



Definitieve berging van hoogradioactief en/of
langlevend kernafval in een kleiformatie in de
Belgisch-Nederlandse grensstreek

door Willy Weyns - Oktober 2010

Dit rapport werd geschreven door dr. Willy Weyns in opdracht van Greenpeace België en Greenpeace Nederland. Het werd voorgesteld aan het publiek op 26 oktober 2010 tijdens conferenties in Turnhout (B) en Tilburg (NL).

Meer informatie:

Eloi Glorieux, Campagneverantwoordelijke Kernenergie van Greenpeace België:
+32 (0)2 274 02 00 - eloi.glorieux@greenpeace.org

Ike Teuling, Campagneleider Kernenergie Greenpeace Nederland:
+31 (0)20 524 95 38 - iteuling@greenpeace.nl

Over de auteur:

Willy Weyns is doctor in de hydrogeologie en onafhankelijk consultant. Van 2003 tot 2009 was hij bestuurslid van het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle (FANC). Van 2002 tot 2009 was hij werkzaam bij het Instituut voor Samenleving en Technologie, de technology assessment instelling verbonden aan het Vlaams Parlement. Hij werkte als lid van het wetenschappelijk leescomité mee aan het tweede Safety and Feasability Interim Report (SAFIR-2) over de berging van hoogradioactief afval in België, dat in 2001 in opdracht van de staatssecretaris voor Energie door NIRAS werd gepubliceerd. In 2009-2010 was hij lid van de stuurgroep van het publieksforum over de berging van hoogradioactief afval van de Koning Boudewijnstichting.

Inhoud

Inleiding

1. Principe van een geologische berging
2. Volgens de Europese Commissie met het oog op een geologische berging te onderzoeken kleiformaties in België en in Europa
 - 2.1. Gehanteerde criteria
 - 2.2. Vergelijkende stand van zaken betreffende onderzoek in kleiformaties die het onderzoeken waard geacht worden
3. Voorkomen, diepte en dikte (geometrie) van de kleilagen in het Belgisch-Nederlandse grensgebied
 - 3.1. De referentie Formatie van Boom
 - 3.2. De alternatieve referentieformatie (Formatie van Kortrijk – Formatie van Dongen)
4. Tot op heden bekende onderzoeksresultaten aangaande de mogelijkheid van berging en de karakterisatie van kleilagen in België
 - 4.1. Onzekerheden over de aard en hoeveelheden te bergen Belgisch kernafval
 - 4.2. Hoe homogeen en uniform zijn de bestudeerde kleilagen?
 - 4.2.1. Klei van Boom
 - 4.2.2. leperiaanklei
 - 4.3 Grondwaterdoorstroming (advectie) doorheen halfdoorlatende kleiformaties van Boom en haar aanpalende watervoerende lagen
 - 4.3.1. Vertikale doorstroming 'lek' doorheen de Boomse klei
 - 4.3.2. Aanpalende watervoerende lagen
 - 4.3.3. leperiaanklei
 - 4.4 Onzekerheden over de gevolgen van de opwarming van klei en grondwater door hitteafgevend C-afval
 - 4.5. Onzekerheden over de interacties tussen verpakkingsmaterialen met klei
 - 4.6. Onbekenden in geoprospectieven en toekomstscenario's
 - 4.7. Talloze andere onduidelijkheden
 - 4.8. Talrijke soorten van onzekerheden
5. (Voorlopige) vergelijking Boomse en leperse klei met Europese criteria
6. Hoe moet het nu verder?
 - 6.1. Aanbevelingen van de onafhankelijke tienjaarlijkse doorlichtingen
 - 6.2. Aanbevelingen van dialogen en consultaties in 2009-2010 met stakeholders en het algemeen publiek en van het publieksforum van de Koning Boudewijnstichting in 2010.
7. Wanneer zal het onderzoek rijp zijn voor een strategische beslissing?
8. Van technisch-wetenschappelijke naar algemeen-maatschappelijke (politieke) beslissingen
9. Om te besluiten

Geselecteerde referenties

Bijlages

Inleiding

Er is al ruim 30 jaar O&O van de Boomse klei gebeurd op de nucleaire site van het Studiecentrum voor Kernenergie (SCK) en in het ondergrondse HADES-labo op dezelfde locatie te Mol-Dessel. Met dit onderzoek - vaak in internationaal verband - staat België aan de spits qua voorbereiding van een diepe bergingsinstallatie van B- en C-afval in klei.

