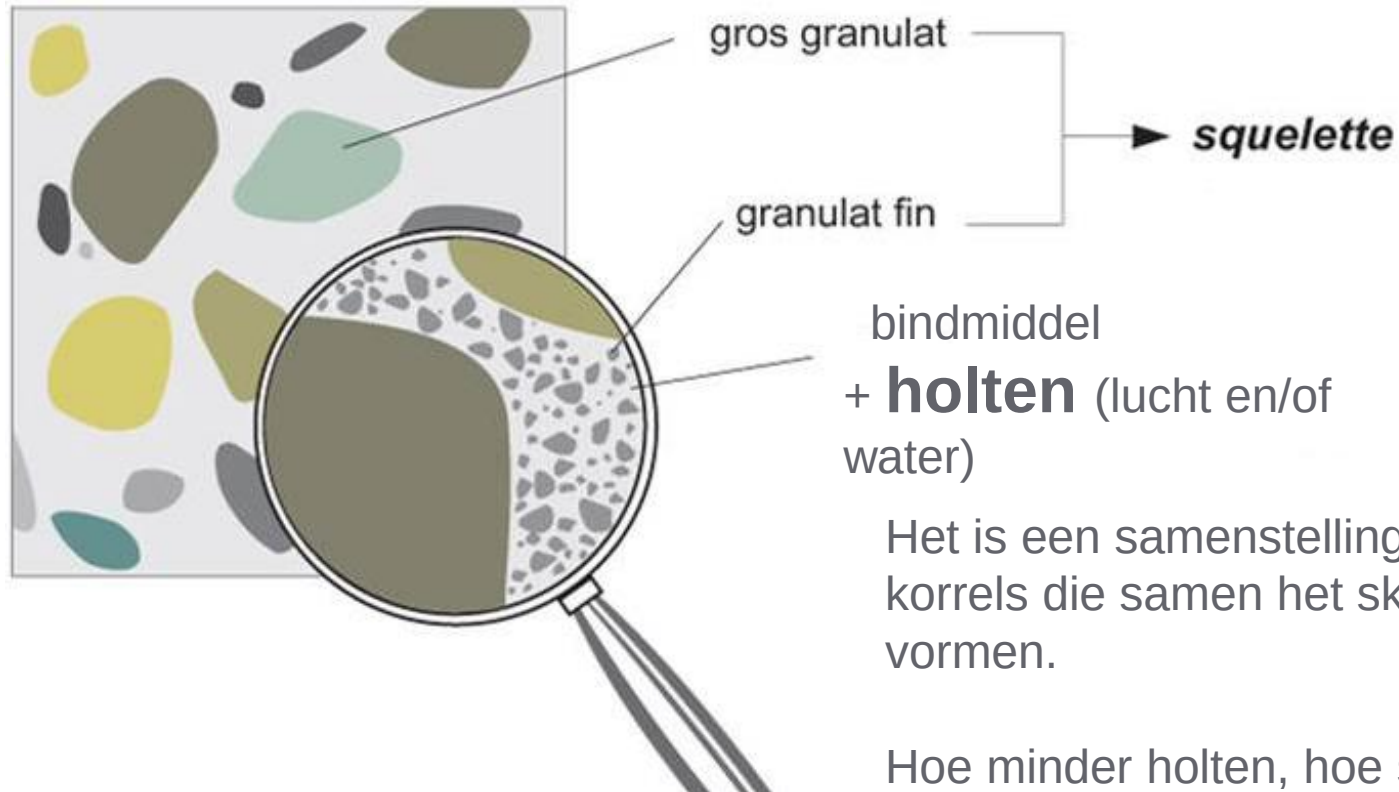
FRANÇOIS COINTEREAUX: EEN LES GESCHIEDENIS **MATERIAAL**

- ▶ **Korrels**
- ▶ **Water**
- ▶ **Bindmiddel**
- ▶ **Bouwtechnieken**

STRUCTURELE SOBERHEID BELEMMERINGEN VOOR DE ONTWIKKELING



Aarde, samengesteld uit minerale materialen.



⇒ **Het lijkt op beton!**



Vergelijking met beton: samenstelling van het mengsel

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

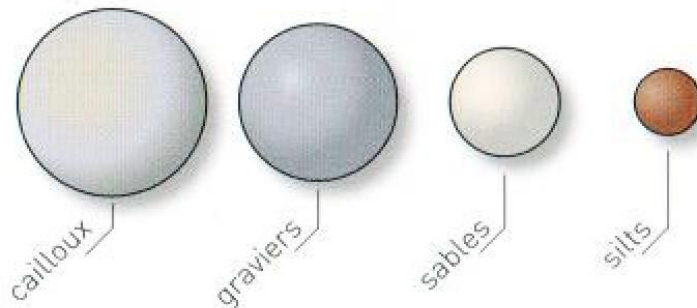
Bindmiddel: materiaal dat andere materialen (cement, kalk, klei, ...) kan binden.

Water: vereist om een brij (pap) met variabele homogeniteit te verkrijgen.

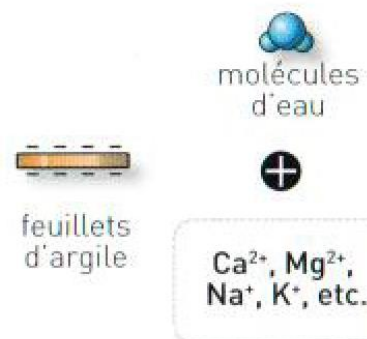
Toeslagstoffen: wijzigen de fysische en chemische eigenschappen van het mengsel

MATIÈRE EN GRAINS

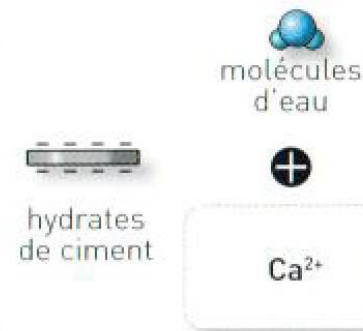
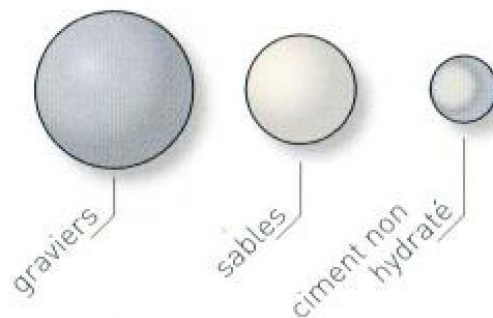
Mur en pisé



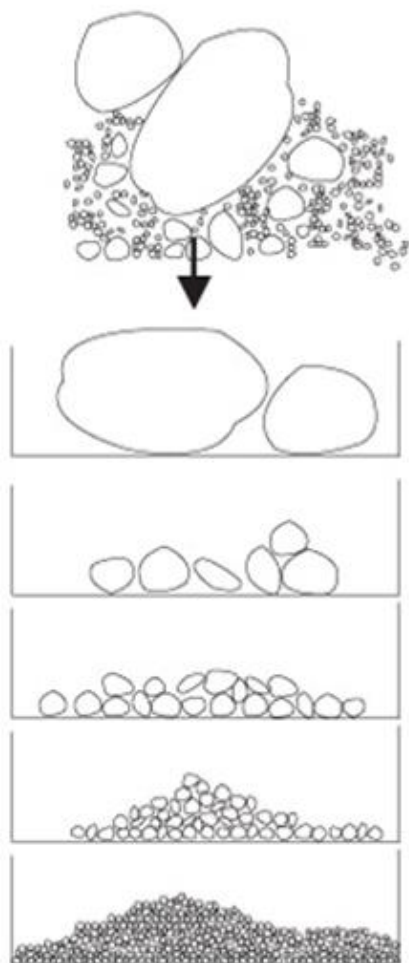
MATIÈRE COLLOÏDALE



Béton de ciment



Korrels



diamètres et distribution...



fines (< 63 microns)

"consomment" l'eau de gâchage

Keien -
kieselstenen

tussen 20 cm en 2 cm

Grind

tussen 2 cm en 2 mm

Zand

tussen 2 mm en 63 μm

Silt (leem)

tussen 63 μm en 2 μm

Klei

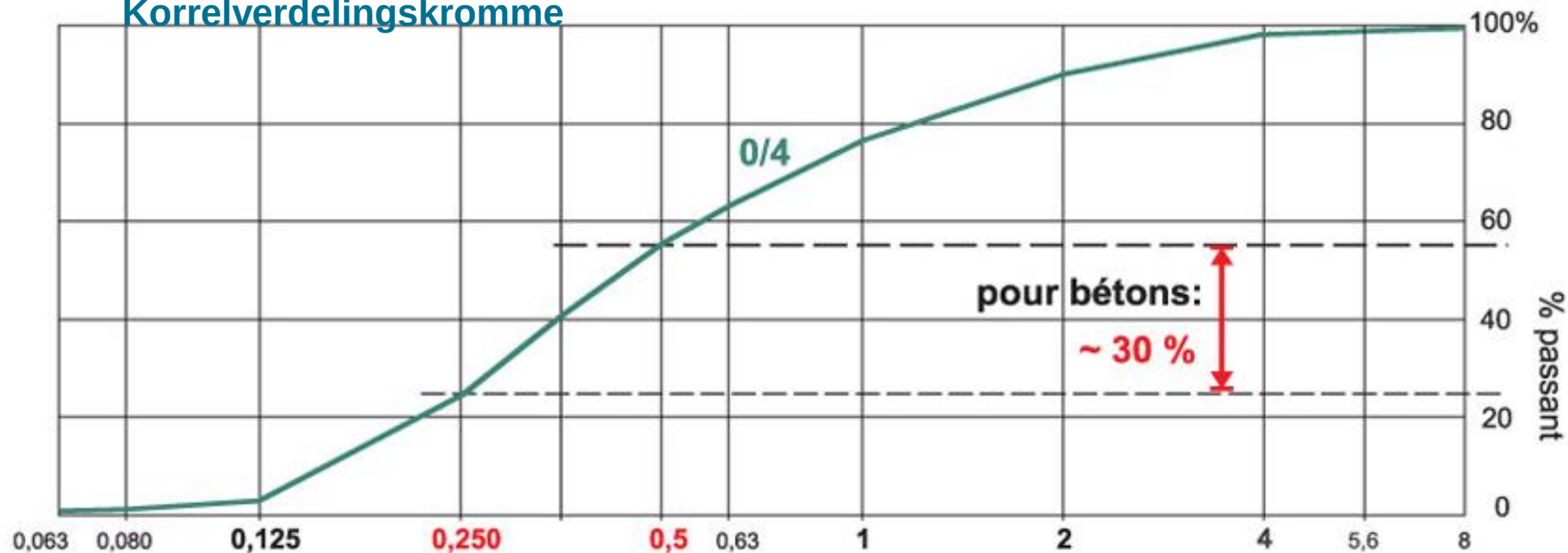
kleiner dan 2 μm

Silt of leem is zeer fijn zand dat nauwelijks waarneembaar is bij aanraking, ook filler genoemd.

Kleideeltjes zijn zo klein dat ze zich op een bijzondere wijze gedragen en kleven: het zijn **bindmiddelen**.



Korrelverdelingskromme



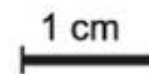
sable fin

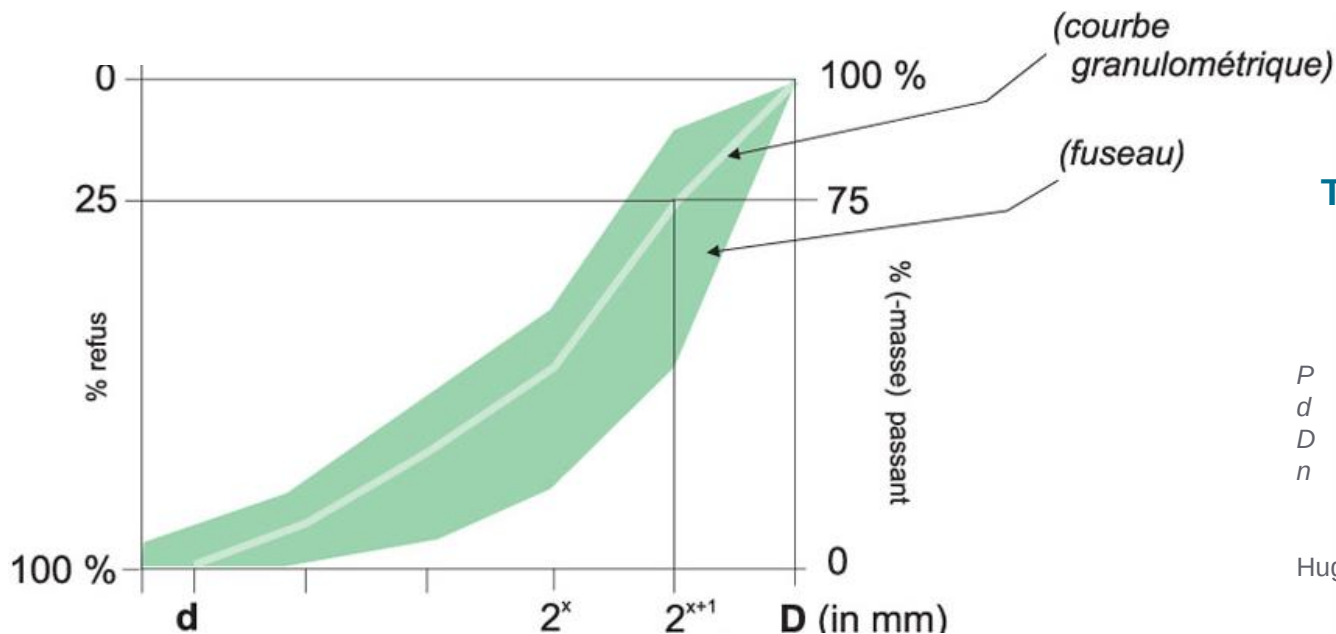


sable de béton



sable gros





Theoretische ideale verdeling

$$P = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^n$$

P aandeel van korrels met een bepaalde diameter

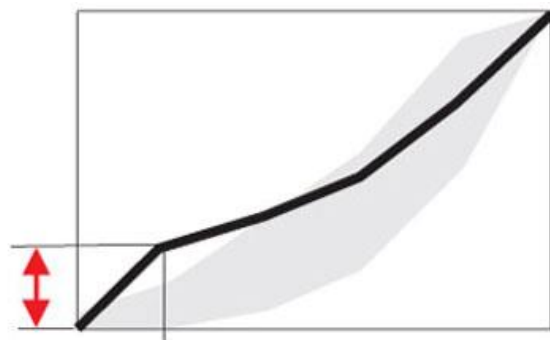
d korreldiameter

D de grootste diameter

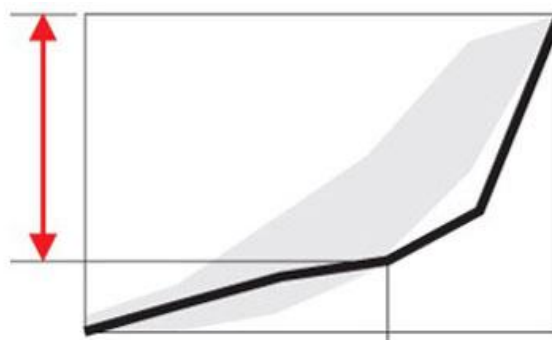
n coëfficiënt: 0,5 = bolvormige korrels

0,20 - 0,25 = korrels met wisselvallige vormen

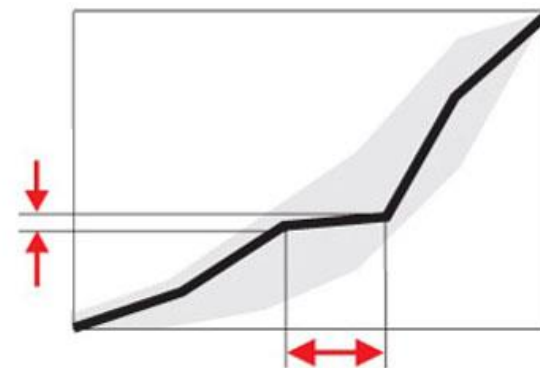
Hugo Houben, Traité de construction en terre



trop de granulats fins



trop de gros granulats

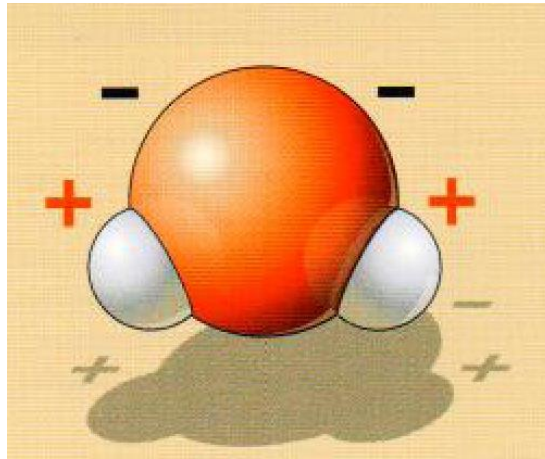


une fraction manque



Water

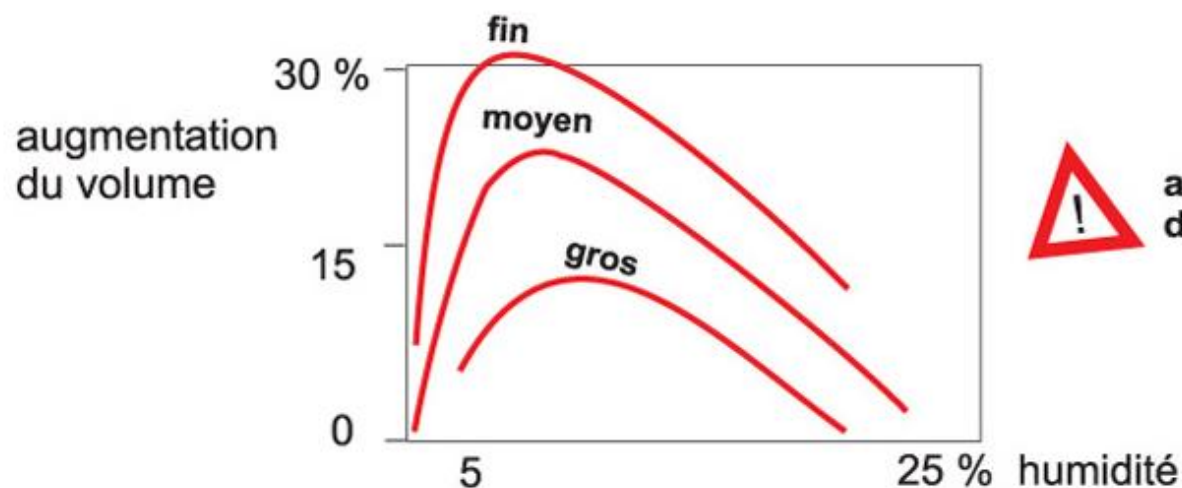
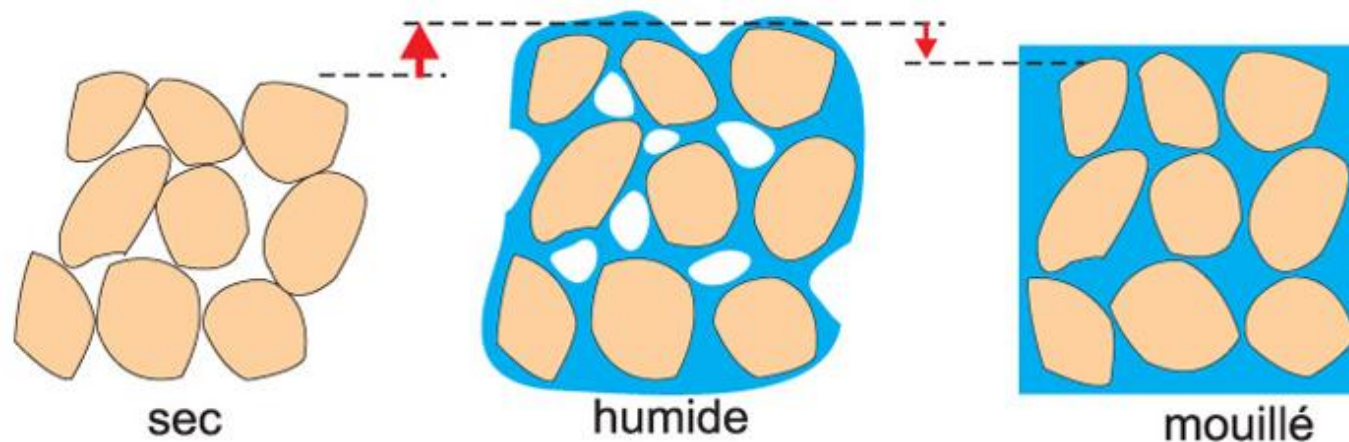
- ▶ Watermolecules zijn gepolariseerde molecules (elektrische dipool)
- ▶ Hierdoor worden verbindingen gecreëerd die waterstofverbindingen worden genoemd



- ▶ De capillariteit van water resulteert uit de waterstofverbindingen
- ▶ Eigenschappen:
 - vloeibaar tussen 0 en 100 °C
 - vaste toestand (ijs), met kleinere dichtheid dan in vloeibare toestand
 - polair solvent
 - grote thermische inertie



Invloed van waterstofverbindingen op zandkorrels

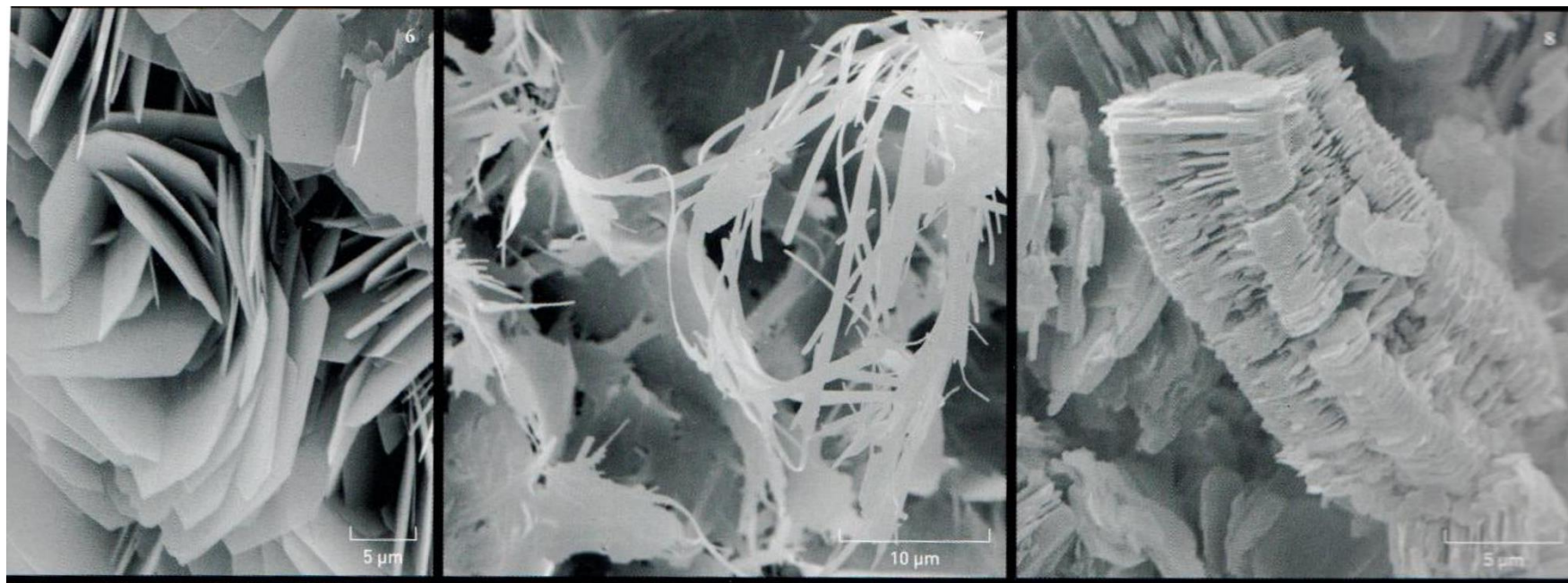


attention en cas de dosage en volume !



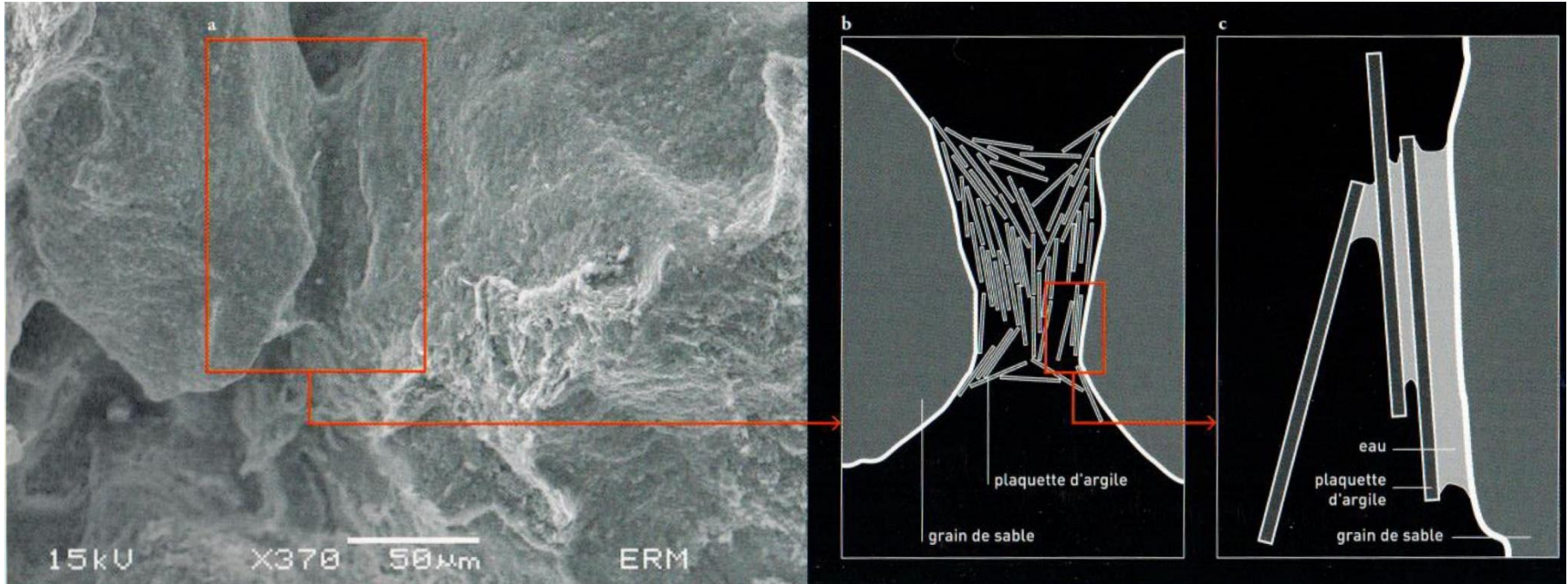
Bindmiddel = klei

- ▶ Diversiteit qua vorm en structuur
- ▶ De plaatjes zijn slechts enkele atomen dik.
- ▶ Voornamelijk bestaande uit siliciumdioxide (SiO_2), aluminiumoxide (Al_2O_3), ijzeroxide (Fe_2O_3).