Om deze historische reden is het wellicht begrijpelijk dat NIRAS, verantwoordelijk voor het beheer van al het radioactieve afval in België, deze referentiesite maar al te graag tot definitieve geologische berging zou willen omvormen. Temeer daar vandaag de roep naar transparantie, inspraak van stakeholders en burgers steeds heviger klinkt, en men - de ervaring met de oppervlakteberging van categorie A-afval indachtig - in de 'nucleaire gemeenten' Mol en Dessel minder tegenstand verwacht van de lokale bevolking dan elders.

De ganse kernenergielobby op wereldvlak zou ongetwijfeld ook opgelucht ademen als er in België snel een 'principeoplossing' zou komen, alsof dan het afvalprobleem van de kaart zou zijn. Niet te verwonderen dus dat NIRAS in het door Europa opgelegde Strategic Environmental Assessment van zijn Ontwerp Afvalplan en bijbehorende consultatieprocedure de geologische berging in klei (bedoeld onder het SCK) als 'referentieoplossing' ondubbelzinnig verdedigt en alternatieven zelf als onethisch, onverantwoord of onmogelijk afdoet. Maar, hoe staan de zaken, zowel pro als contra een geologische berging anno 2010 er werkelijk voor? Hieronder volgt een poging om wat meer klaarheid te brengen.

1. Principe van een geologische berging

Met geologische berging wordt bedoeld: eeuwigdurende en onomkeerbare opslag van al het verpakte Belgische radioactieve afval van categorie B en C in één kunstmatige ondergrondse constructie in een diepe kleiformatie.

Veiligheidsanalyses beschouwen dat in een eerste periode van onbekende duur (honderden tot enkel duizenden jaren) het afval binnen de kunstmatige verpakkingen en barrières zal blijven. Nadat die kunstmatige barrières het begeven, worden de vrijkomende radionucliden gedurende een onbekende periode afgeremd door het gastgesteente. Vervolgens zullen de radionucliden in geleidelijk toenemende concentraties soort per soort de biosfeer bereiken. De maximale blootstelling van mens en milieu - mede door het radioactief verval - wordt volgens de modellen verwacht tussen 100.000 en 1 miljoen jaar, waarna ze weer geleidelijk afneemt. Voor de chemische vervuiling is er uiteraard geen halveringstijd, geen verval.

Om een idee te geven van deze geologische tijdschaal; als we evenver teruggaan in de tijd zitten we niet in de Middeleeuwen of in de tijd dat de Egyptische piramiden gebouwd werden, maar in de prehistorie tot lang voor het ontstaan van de eerste Neanderthaler.

Een geologische bergingsinstallatie heeft de bedoeling deze toekomstige blootstelling onder een aanvaardbaar peil te houden door:

- Afscherming van het B- en C-afval van het grondwater
- Uitstel van vrijkomen en verspreiding van de radionucliden
- Verdunning van de radionucliden in het grondwater en verspreiding in de ondergrond
- Moeilijke toegang tot het gevaarlijke radioactieve afval

Het meeste grondwater is een onderdeel van de hydrologische cyclus en komt ooit weer aan de oppervlakte. Omdat grondwaterdoorstroming dé kritische factor is waardoor nucliden terug in de biosfeer belanden, zijn enkel aardlagen met zo weinig mogelijk doorstroming het onderzoeken waard. Te weten: zout, klei en kristallijn gesteente zonder barsten.