Klei + water + lucht = capillaire brug

- Eigenschappen van cohesie en plasticiteit verbonden aan het water



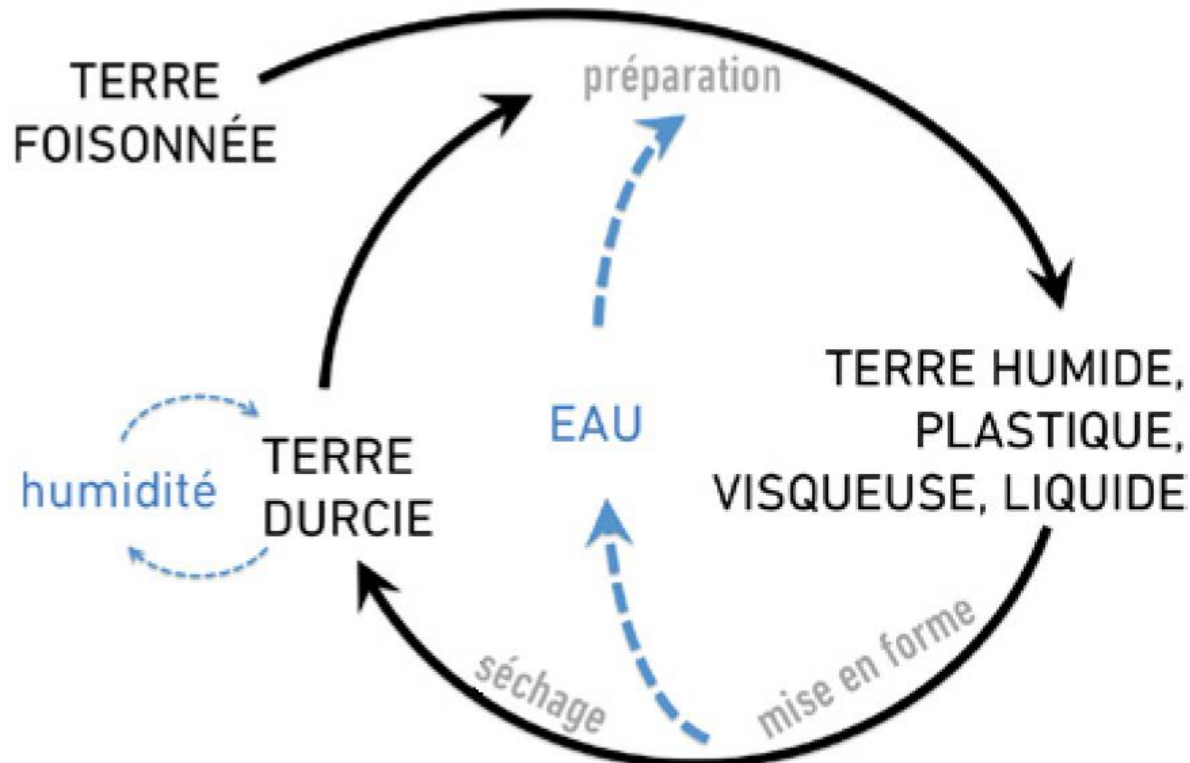
Capillaire brug ↔ interface tussen water en lucht

- De capillaire krachten creëren een zeer grote aantrekkingskracht
- 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

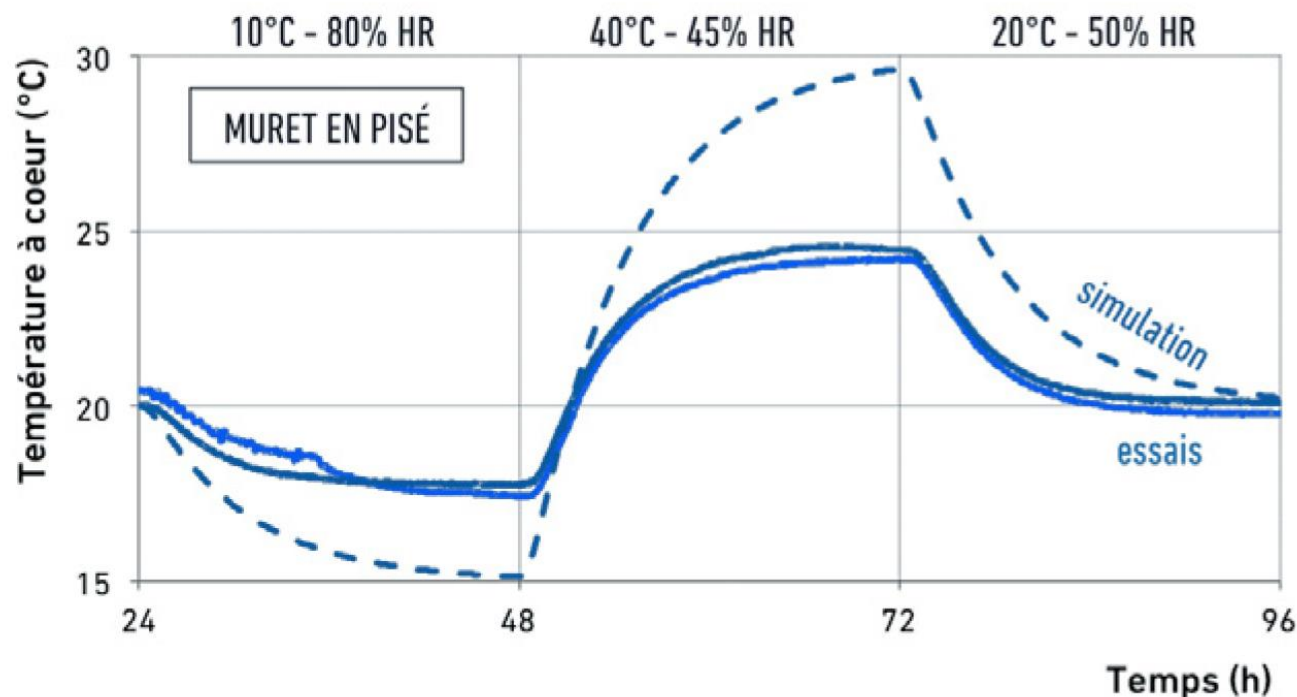


⇒ **Omkeerbaarheid van klei**



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

- ▶ 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 eindig-elementenmodel.

Door de faseverandering kan aarde een rol spelen in het energieverbruik van gebouwen.



Druksterkte

- De huidige stand van de kennis laat niet toe de druksterkte van aarde te voorspellen zonder deze experimenteel te meten
- De samenhang tussen de microstructuur van de aarde en haar macroscopische mechanische eigenschappen is uiterst complex



⇒ **Experimenteren**



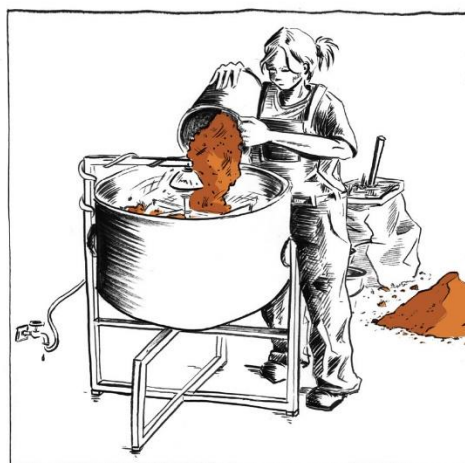
Niet-structurele aarde: PLEISTERS

- ▶ Leempleisters vormen de eenvoudigste toepassing van het materiaal
- ▶ Gelijkwaardig aan gips- of cementpleisters en vereisen hetzelfde gerei
- ▶ Het onderpleister bestaat vaak uit zanderige aarde
- ▶ Toevoeging van plantaardige vezels om scheuren te vermijden
- ▶ Bereide producten
- ▶ Risicovrij
- ▶ Positief imago:
 - geen impact op gezondheid of milieu
 - geen allergieën
 - goede regelaar van de omgevingsvochtigheid





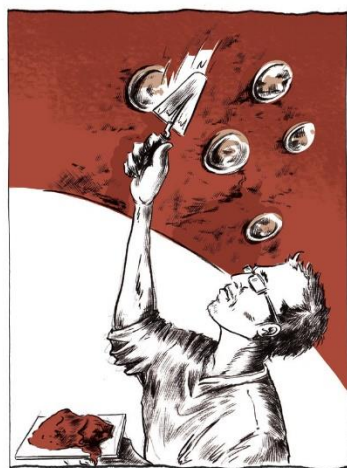
LA TERRE EST TAMIÉE POUR NE CONSERVER QUE LES ARGILES, LES SILTS ET LES SABLES.



L'APPORT DE 15 À 35 % D'EAU PERMET D'OBTENIR UNE PÂTE VISQUEUSE. L'ADJONCTION DE SABLE ET/OU DE FIBRES VÉGÉTALES EST PARFOIS NÉCESSAIRE POUR ÉVITER LA FISSURATION.



LE SUPPORT DOIT ÊTRE PRÉPARÉ AVANT L'APPLICATION DE L'ENDUIT : LE MUR EST GRATTÉ ET HUMIDIFIÉ.



LE CORPS DE L'ENDUIT SERT À BOUCHER LES TROUS ET À HOMOGENÉISER LA SURFACE. CE MÉLANGE TRÈS SABLEUX ET/OU FIBREUX DE 2 À 3 CM D'ÉPAISSEUR EST APPLIQUÉ AVEC UNE TALOCHE OU UNE TRUELLE.



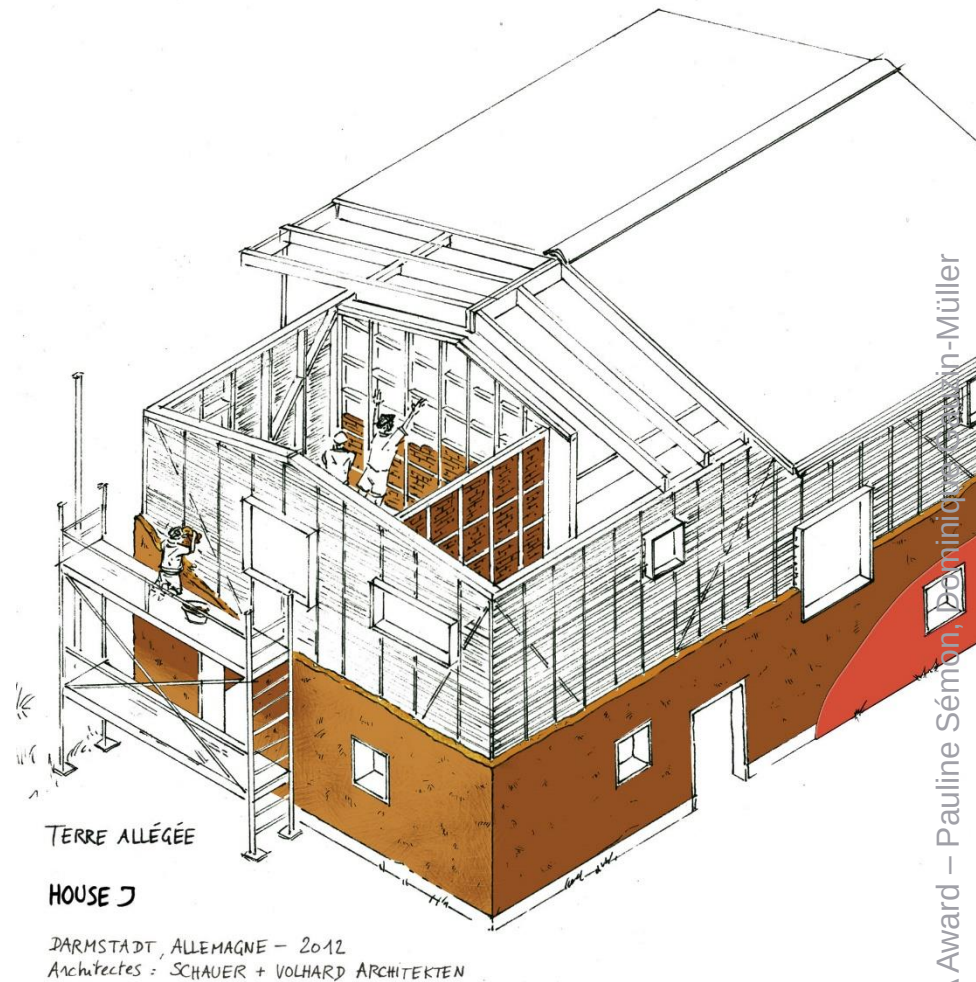
LA DERNIÈRE COUCHE EST TRÈS FINE. ICI, LE MÉLANGE D'ARGILE, SABLE FIN ET CIRE A ÉTÉ APPLIQUÉ À LA TRUELLE ET POLI POUR OBTENIR UNE FINITION BRILLANTE.

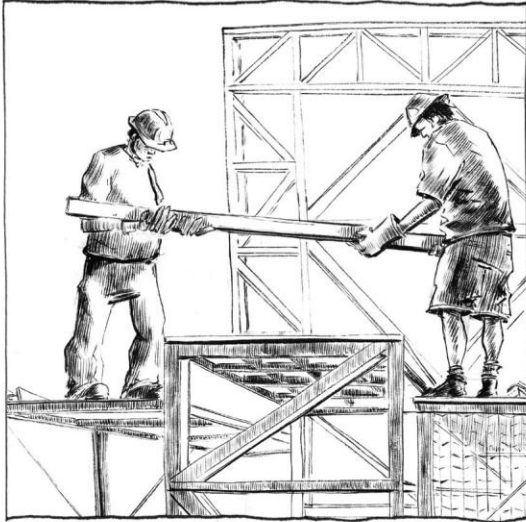


L'ENDUIT DE FINITION PEUT AUSSI ÊTRE MIS EN ŒUVRE À LA MAIN.

Niet-structurele aarde: LEEMMORTEL en stroleem

- ▶ De aarde voor leemmortel is meestal fijn, leemhoudend-kleihoudend, en kleverig
- ▶ Omdat het gebrek aan zand tot scheurvorming kan leiden, worden er vaak plantaardige vezels aan toegevoegd
- ▶ De mengeling wordt in plastische toestand verwerkt en uitgestreken 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 stroleem op basis van stro gemengd met leempap





LA STRUCTURE EST MONTÉE SUR LE SITE. ELLE EST GÉNÉRALEMENT EN BOIS, MAIS ICI EN MÉTAL.



LA TERRE EST MALAXÉE AVEC DE L'EAU (15 À 30 %) POUR OBTENIR UN MÉLANGE HOMOGÈNE À L'ÉTAT PLASTIQUE, AMENDÉ ICI AVEC DE LA PAILLE.



LE MÉLANGE EST PLAQUÉ À LA MAIN SUR LA STRUCTURE, ICI EN MAILLE D'ACIER.



LA TERRE EST L'ISSÉE À LA MAIN.



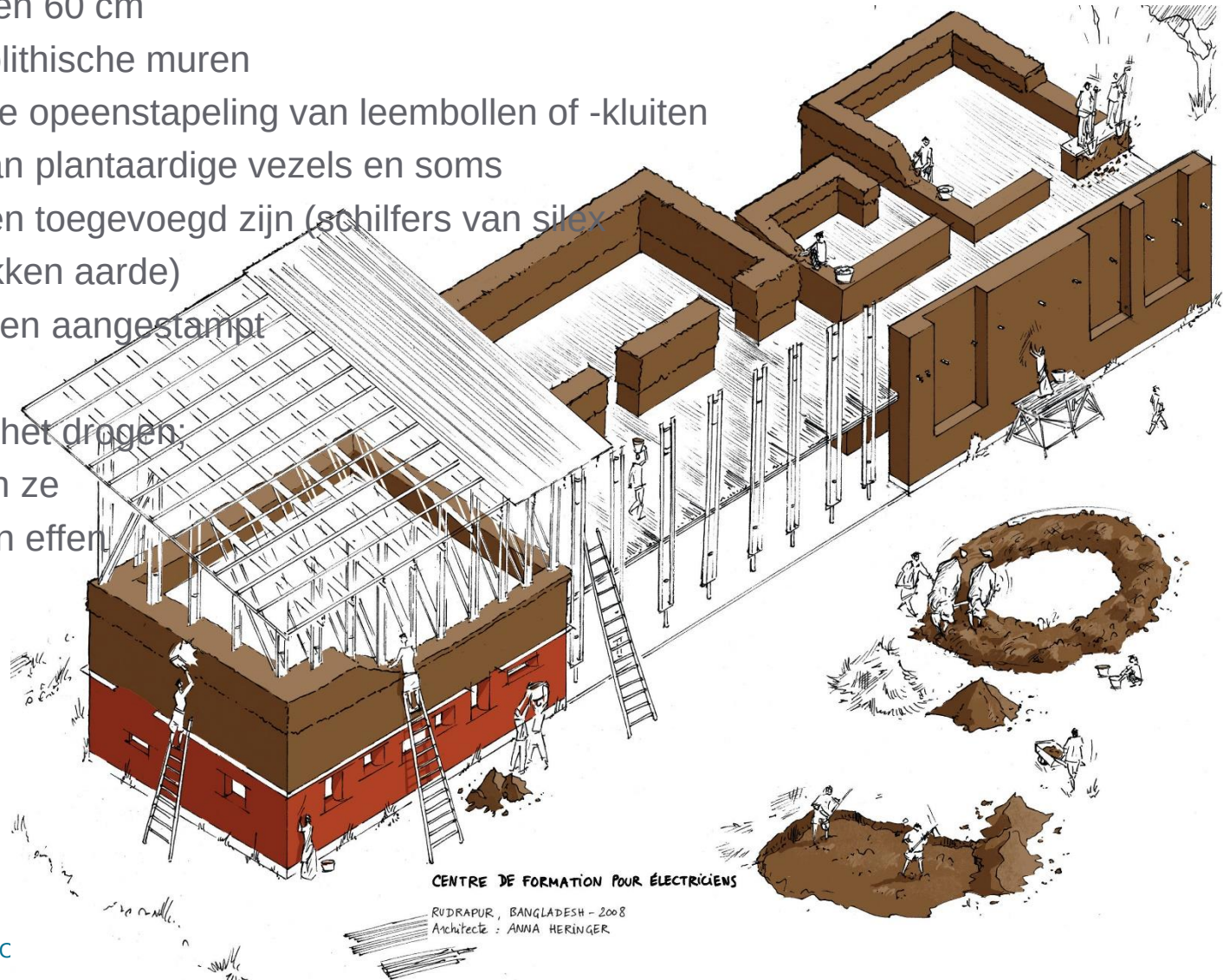
LA PLANÉITÉ EST VÉRIFIÉE À L'AIDE D'UNE GRANDE RÈGLE MÉTALLIQUE.