2. Volgens de Europese Commissie met het oog op een geologische berging te onderzoeken kleiformaties in België en in Europa

De Europese Commissie gaf in 1980 al een atlas uit (EUR 6891) van het voorkomen van deze gesteenten in de toenmalige acht lidstaten en van een reeks criteria waaraan zij zonder uitzondering moesten voldoen om voor een eventuele bergingssite voor B- en C-afval in aanmerking te komen.

2.1. Gehanteerde criteria

We geven een aantal van de hierbij gehanteerde criteria die van bijzonder belang zijn voor de optie Belgische klei:

Criterium	Grenswaarde
Dikte van de kleiformatie	Minimum 100m
Diepte top kleiformatie	Minimum -200 tot -300m
Homogeniteit kleiformatie	Voldoende homogeen
Breuken (tectoniek)	Geen of weinig breuken
	Eenvoudige structuur
Waterdoorlaatbaarheid	Zeer laag
Grondwater	Geen aanpalende watervoerende laag
Warmtegeleidbaarheid	Hoog
Aardbevingsrisico	Maximum intensiteit IX MSK
Mechanische eigenschappen	Stabiliteit bij uitgraven/ zeer plastisch

2.2. Vergelijkende stand van zaken betreffende onderzoek in kleiformaties die het onderzoeken waard geacht worden

In België waren aldus a priori drie geologische formaties het beschouwen waard: de schiefers (verharde kleisteen) van het diepe massief van Brabant (Noord- en Centraal-België), de kleiën van Boom en van het leperiaan.

De diepe, verharde schiefers werden meteen terzijde gelaten omwille van de beperkte kennisbasis. De klei van Boom wordt sedert 30 jaar intensief onderzocht in de Kempen, voornamelijk in de referentiesite op de terreinen van het SCK te Mol. Ingevolge de onafhankelijke expertendoorlichting van SAFIR (1989) werd daar achteraf een beperkt onderzoek van de leperiaanklei aan toegevoegd in het noordwesten van België, voornamelijk in de referentiesite bij de kerncentrale te Doel.

Elders in Europa:

- In het noordoosten van Frankrijk gebeurt onderzoek in een ondergronds labo op -490 meter in een 130 meter dikke kleiformatie (Bure).
- In het noorden van Zwitserland onderzoekt NAGRA de mogelijkheid van berging op 700 meter diepte in een leisteenformatie van 100 meter dik.
- In Centraal-Italië, zowel in Toscanië-Latium als langs de Adriatische kust komen uitgestrekte kleiformaties voor van 1.000 tot 2.000 meter dikte.
- In Nederland komen, naast zoutkoepels in het noorden van het land, drie kleiformaties voor die a priori voldoende dik en diep zijn over grote delen van het grondgebied: de klei van Boom, de klei van Asse en de Ieperaanklei. Omdat er hier keuze genoeg is worden enkel diepten tussen -500 meter en -800 meter in overweging genomen. Nederland voorziet echter geen berging in de eerste honderd jaar.
- In het noorden van Duitsland, in Denemarken, in het Verenigd Koninkrijk en in nieuwe lidstaten van de Europese Unie komen kleiformaties voor die in de toekomst zouden onderzocht kunnen worden.

Het valt op dat men buiten België enkel kleilagen beschouwt die veel dieper en dikker zijn dan wat door Europa is vooropgesteld.

3. Voorkomen, diepte en dikte (geometrie) van de kleilagen in het Belgisch-Nederlands grensgebied

3.1. De referentie Formatie van Boom

De Formatie van Boom komt voor in het noorden van België en loopt door in Nederland, waar zij de Rupel-formatie wordt genoemd. Zij ligt aan de oppervlakte in de Rupelstreek (kleigroeven), haar dikte en diepte nemen geleidelijk toe naar het noorden. Aan de Belgisch-Nederlandse grens bedraagt de dikte van de Formatie méér dan 150 meter en overschrijdt zij een diepte van 250 meter.