UN ENDUIT EN TERRE, PARFOIS STABILISÉ À LA CHAUX AÉRIENNE, EST APPLIQUÉ LORSQUE LE MUR EST SEC.

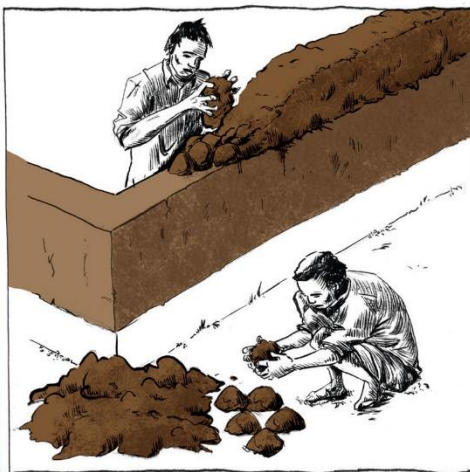
Aarde als draagelement: STROSTAMPLEEM

- ▶ dikte tussen 40 en 60 cm
- ▶ massieve, monolithische muren
- ▶ gebouwd door de opeenstapeling van leembollen of -kluiten
- ▶ mengsel waaraan plantaardige vezels en soms minerale elementen toegevoegd zijn (schilfers van silex of vermalen gebakken aarde)
- ▶ de vlakken worden aangestampt ter vermijding van scheurvorming bij het drogen; vervolgens worden ze afgestoken om een effen vlak te verkrijgen





LA TERRE, SOUVENT EXTRAITE DU SITE, EST MALAXÉE À L'ÉTAT PLASTIQUE (15 À 30 % D'EAU). ICI, ELLE A ÉTÉ ADDITIONNÉE DE PAILLE DE RIZ ET MALAXÉE PAR DES BUFFLES.



LE MÉLANGE EST ENVOYÉ DIRECTEMENT SOUS FORME DE BOULES MODELÉES À LA MAIN, OU APPORTÉE DANS DES SEAUX OU DES PANIERS JUSQU'AU MUR À CONSTRUIRE.



LES BOULES SONT EMPILÉES SUR LE SOUBASSEMENT PAR COUCHES D'ENVIRON 50 À 60 CM DE HAUTEUR. ELLES SONT SOUVENT JETÉES LES UNES SUR LES AUTRES POUR UNE MEILLEURE COHÉSION.



CHAQUE COUCHE EST BATTUE POUR REFERMER LES FISSURES ÉVENTUELLEMENT APPARUES LORS DU SÉCHAGE, QUI DURE ENVIRON DEUX SEMAINES.

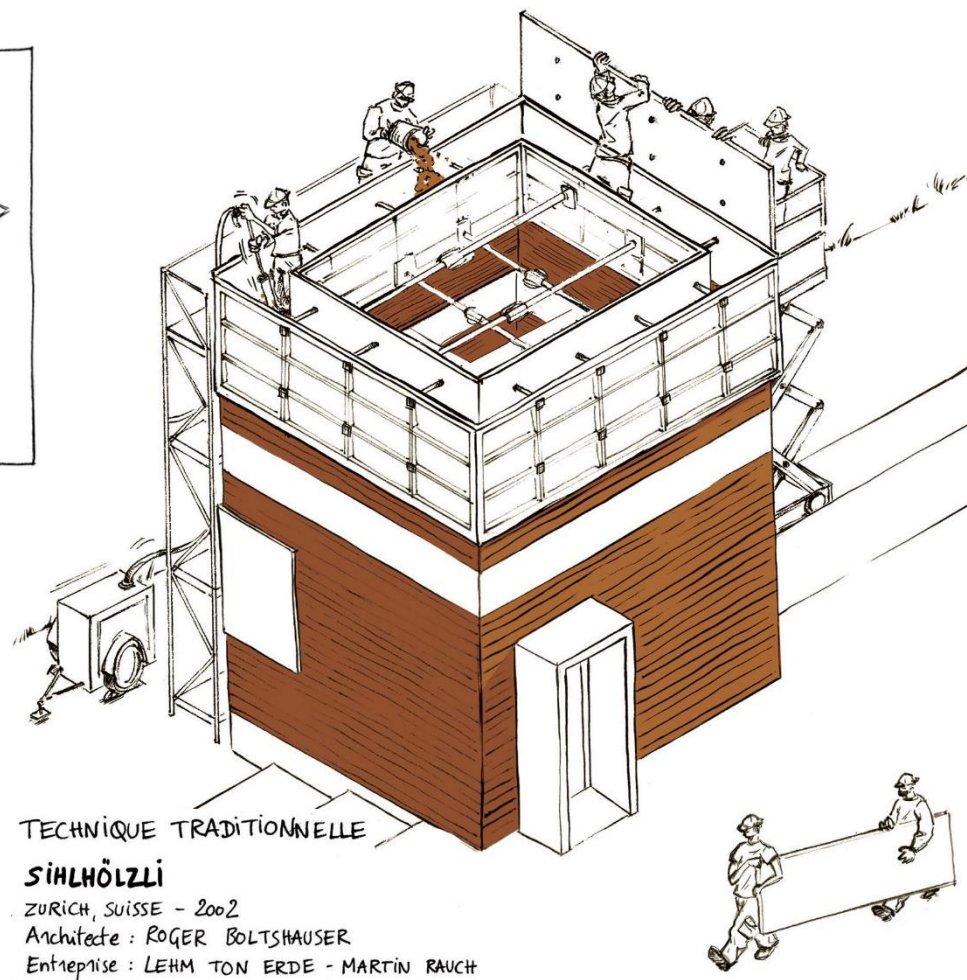
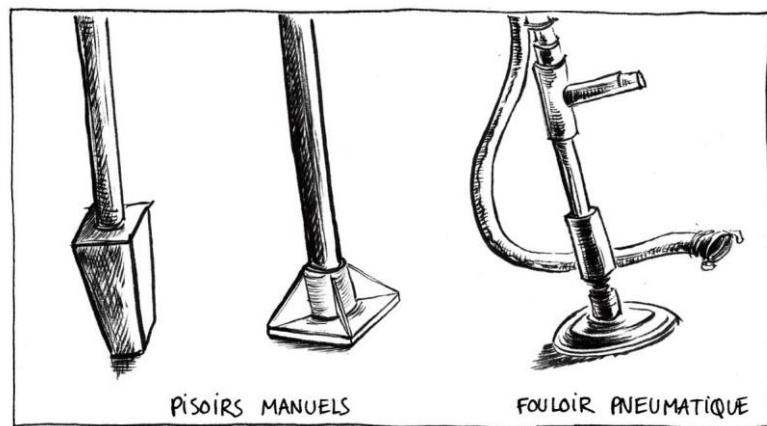
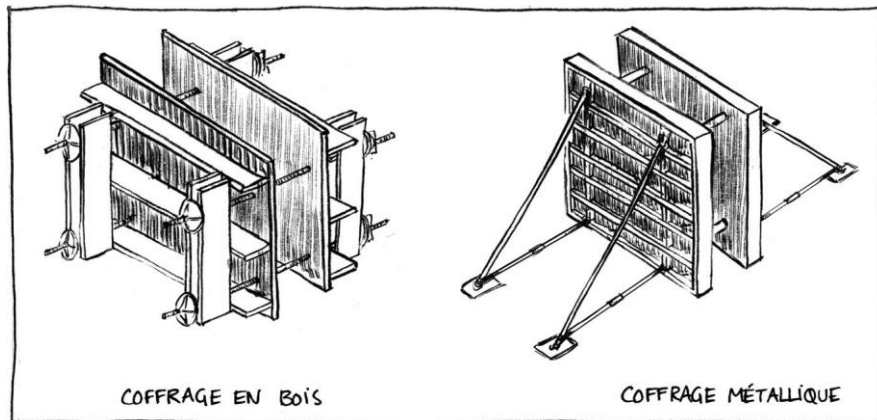


LES DEUX FACES DU MUR SONT TAILLÉES À L'AIDE D'UNE BÊCHE OU D'UN OUTIL TRANCHANT.



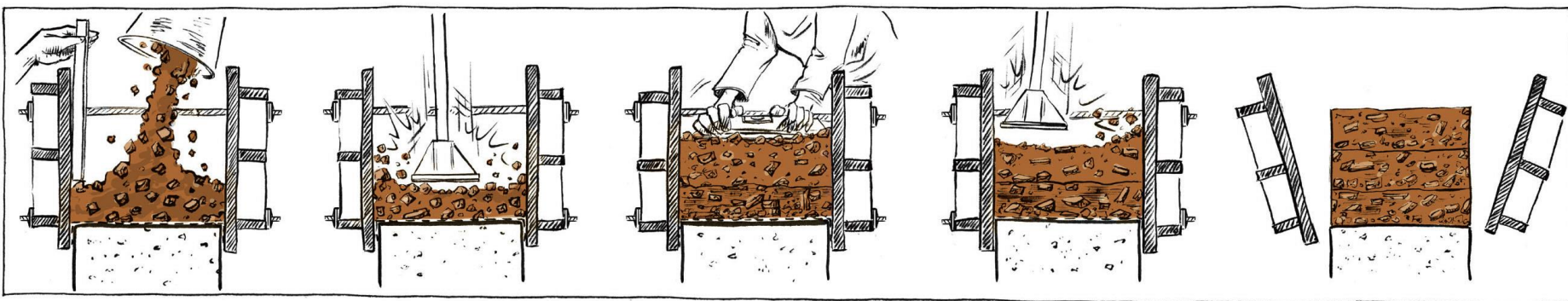
LE MUR EST DÉBARRASSÉ DES BOUTS DE PAILLES QUI DÉPASSENT AFIN DE PRÉPARER UNE PAROI PLANE. SI LA SURFACE DOIT ÊTRE ENDUITE, ELLE EST PRÉPARÉE PAR SCARIFICATION OU GRATTAGE POUR PERMETTRE UN BON ACCROCHAGE.

Aarde als draagelement: stampleem



Aarde als draagelement: stampleem

- ▶ massieve, monolithische muren
- ▶ dunne aangestampde lagen tussen vormbanken
- ▶ amper vochtig mengsel (grof grind)
- ▶ onmiddellijke ontkisting
- ▶ de verdichte lagen blijven zichtbaar
- ▶ mogelijke stabilisatie met cement of kalk



UN MÉLANGE DE TERRE HUMIDE (5 À 12 % D'EAU) CONTENANT GRAVIERS, SABLES, SILTS ET ARGILES, EST VERSÉ PUIS RÉPARTI DANS LE COFFRAGE POUR FORMER UNE COUCHE D'ENVIRON 20 CM.

LA TERRE EST COMPACTÉE À L'AIDE D'UN PISOIR MANUEL EN BOIS OU EN ACIER, OU D'UN FOULOIR PNEUMATIQUE.

LA COUCHE SUIVANTE EST VERSÉE PUIS RÉPARTIE.

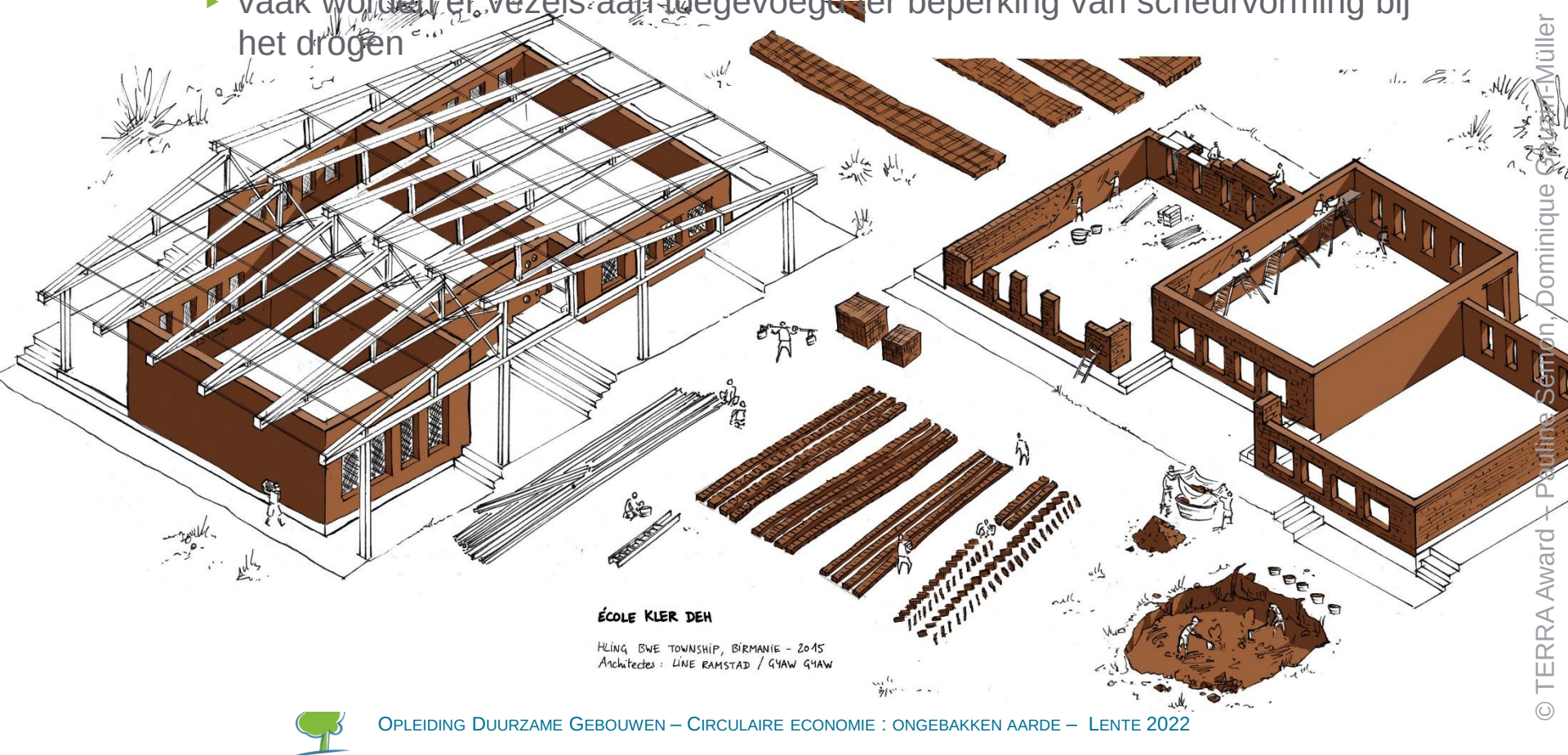
CHAQUE NOUVELLE COUCHE EST À SON TOUR COMPACTÉE.

LE MUR, GÉNÉRALEMENT ÉPAIS DE 40 À 60 CM, PEUT ÊTRE DÉCOFFRÉ IMMÉDIATEMENT.



Aarde als draagelement: ADOBE

- ▶ handvormsteen uit ongebakken aarde
- ▶ enkele dagen lang in de openlucht of op overdekte plaatsen gedroogd
- ▶ mengsel in plastische toestand
- ▶ vaak worden er vezels aan toegevoegd ter beperking van scheurvorming bij het drogen

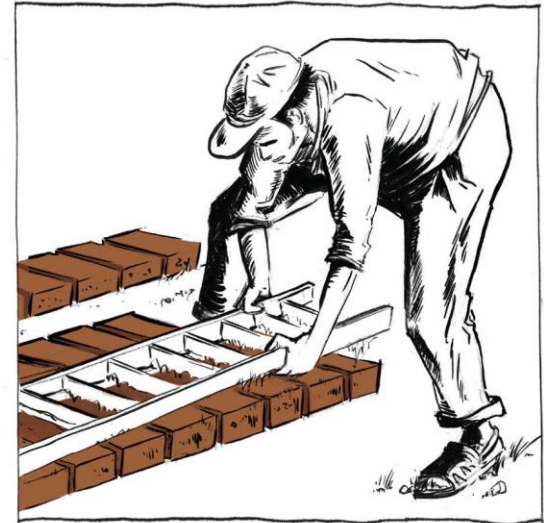




LA TERRE EST MALAXÉE JUSQU'À ATTEINDRE L'ÉTAT PLASTIQUE (15 À 30 % D'EAU).



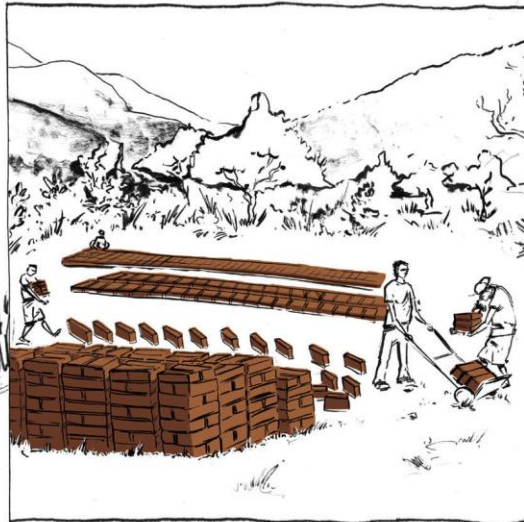
UN MOULE EN BOIS AVEC UNE OU PLUSIEURS ALVÉOLES EST REMPLI AVEC LE MÉLANGE.



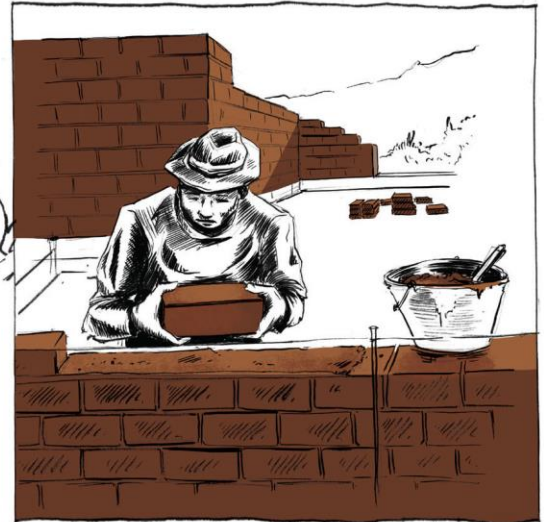
LES BRIQUES SONT DÉMOULÉES ET LAISSÉES À SÉCHER SUR DE VASTES SURFACES.



APRÈS QUELQUES JOURS, LES BRIQUES SONT MANIPULABLES SANS DÉFORMATION. ELLES SONT POSITIONNÉES SUR LA TRANCHE POUR UN SÉCHAGE HOMOGÈNE.



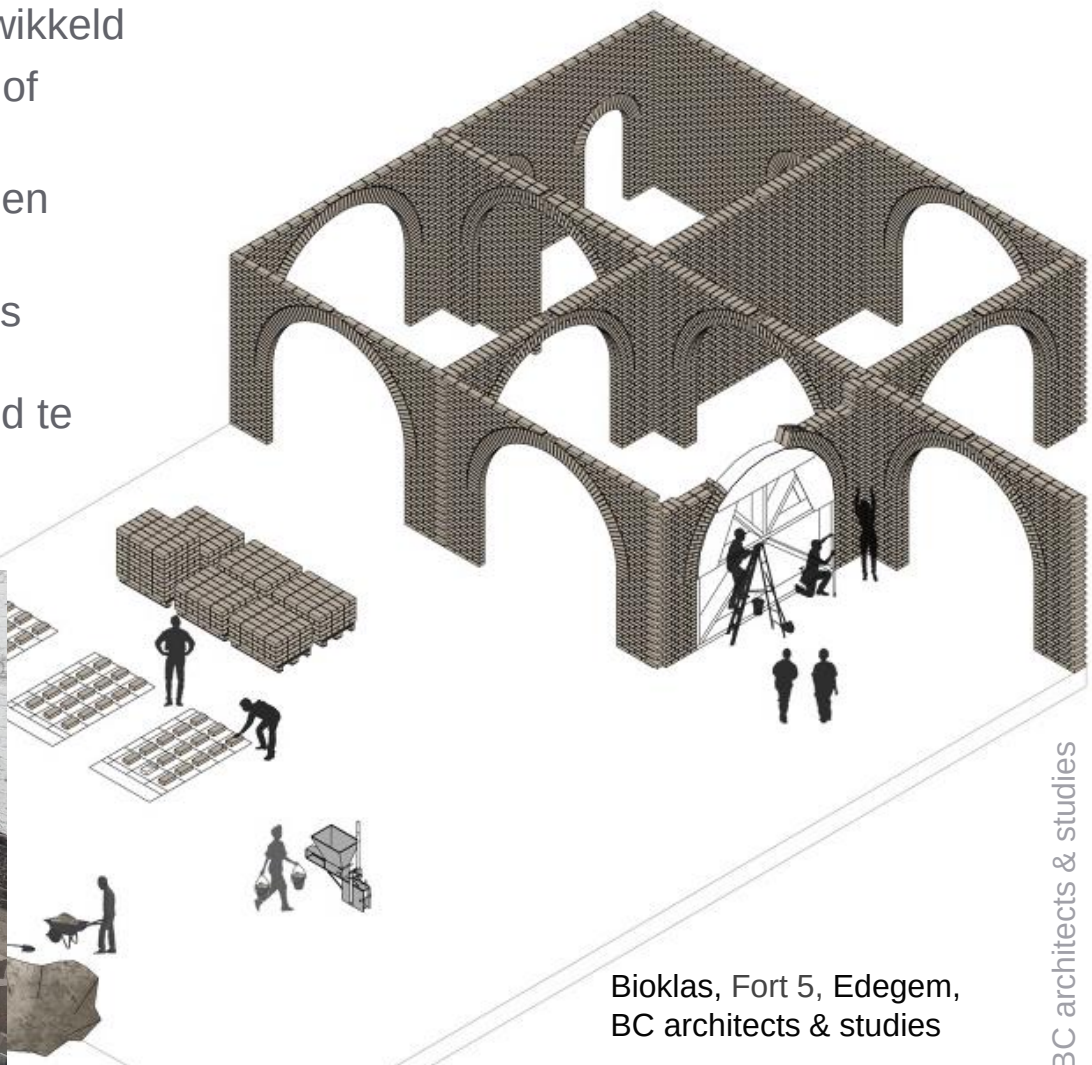
UNE FOIS SÈCHES, LES BRIQUES SONT EMPILÉES ET STOCKÉES.



LES ADOBS SONT MAÇONNÉES À L'AIDE D'UN MORTIER DE TERRE SUR UN SOUBASSEMENT (PIERRES, BRIQUES DE TERRE CUITE...)

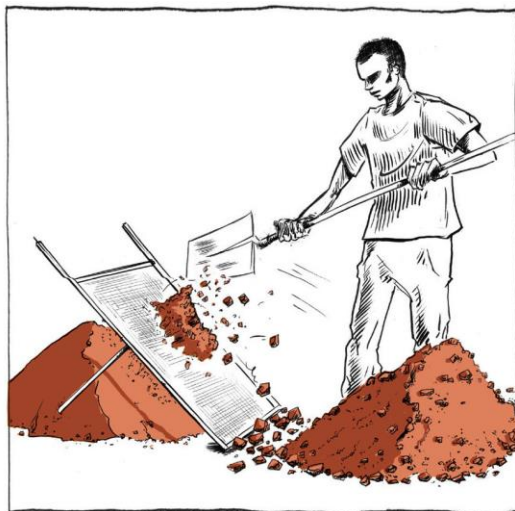
Aarde als draagelement: geperste leemstenen

- ▶ deze techniek werd rond 1950 ontwikkeld
- ▶ vervaardigd met behulp van hand- of gemechaniseerde persen
- ▶ mengsel (klein grind) van vochtige en poederachtige aarde
- ▶ de toevoeging van cement of kalk is gangbaar om de mechanische eigenschappen en de watervastheid te versterken

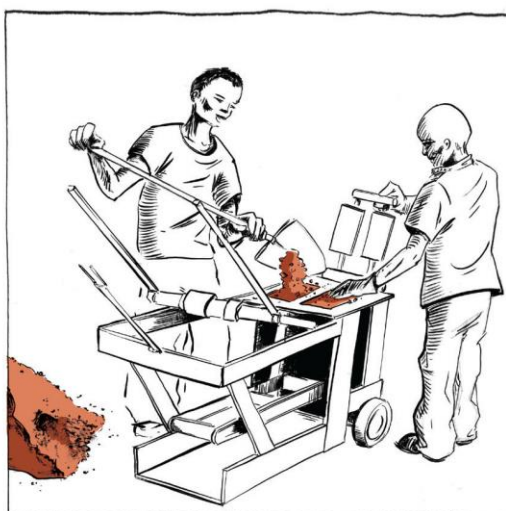


Bioklas, Fort 5, Edegem,
BC architects & studies

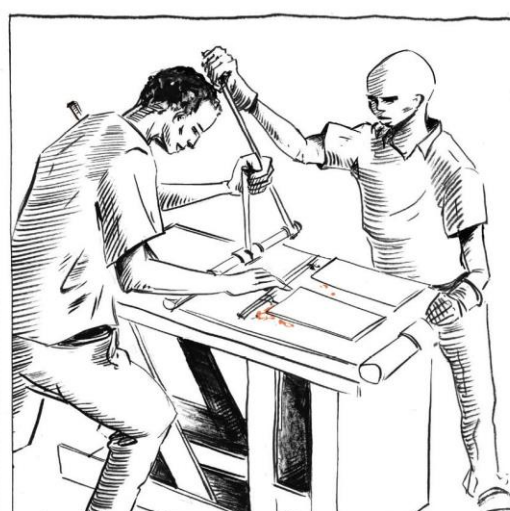




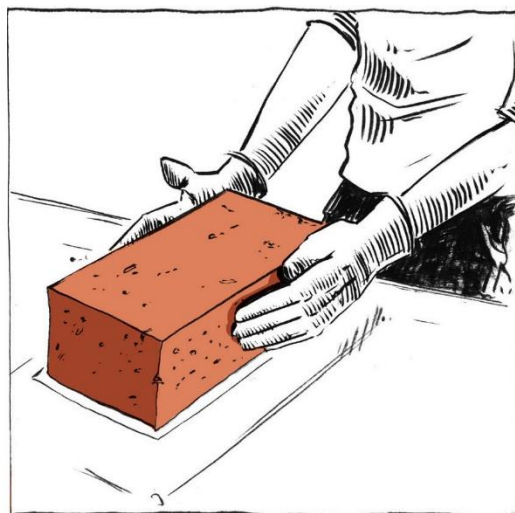
LORS DE SA PRÉPARATION, LA TERRE EST BROYÉE ET TAMISÉE POUR OBTENIR UN MATÉRIAU PULVÉULENT, HUMIDE ET HOMOGÈNE.



LE MÉLANGE EST PLACÉ DANS LE MOULE DE LA PRESSE.



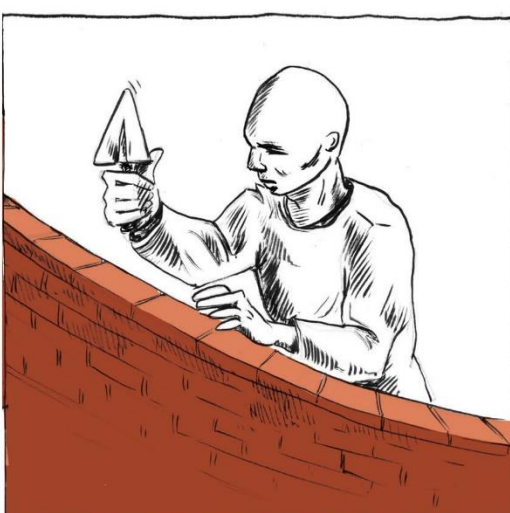
LA TERRE EST COMPRIMÉE MANUELLEMENT.