De top van de kleiformatie is meestal verdwenen door erosie. In diepe geulen zoals pal ten zuiden van Mol (Diest-Tessenderlo) is de klei van Boom zelfs helemaal weggespoeld en de ontstane put is opgevuld met doorlatende zanden van Diest.

In het oosten is er een stelsel van diepe en actieve breuken (**zie figuren 1 - 3 in bijlage, pg 22 en 23**): de breuk van Rijen-Beringen ten westen en de breuk van Rauw ten oosten van Mol. Vervolgens is er het breukenstelsel van de Roer Graben slenk, waarin de Boomse klei in Nederland zelfs tot -1.800 meter diepte zakt.

Men kan dus niet zeggen dat de structuur van de Boomse klei in de referentiesite te Mol 'eenvoudig van structuur' of 'vrij van breuken' is, zoals vereist.

3.2. De alternatieve referentieformatie leperiaanklei (Formatie van Kortrijk - Formatie van Dongen)

Voor het geval de onderzoeksresultaten geen bergingsinstallatie in de Boomse klei zouden verrechtvaardigen, hebben de wetenschappelijke peer review-commissies van SAFIR-1, SAFIR-2 en NEA parallel onderzoek op de leperiaanklei als alternatief gastgesteente aanbevolen. Wat vroeger de klei van leper werd genoemd heet nu de Formatie van Kortrijk. De basisgegevens van geometrie zijn als volgt: in Oost- en West-Vlaanderen is die klei méér dan 100 meter dik, verder oostwaarts wordt de klei dunner en dunner. Net zoals bij de klei van Boom, nemen zowel de dikte als de diepte toe naar het noorden. Ze overtreffen allebei 150 meter bij de Nederlandse grens, en de diepte zelfs de 600 meter boven Antwerpen. In Nederland maken deze kleilagen deel uit van de Formatie van Dongen. Net zoals de Boomse klei liggen ze ten noorden van de grens dikker en dieper tot zeer diep in het zogenaamde 'Voorne trog' in Zeeland (tot -1.800 meter). In de Noordzee tot en met in Knokke worden vele breuken en vervormingen vastgesteld.

Opmerking: De effectieve dikte van beide kleiformaties moet worden herleid tot het deel waar de retentiecapaciteit voldoende is (zie homogeniteit onder 4.2. en zie doorlatendheid onder 4.3). In België zijn de kansen beperkt om een site in diepe klei te vinden die voldoet aan de basiscriteria van geometrie (voldoende diepte en dikte). Als die er al is, dan ligt die waarschijnlijk nabij de Belgisch-Nederlandse grens. **(zie figuren 4 -6 in bijlage, pg 23 - 25)**

4. Tot op heden bekende onderzoeksresultaten aangaande de mogelijkheid van berging en de karakterisatie van kleilagen in België

Opmerking vooraf: Gezien de beperkte transparantie over de voortgang van de onderzoeksprogramma's en de bereikte resultaten, zal het mij ten zeerste verheugen als die, eenmaal publiekelijk bekend en de proef van peer review doorstaan, sommige van de hierboven aangestipte onzekerheden gevoelig zouden verkleinen.

4.1. Onzekerheden over de aard en hoeveelheden te bergen Belgisch afval

Logischerwijs begint alles met een nauwkeurige kennis van de 'bronterm', het te bergen afval. In België is het maken van de zogenaamde 'inventaris' een wettelijke opdracht van NIRAS. Tot op heden is hier geen duidelijkheid over (VMM, 2007). De kwaliteitscontrole (bepalen van de radiologische nuclidensamenstelling) van een deel van het Belgische kernafval is onmogelijk of nog niet gebeurd. Het is mogelijk dat een deel van het A-afval dat momenteel voor oppervlakteberging te Dessel bestemd is, zal moeten toegevoegd worden aan het huidige volume B-afval. Als het radiumafval van Umicore te Olen aan NIRAS zou worden overgedragen, zal dit het voorziene volume B-afval met 1.340m³ doen toenemen. Als de producenten van splijtstoffen en plutoniumhoudende stoffen deze als afval bestempelen, vergroten die het volume door Niras te beheren C-afval. En ook een verlenging van de levensduur van de zeven bestaande commerciële kernreactoren met tien jaar, zal het te beheren C-afval met een kwart doen toenemen (VMM, 2007). Enzovoort...

NIRAS is dan ook zelf vragende partij (aan de regering) om hierover duidelijkheid te krijgen. NIRAS moet eerst kunnen bepalen welke soorten afval, met welke nuclidensamenstelling en in welke hoeveelheden uiteindelijk zullen moeten beheerd worden alvorens voor elk van hen de specifieke problemen van verpakking, al dan niet compatibiliteit met klei, veiligheidsanalysen en dergelijke meer te kunnen uitwerken. Zonder deze gegevens kan geen concept, geen dimensionering (het aantal km² uitgestrektheid) van een bergingsinstallatie redelijkerwijze worden voorgesteld. Om dit te illustreren: bij rechtstreekse berging van verschillende soorten splijtstof stelt zich het 'kritikaliteitsprobleem', namelijk het risico op spontane kernexplosie. Dit is een risico dat tot nog toe weinig of geen aandacht kreeg.

4.2 Hoe homogeen en uniform zijn de bestudeerde kleilagen?

4.2.1. Klei van Boom (zie figuur 7 in bijlage, pg 26)

De Formatie van Boom bestaat uit een grijze siltige klei en kleiige silt, in afwisselende laagjes van enkele tientallen centimeter tot meterdikte. Dezelfde opeenvolging van dunne laagjes zijn weer te vinden over grote horizontale afstanden. Silt is de fractie tussen klei en fijn zand. Silt is grofkorreliger en daardoor beduidend meer doorlatend dan klei. De klei van Boom behoort tot de hardere kleisoorten, het is 'stijve klei'. Het kleirijke deel neemt af naar het oosten.

De Formatie van Boom wordt onderverdeeld in drie onderdelen van verschillende samenstelling, van boven naar onder (dikten onder de terrinen van het SCK te Mol-Dessel):

- 25,5 meter afwisseling klei en siltlagen ('transitiezone' met bovenliggende Zanden van Eigenbilzen: worden meegerekend door NIRAS)
- 46,5 meter zwarte klei, met siltige horizonten (Lid van Putte): dubbel band = meest siltige laag op 4 meter boven de basis
- 15 meter kalkrijke, bleekgrijze klei (Lid van Terhagen)
- 13 meter siltige, kalkrijke klei (Lid van Belsele-Waas: wordt niet meegerekend door NIRAS)

Gevolgen voor de effectieve dikte van de klei:

Omdat de onderste siltige laag (Lid van Belsele-Waas) in elk geval niet meetelt als barrière, bedraagt de dikte van de kleibarrière slechts 87 meter.

HADES, het ondergronds labo op de site van het SCK te Mol, werd op een tiental meter van de top van het Lid van Putte gesitueerd. Een eventuele bergingssite wordt een 10 meter lager, pal in het midden van het meest kleiïge pakket én de bovenliggende klei-en-silt transitiezone gepland. Volgens NIRAS is de afschermdende kleilaag van 40 meter boven (inclusief 25,5 meter gecontesteerde transitiezone) als 40 meter onder de voorziene bergingsinstallatie voldoende.