LE BLOC EST DÉMOULÉ ET SORTI DE LA PRESSE AVEC BEAUCOUP DE PRÉCAUTIONS, CAR LES ARÊTES SONT FRAGILES.



QUAND ILS SONT STABILISÉS, LES BLOCS SONT EMPILÉS DANS UNE ZONE DE STOCKAGE POUR EFFECTUER UNE CURE HUMIDE SOUS BÂCHE D'ENVIRON 28 JOURS.



LES BLOCS DE TERRE COMPRIMÉE SONT MAÇONNÉS AVEC UN MORTIER DE TERRE.

Aarde als draagelement: ter plaatse gegoten kleibeton

- ▶ De volle neef van beton
- ▶ De kennis, de knowhow, de industriële technologie, de bouwplaatstechnologie en de innovaties zijn overdraagbaar op het materiaal aarde
- ▶ Stabilisatie d.m.v. een hydraulisch bindmiddel zodat de bekisting binnen een redelijke termijn kan worden verwijderd: tussen 4 en 8 % kalk of cement – 15 % voor beton
- ▶ O&O: cementvrij zelfhardend kleibeton. Toevoeging van een stollingsmiddel met vertraagde werking

1 - ontginning



2 - bereiding





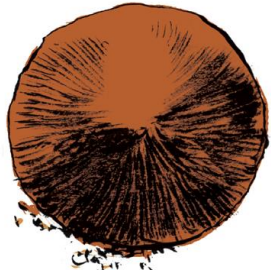


Welke aarde om te bouwen?

- ▶ De samenstelling van het mengsel moet steeds kunnen worden herzien
- ▶ Er dient geïnvesteerd in voorafgaande multidisciplinaire studies om
 - de grondstof in de nabijheid van de bouwsite te vinden
 - de verbeteringen te bepalen



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 = ontwikkeling van
ongebakken aarde**



FRANÇOIS COINTEREAUX: EEN LES GESCHIEDENIS
MATERIAAL

STRUCTURELE SOBERHEID

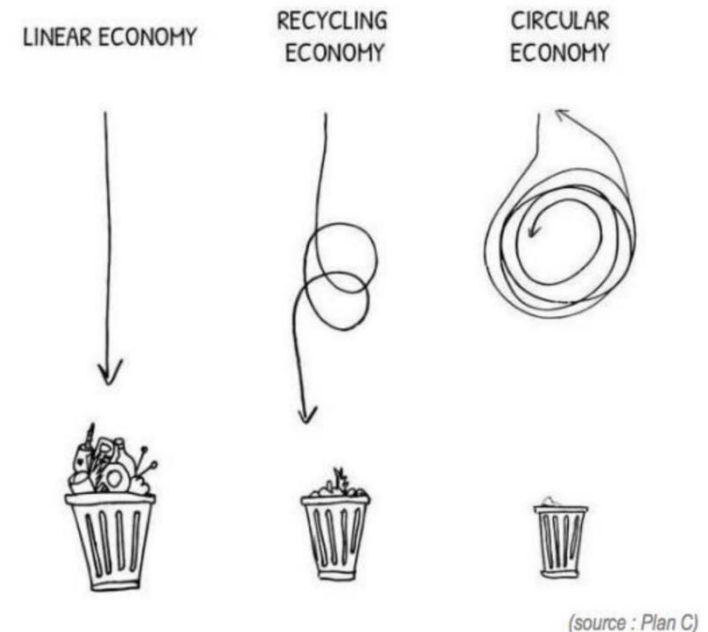
- ▶ **Gezond verstand**
- ▶ **Lastoverdracht**
- ▶ **Technische details**

BELEMMERINGEN VOOR DE ONTWIKKELING



Constructieve eenvoud + circulariteit + gezond verstand

- ▶ **Knowhow en materialen: lokaal of regionaal**
- ▶ **Niet-gespecialiseerde bouwwijze**
- ▶ **Structurele denkfouten maximaal beperken**
- ▶ Doeltreffend antwoord op technische en milieueisen
- ▶ Voorrang geven aan lowtech (juiste technologische dosering voor een eenvoudig onderhoud)
- ▶ Leesbaarheid van de bouwmethodes (draagelement ⇔ afwerkingselement) om veranderingen te vergemakkelijken
- ▶ Hergebruik van de materialen vergemakkelijken (gestandaardiseerde gereedschappen)
- ▶ Renovatiebehoefte reduceren



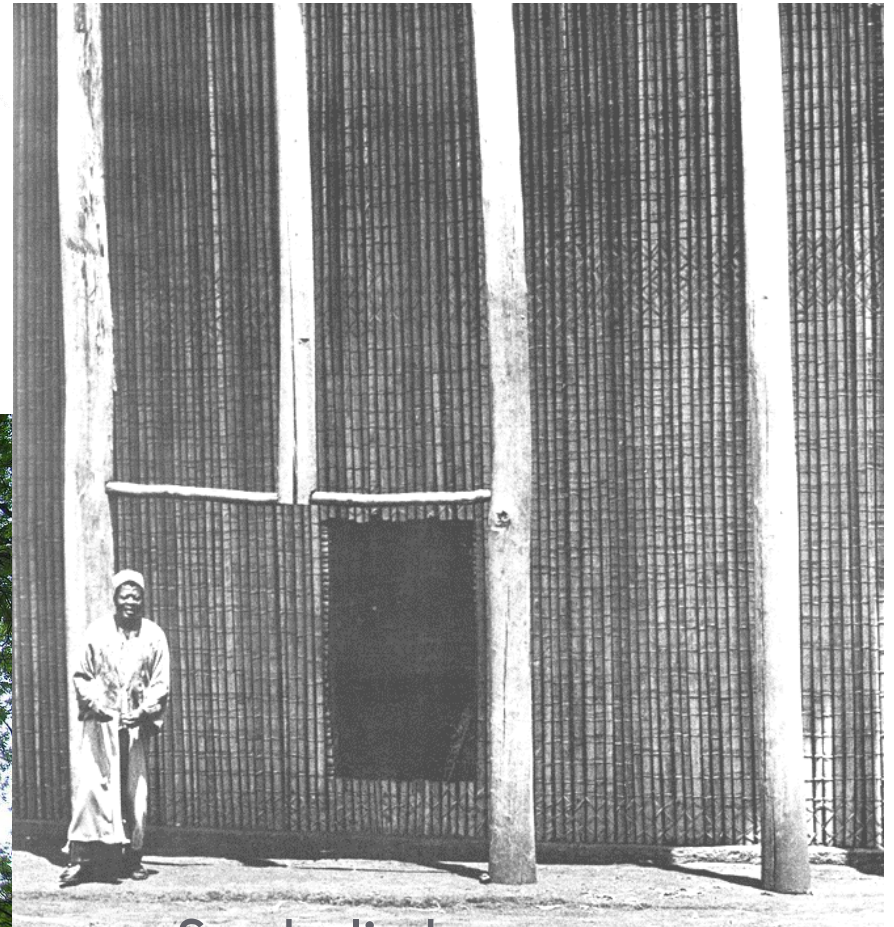
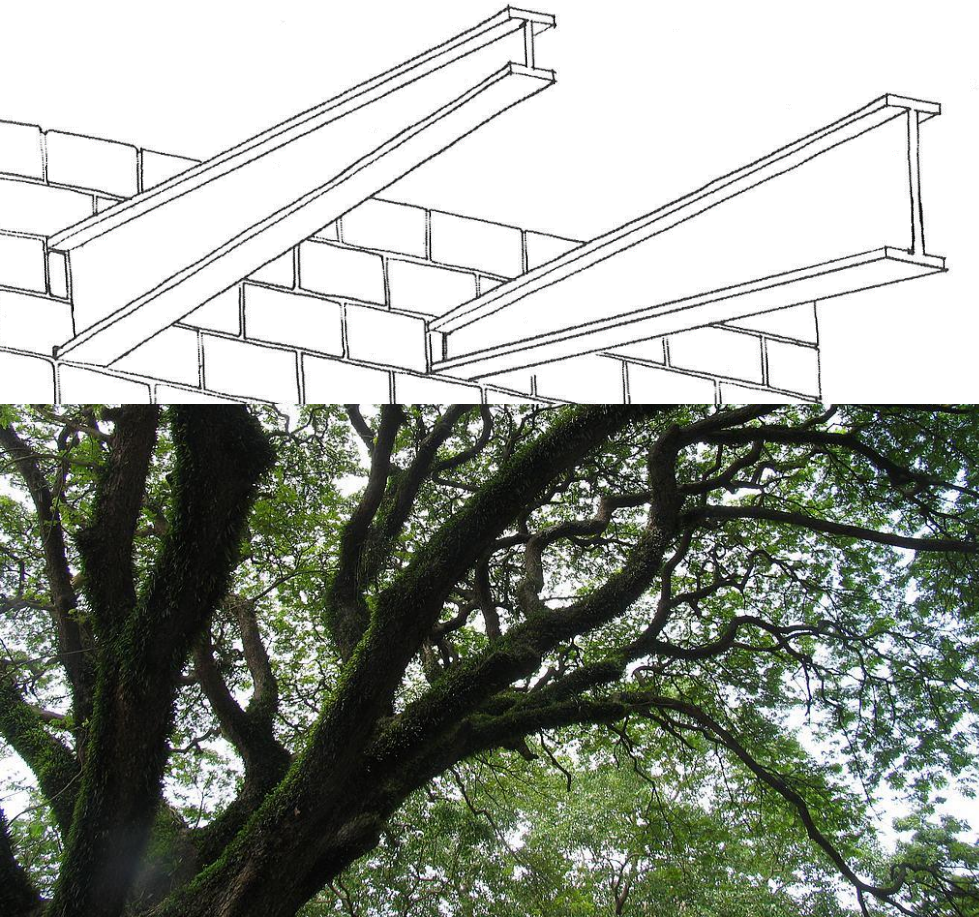
⇒ **Kosten en risico's** ➡

⇒ **Duurzaamheid en veerkracht** ↗



Gezond verstand

- Intuïtief begrip

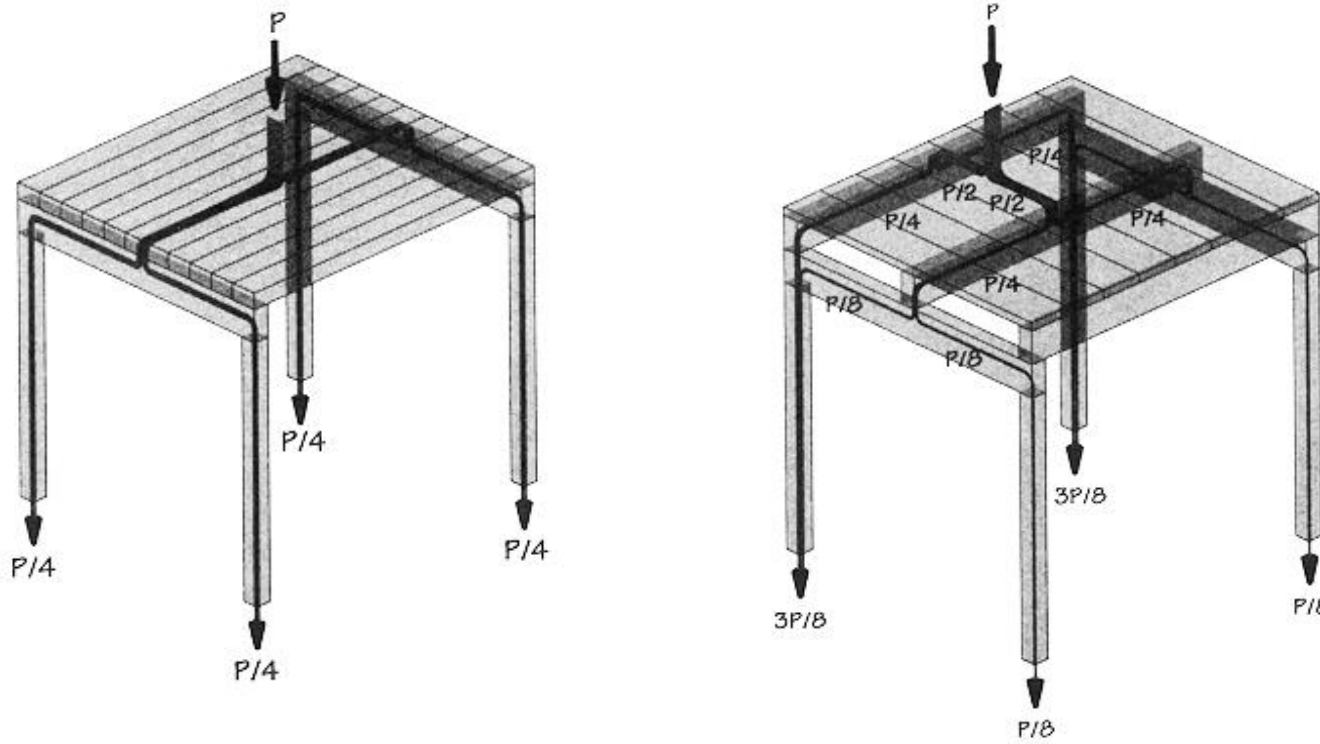


Symbolisch vermogen



Lastoverdracht

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



⇒ Het is niet moeilijker dan dat



Verticale belastingen (zwaartekracht)