Het bovenste pakket van 25,5 meter klei-en-silt 'transitiezone' naar het zand erboven, wordt door NIRAS meegerekend om tot een totale dikte van 90 meter 'weinig doorlatend' geheel van Boomse klei te komen. Het is maar de vraag of dit terecht is. Het hangt namelijk af van hoeveel doorlatendheid men toelaatbaar acht voor het gastgesteente. De Nederlandse onderzoekers voor CORA bijvoorbeeld zijn voorzichtiger en rekenen de transitiezone niet mee. In dit geval beperkt zich de eigenlijke kleilaag met siltige tussenlagen tot de Leden van Putte en Terhagen. De effectieve dikte van de Boomse klei (met een gemiddelde kleifractie van 49%) in de zone Mol-Dessel bedraagt dan nog maar 60 meter. Dit is ruim de helft van de minimale vereiste 100 meter.

Op de referentiesite van het SCK te Mol scoort de klei van Boom volgens de internationale criteria op dit punt onvoldoende als potentiële gastsite. Zolang elders in De Kempen geen geschikte site gevonden wordt waar de klei van Boom noemenswaardig dikker is, voldoet ook deze formatie niet als gastgesteente.

4.2.2. leperiaanklei

Wat als 'leperiaanklei' bestempeld wordt, bestaat uit de volgende geologische eenheden (van boven naar onder):

- max 24 meter kleirijke basis van Lid van Kortemark (Formatie van Tielt)
- max 20 meter fijn-siltige klei van het Lid van Aalbeke (Formatie van Kortrijk)
- max 95 meter heterogene, gelaagde siltige klei, kleiïge silt, silt tot fijn zand van het Lid van Roubaix (Formatie van Kortrijk)
- 10 tot 100 meter homogene klei van het Lid van Orchies (Formatie van Kortrijk)

De Ieperiaanse kleilagen zijn van betere kwaliteit in het westen (Knokke, Assenede), en worden geleidelijk tot snel zandiger naar het oosten (Doel, Mol).

4.3 Grondwaterdoorstroming (advectie) doorheen halfdoorlatende kleiformatie van Boom en haar aanpalende watervoerende lagen

Klei is een half doorlatende formatie ('aquitard'): grondwater beweegt er zich niet gemakkelijk doorheen, veel minder gemakkelijk dan doorheen watervoerende lagen ('aquifers') zoals zand of grind. Maar dit betekent niet dat er geen waterbeweging is. Het water beweegt traag, zowel in horizontale als in verticale richting. Naast langzame verplaatsing door diffusie, zullen radionucliden in het grondwater oplossen. Grondwaterdoorstroming (advectie) is dé kritische factor voor het migreren van de vrijkomende nucliden, via de aanpalende watervoerende lagen en desgevallend breuken en via rivieren, naar de oppervlakte en de biosfeer.

De graad van doorlatendheid of permeabiliteit of 'hydraulische conductiviteit' wordt uitgedrukt door de doorlatendheidscoëfficiënt of K in m/s. Hoe kleiner de waarde hoe beter, want des te trager kan het grondwater zich voortbewegen doorheen de half doorlatende klei. De waarde van 10^{-11} is hier de cruciale scharnierwaarde: minder doorlatend (vb 10^{-12}) betekent beperking van beweging tot diffusie, grotere doorlatendheid (vb 10^{-10}) laat grondwaterdoorstroming toe door advectie. De doorlatendheid is verschillend in horizontale (grondwaterstroming naar de rivieren in het westen) en in verticale zin (neerwaartse of opwaartse 'lek' naar aanpalende watervoerende lagen).

4.3.1. Vertikale doorstroming 'lek' doorheen de Boomse klei

- Doorstroming in het klein

Doorlatendheid wordt gemeten 'in het klein' in boorgaten of in het ondergrondse HADES-labo (in 'het nabije veld').

Sedert 1999 beschouwt NIRAS de waarde voor de verticale permeabiliteit in het klein $K=2,5 \times 10^{-12}$ m/s ($=0,0000000000025$ m/s) als representatief voor de klei van Boom te Mol, die volgens NIRAS 90 meter dik is. Maar dit is niet algemeen aanvaard onder deskundigen. Nergens in de natuur bestaat er een volmaakt homogene formatie. Wat daarom geenszins mag gebeuren is dat gunstige parameters gemeten in de beste kleilagen (enkele meters dik), onterecht veralgemeend worden als representatief voor het heterogene geheel van de ganse formatie (ettelijke tientallen meters dik).

Om tot die 90 meter te komen, rekent NIRAS bovenop de 61,5 meter klei ook de 25,5 meter klei en silt 'transitiezone' mee ($61,5 + 25,5 = 87$ meter !). Andere wetenschappers argumenteren dat een K_v waarde onder 5×10^{-12} m/s slechts representatief kan zijn voor een dikte van maximaal 70 meter, omdat de transitiezone bovenaan moet uitgesloten worden (Wemaere, 1998). In deze 'transitiezone' worden immers grotere ($K_v=10^{-11}$ m/s) permeabiliteiten gemeten. Het onderste lid van Belsele-Waas wordt ook door NIRAS uitgesloten omdat het permeabiliteiten vertoont die veel hoger zijn dan 10^{-11} m/s. De doorlatendheid neemt evenwel noordwaarts af bij toenemende diepte (compactering), wat

gunstiger is. Dikte en doorlatendheid van het kleipakket zijn sleutelwaarden voor het resultaat van de veiligheidsanalysen.

- Doorstroming in het groot.

Doorlatendheid 'in het groot' (doorheen de ganse Formatie) wordt bepaald via wiskundige simulatiemodellen. Grondwaterdoorstroming en opwaartse en neerwaartse lek doorheen de Boomse klei werden sedert 1985 al gesimuleerd met verschillende wiskundige modellen (NEWSAM-code), zowel op lokale (nucleaire zone te Mol) als op regionale schaal (Noorderkempen). Doorstroming - zowel horizontaal als vertikaal - gebeurt altijd van hogere piëzometrische druk (hoger niveau in peilput) naar lagere (lager niveau in tweede peilput). In horizontale richting uit dit zich als 'verhang' of dalende helling van het waterdrukoppervlak dat de niveaus in alle peilputten verbindt. Er werden hiervoor aanvankelijk een reeks erg simplificerende aannames gedaan (kleine doorlatendheidscoëfficiënt, geen doorstroming bij de breuken, enz.) die achteraf getest worden door de uitslag te vergelijken (validatie) met de werkelijkheid (de niveaus in de peilputten). Het model wordt gaandeweg verfijnd en verschillende contrasterende hypothesen getest.

Welnu, er werd tot op heden geen bevredigende overeenkomst gevonden tussen model en realiteit. Qua doorlatendheidscoëfficiënt is de beste overeenkomst tussen deze modellering en de metingen in boorgaten tot nog toe $K=10^{-10}$ m/s. Ook volgens de Nederlandse onderzoekers van TNO varieert de doorlatendheid van de Boomse kleiformatie tussen 10^{-9} en 10^{-11} m/s. In het Nederlandse onderzoeksprogramma CORA wordt voorzichtigheidshalve de grootste waarde $K=10^{-10}$ als representatief voor de kleiformatie van Boom aangehouden. Deze beduidend hogere permeabiliteit dan op microschaal in de zone van het SCK te Mol, zou kunnen wijzen op watercirculatie via siltlagen en/of breuken of barsten in de klei, die een rol spelen op Formatie-schaal. De opeenvolgende SAFIR-1, SAFIR-2 en NEA-reviews hebben steeds aangedrongen dat er dringend duidelijkheid moest komen over de representatieve doorlatendheidscoëfficiënt van de Boomse klei.

4.3.2. Aanpalende watervoerende lagen (zie figuur 8, in bijlage, pg 27)

Het geheel van lagen aanpalend en boven de Boomse klei (de 'Neogene aquifer'), is de tweede grootste grond- en drinkwater producerende laag van België.