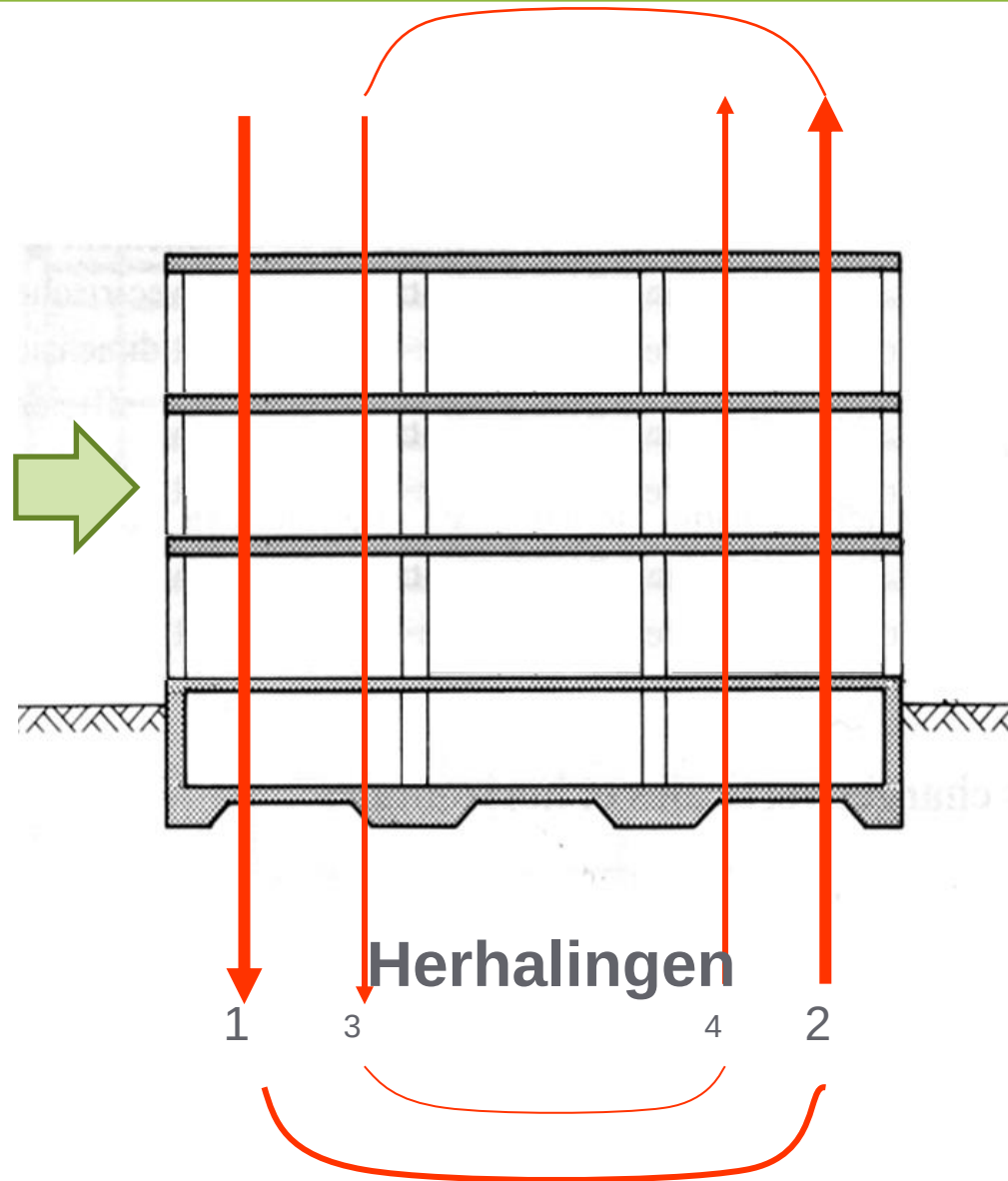
- Analyse verdieping per verdieping tot aan de funderingen
- Overspanningsrichting, materiële eigenschappen en afmetingen van de draagelementen

1. Alle kwesties moeten geïdentificeerd maar niet noodzakelijk opgelost zijn voor de volgende verdieping kan worden bekeken
2. De geformuleerde hypothesen worden al dan niet gevalideerd terwijl het omgekeerde traject wordt afgelegd

3 en + En vervolgens wordt het werk nauwkeuriger herbegonnen

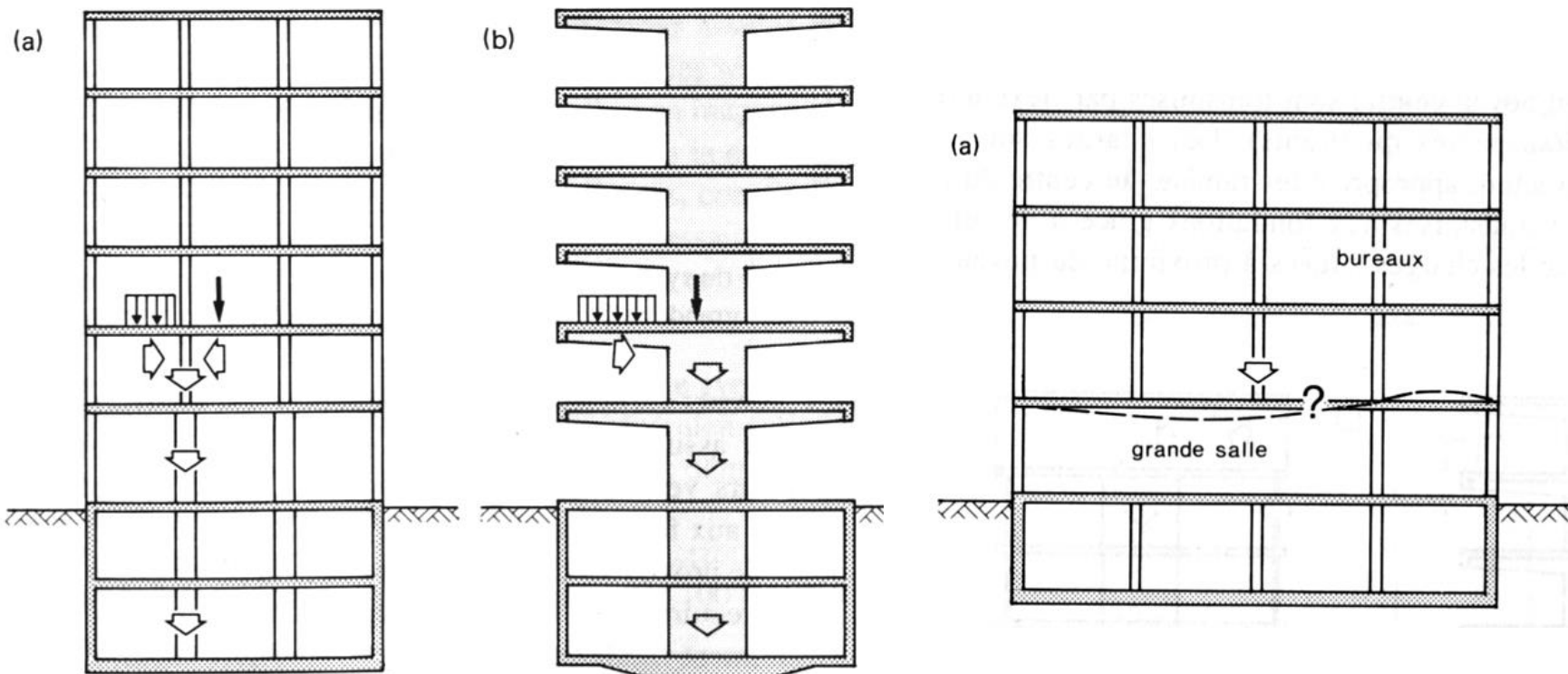
Horizontale belastingen (wind, ...)

⇒ **Een bijzonder krachtige tool**



Bij uw projecten

- ▶ Zorg ervoor dat dit geen hangende vragen blijven
- ▶ Vermijd singuliere punten



Enkele voorbeelden van opmerkelijke structuren



Coussée & Goris

Boerekreek in Sint-Laureins – 2008

- ▶ Ruimtelijke geometrie, licht
- ▶ Evolutief houten vakwerk



Rem Koolhaas

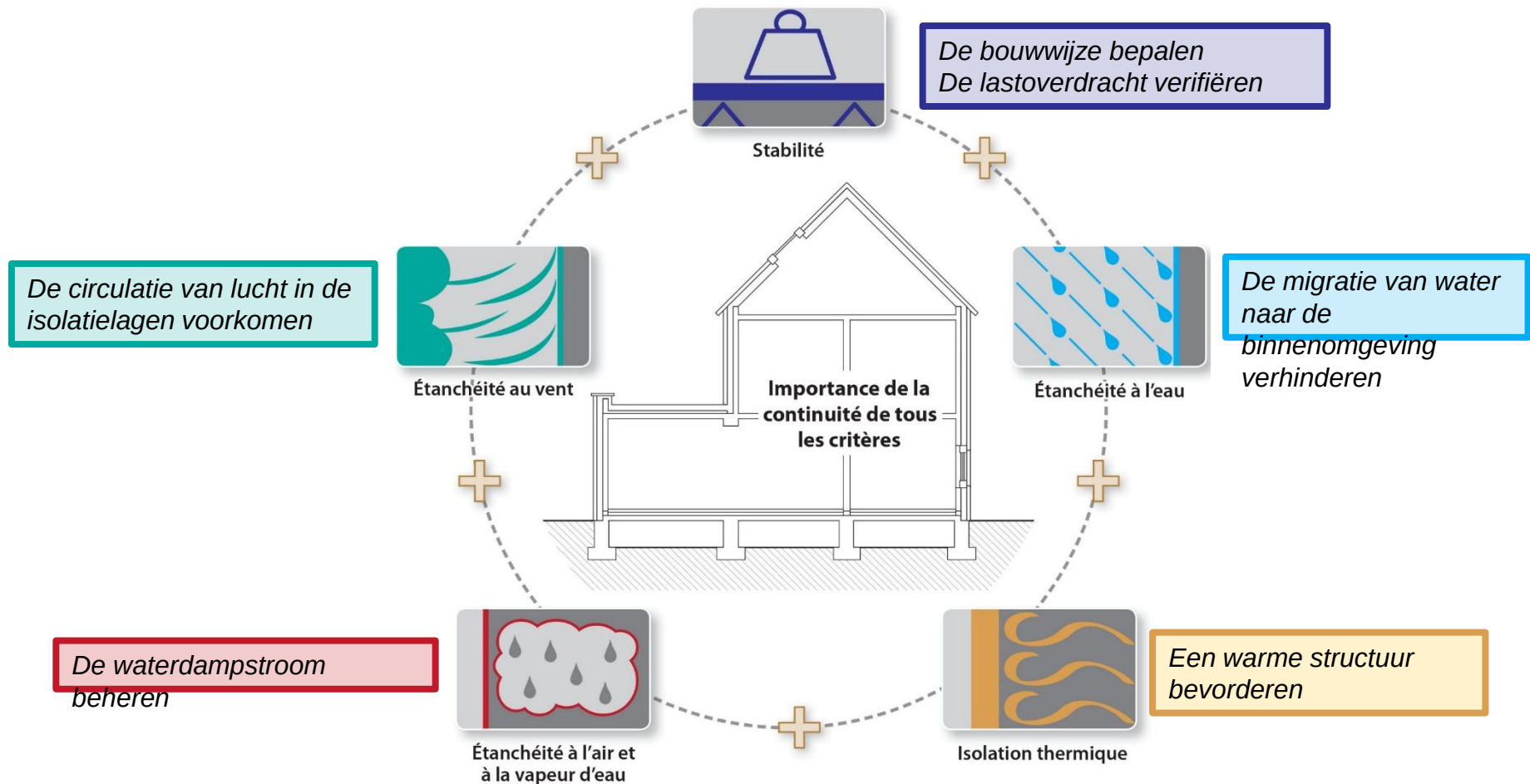
Maison Lemoine in Floirac – 1998

- ▶ 'Zwevende doos', enscenering, dramaturgie van de steunconstructies
- ▶ Portaalconstructie, omgekeerde balk met uitkraging en tegenwicht, betonwand en doorbrekingen



Technische details

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



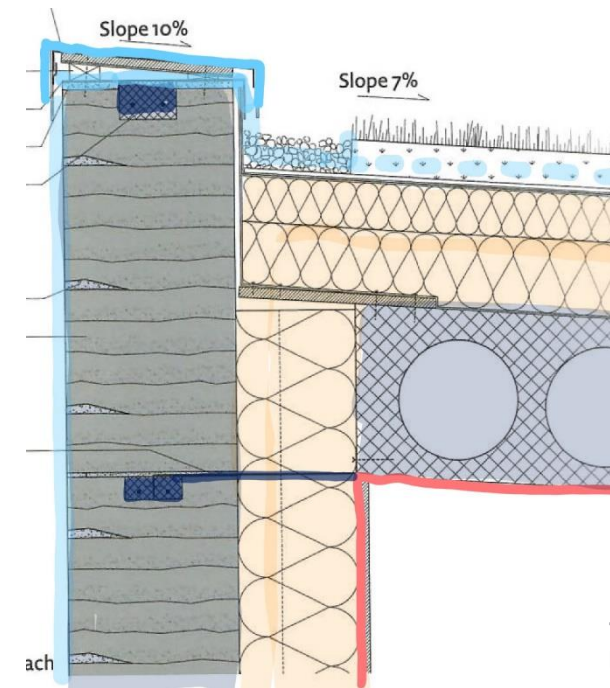
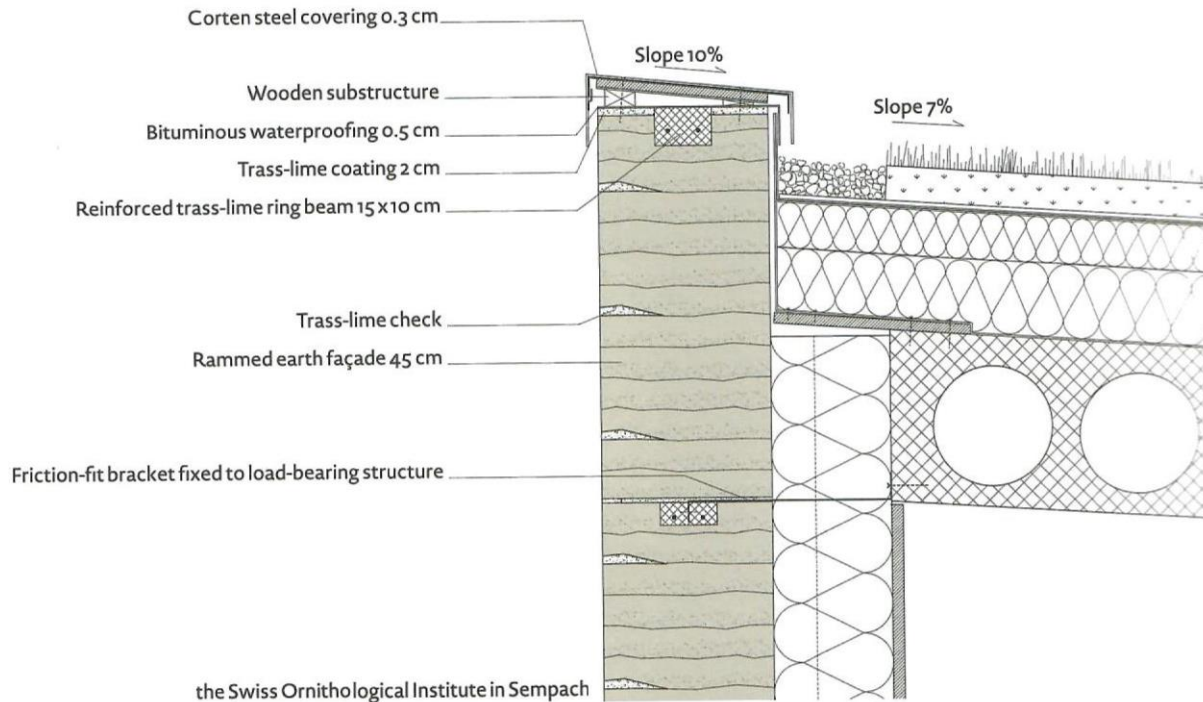
Het Zwitserse ornithologische instituut

1 - bouwmethode / lastoverdracht

2 - dichtheid van de buitenzijde (water en wind)

3 - thermische isolatie

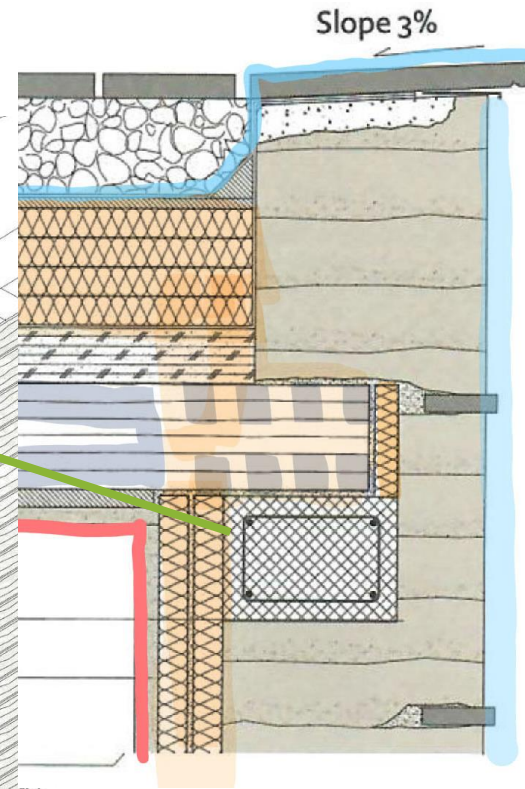
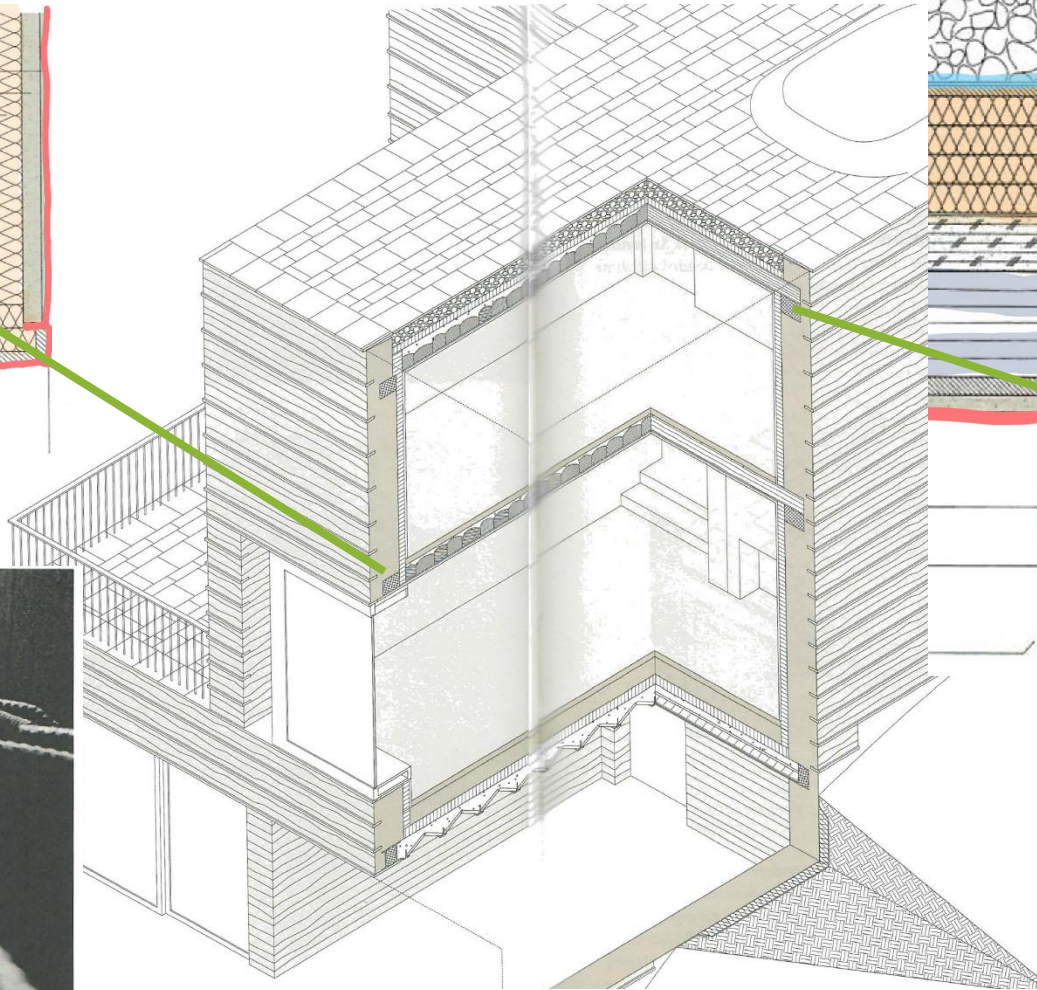
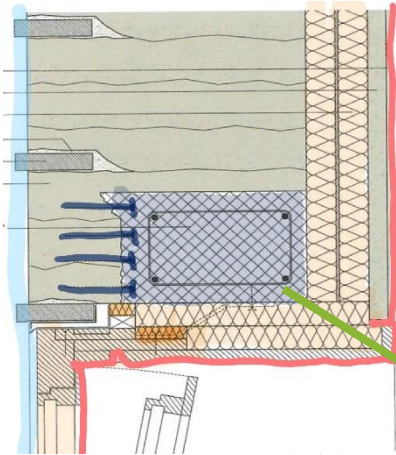
4 - dichtheid van de binnenzijde (lucht en waterdamp)



Sempach, Zwitserland, 2015
:mlzd



Rauch House



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



FRANÇOIS COINTEREAUX: EEN LES GESCHIEDENIS
MATERIAAL

STRUCTURELE SOBERHEID

BELEMMERINGEN VOOR DE ONTWIKKELING

- ▶ **Normen en verzekeringen**
- ▶ **Economie**
- ▶ **Industrie**



55 BELEMMERINGEN VOOR DE ONTWIKKELING**Normen en verzekeringen**

- ▶ normatief kader
- ▶ tools voor kwaliteitscontrole op de bouwplaats
- ▶ erkende methodes voor structuurberekeningen
- ▶ technische referentiesystemen
- ▶ popularisatie van wetenschappelijke kennis
- ▶ aangepaste regelgeving inzake thermische aspecten

**Normen moeten evolueren**

Testprotocollen moeten afgestemd zijn op het materiaal

⇒ **OPEN SOURCE: een te overwegen mogelijkheid**



Economie

- ▶ nichemarkt
- ▶ kleine opdrachten
- ▶ overheidsopdrachten zijn niet geëigend
- ▶ limiet van het associatieve systeem
- ▶ meerkosten verbonden aan het ontbreken van een gevestigde bouwlogica
- ▶ opleiding en competentienetwerk: weinig bedreven vaklieden
 - gekwalificeerde bedrijven vinden
 - weinig vooruitzichten voor leergasten



Aarde, een topmateriaal

- ▶ Massief gegoten beton 20 cm = € 170/m²
- ▶ Gegoten aarde 35 cm = € 300/m²
nr. 278)
- ▶ Stampleem 40 cm = € 600 - 800 per m²
nr. 285)

(architectuurtijdschrift d'a

(architectuurtijdschrift d'a



57 BELEMMERINGEN VOOR DE ONTWIKKELING

Prijvergelijking

- construire en terre, U. Röhlen, Ch. Ziegert, éd. Le moniteur

Tableau 11.2. Comparaison des coûts des éléments de construction

Construction terre		Solution 1	Solution 2 (simple)
<i>Enduits, revêtements, peintures</i>			
1	Enduit terre, 2 couches + primaire + 2 couches de badigeon argile 32,50 à 37,00 €/m²	Enduit chaux naturelle, 2 couches + 2 couches de badigeon chaux 30,50 à 32,50 €/m²	Enduit plâtre, monocouche + préprojection ou primaire + papier peint ingrain + 2 couches de peinture en dispersion 20,50 à 24,50 €/m²
<i>Pisé</i>			
15	Mur en pisé apparent 30 cm 300,00 à 900,00 €/m²	Mur en pierres naturelles apparentes 30 cm 300,00 €/m² Maçonnerie en briques de terre apparentes 36,5 cm 135,00 à 155,00 €/m²	Mur en béton apparent 30 cm qualité simple 130,00 à 150,00 €/m²
16	Sol en pisé 10 à 15 cm surface cirée + pose d'un géotextile 150,00 €/m²		Chape de ciment 6 à 8 cm surface cirée 45,00 €/m²

Conditions : tarifs 2010 HT, réalistes à partir de 100 m² environ, basés sur un coût de main d'œuvre de 40 € par heure. Tarifs fixés pour les surfaces de mur. Majoration de 15 à 20 % pour les plafonds. Légère réduction de coût possible avec d'autres types de peinture (environ 2 €).

Enduit terre : sous-couche en mortier terre grossier → 13 à 17 min

Application d'une couche de mortier terre sur les murs/plafonds comme sous-couche. Préparation du support dans les règles de l'art comprise (éventuellement balayer, humidifier). Niveau de qualité de surface Q2 (feutré), prêt à recevoir la couche suivante d'enduit terre de 3 à 5 mm d'épaisseur. Épaisseur : 15 mm.

Enduit terre : enduit de finition ou enduit simple couche en mortier terre grossier → 14 à 19 min

Application d'une couche d'enduit sur les murs/plafonds comme enduit de finition ou enduit simple couche. Préparation du support dans les règles de l'art comprise (éventuellement balayer, humidifier). Niveau de qualité de surface Q3 (taloché), prêt à peindre. Épaisseur de l'enduit : 10 mm.

Pisé : mur en pisé avec surface apparente → 350 à 1250 min

Construction d'un coffrage ferme, plan et rigide (résistant à une charge de 60 kN/m²). Contrôle de la consistance et de l'homogénéité de la terre à pisé. Remplissage du mélange à pisé en couches de 10 à 15 cm d'épaisseur. Compactage soigneux, uniforme, réalisé en plusieurs passes manuellement ou avec une machine. Réalisation structurellement stable, avec les liaisons nécessaires entre le mur et le gros œuvre existant. Exécution soignée du mur selon les plans de conception, de manière à obtenir une qualité de surface suffisante pour les surfaces de pisé apparentes. Décoffrage. Si besoin, mise à nu délicatement des agrégats avec une brosse métallique, à la main ou à la machine. Planning et type de travaux de finition selon les prescriptions. Protection contre les intempéries et le gel si nécessaire, sans interruption pendant et hors temps de travail jusqu'à la réception des travaux. Épaisseur du mur : 30 cm.

Pisé : sol en pisé → 200 à 350 min

Vérification de la stabilité et de l'adéquation du support. Contrôle de la consistance et de l'homogénéité de la terre à pisé. Application en plusieurs couches d'épaisseur appropriée du mélange à pisé. Compactage soigneux, uniforme, réalisé en plusieurs passes manuellement ou avec une machine. Incorporation d'un géotextile à grandes mailles dans la partie haute de la couche inférieure du sol en pisé. Si besoin, pose de baguettes de bordure le long des murs pour éviter les fissures en surface. Exécution de la finition du sol selon les prescriptions, permettant une exposition durable de la surface apparente qui restera sans revêtement.

Industrie

- ▶ Limiet van de industriële imitatie
- ▶ Het product met kwaliteitslabel vervangt vakarbeid
- ▶ Het verdelersnetwerk

Cultureel

- ▶ Algemene cultuur van het grote publiek
- ▶ Miskende Belgische referenties
 - hedendaagse bouwwerken
 - bouwwerken in lokale stijl
- ▶ Imago van een militante positionering



Paradigmaverschuiving teweeebrengen en veerkracht opbouwen

- ▶ Goederen moeten zo min mogelijk circuleren,
- ▶ mensen en ideeën moeten zo vrij mogelijk kunnen circuleren,
- ▶ en kapitaal mag helemaal niet circuleren.

John Maynard Keynes (1883-1946), Brits economist





- ▶ De verschillende disciplines moeten worden **ontzuild** en er moet een collaboratief beslissings- en ontwerpproces worden ontwikkeld
- ▶ Knowhow moet worden **overgedragen** en kennis moet worden ge vulgariseerd, telkens weer
- ▶ Er dient **geïnnoveerd** te worden voor gebruik in de huidige socio-economische context
- ▶ Bouwen met aarde houdt een grote **verscheidenheid** aan technieken in
- ▶ Veranderingen moeten **institutioneel** en systemisch zijn





Gids Duurzame Gebouwen

<https://www.gidsduurzamegebouwen.brussels/>



Websites

- Béton d'Argile Environnemental, amàco en CRA terre-AE&CC-ENSAG, 2016

https://amaco.org/wp-content/uploads/2020/04/Brochure_Beton_Argile_Environnemental.pdf



Artikels

- Le monde sans fin, Jancovici – Blain, Dargaud, 2021
- Construire en terre allégée, Franz Volhard, Actes Sud, 2016
- Construction & design with rammed earth, Martin Rauch, Detail, 2015
- Construire en terre – Construction – Rénovation - Finitions, U. Röhlen & Ch. Ziegert, Le moniteur, 2013
- Bâtir en terre - Du grain de sable à l'architecture, L. Fontaine & R. Anger, Belin, 2013
- Traité de construction en terre, H. Houben & H. Guillard, Parenthèses, 1989 – 1995



Verenigingen

- La Voûte nubienne (AVN)

Plaatselijke economie: materialen + arbeid (hoofdzakelijk Burkina Faso en Mali)

Duurzame, comfortabele, economische woonvormen, afgestemd op zoveel mogelijk mensen

Bestrijding van ontbossing

Opleiding van metselaars + bijstand aan ondernemers

Bewustmaking van de klanten en prospectie

- 5.200 uitgevoerde bouwwerken

- 1.160 actieve leergasten, metselaars en ambachtslieden van AVN

- 53.000 begunstigden

<https://www.lavoutenubienne.org/>



- Enerterre

Regionaal natuurpark van de moerassen van Cotentin en Bessin

10.000 aarden gebouwen, waaronder 4.000 huizen

Bestrijding van energiearmoede

Participatieve bouwplaatsen

Systeem van lokale uitwisseling

<https://www.enerterre.fr/>



Cédric Evrard

Stabiliteitsingenieur

Prototype srl

Louvain-la-Neuve

 +32 472 20 33 75 cedric.evrard@gamil.com

⇒ **Noodzaak is de moeder
van de uitvinding**

Plato (427-348 v. Chr.)

**BEDANKT VOOR UW AANDACHT**