De onderliggende Zanden van Ruisbroek-Berg hebben veel minder doorstroming dan de Neogene aquifer erboven. Hierdoor is het verdunningsdebiet veel lager en rekent men op een toekomstige maximale nuclidenconcentratie (ingevolge de neerwaartse lek) die duizend maal hoger is dan in de Neogene aquifer. In toekomstscenario's moet men er rekening mee houden dat bij uitputting van de Neogene aquifer in de toekomst ook deze diepere watervoorraad aangeboord zal worden (waarbij de Boomse klei doorboord wordt).

Ook wat dit criterium betreft, voldoet de Boomse klei niet aan de vooropgestelde voorwaarde.

4.3.3. leperiaanklei

Aanpalende watervoerende lagen. Uit de onderliggende Landen aquifer wordt drinkwater opgepompt, waardoor de doorstroom door de leperiaanklei neerwaarts is geworden. Naar alle waarschijnlijkheid zal dit in de toekomst méér gebeuren, in tegenstrijd met het Europese criterium.

4.4. Onzekerheden over de gevolgen van de opwarming van klei en grondwater door hitteafgevend C-afval

Klei is het slechtste potentiële gastgesteente voor warmteafgevend C-afval, omdat het zeer weinig warmtegeleidend is. Daardoor zal de klei tientallen graden opwarmen (véél meer als het C-afval niet eerst decennialang aan de oppervlakte afgekoeld is). Dit is van fundamenteel belang want vanaf ongeveer 100°C bakt klei, en verliest het naar alle waarschijnlijkheid zijn nuclide-vasthoudende eigenschappen. Er wordt momenteel zelfs rekening gehouden met een opwarming die nog +15°C zal bedragen in de watervoerende laag boven de Boomse klei. Dit is niet min. Hoeveel graden mag het opgepompte grondwater en de bodem opwarmen? Wettelijke normen zijn er nog niet. Volgens de huidige hypothesen moet, om de opwarming van het gastgesteente en de ganse ondergrond onder een 'aanvaardbare' temperatuur te houden, het C-afval alleszins eerst 70 à 100 jaar actief afgekoeld worden aan de oppervlakte.

Dit betekent ook dat een eventuele centrale bergingssite niet eerder dan 70 à 100 jaar na de desactivering van de laatste kernreactor kan gesloten worden. Als de kerncentrales na een operationele diensttijd van 40 jaar gedesactiveerd worden, zoals de wet op de kernuitstap in 2003 oplegde, dan sluiten de laatste reactoren in 2025. De hoogradioactieve en hitteafgevend gebruikte kernbrandstof uit deze reactoren kan dan pas ten vroegste na een noodzakelijke afkoelperiode vanaf 2095 à 2125 in een ondergrondse site geborgen worden. Indien de kernuitstapwet wordt opengebroken en de levensduur van de kerncentrales verlengd wordt, dan wordt de ultieme bergingsdatum met een zelfde aantal jaren uitgesteld.

Daarenboven moeten de bergingsgalerijen voor C-afval op voldoende afstand van mekaar gespreid worden in het midden van de kleilaag. Het PRACLAY onderzoeksprogramma is opgezet om een beheersysteem te ontwikkelen dat rekening houdt met deze uitdaging, maar is nog lang niet afgerond.

De warmtegeleidbaarheid van de leperse klei is nog kleiner, dus op dit punt is deze formatie minder gunstig dan die van Boom.

4.5. Onzekerheden over de interacties tussen verpakkingsmaterialen met klei

Er moet ook nog veel onderzoek gebeuren naar de interacties van klei met het ingebrachte afval in de verschillende verpakkingsmaterialen, niet in het minst cement (overpack sedert het nieuwe concept) en bitumen. Het risico bestaat bijvoorbeeld bij dit laatste dat door uitloging de bewarende eigenschappen van de klei verstoord kunnen worden. De toename van zwellingsdruk ingevolge gasproductie kan immers leiden tot onmiddellijke vrijmaking van de radionucliden. Of elk verpakkingsmateriaal al dan niet verenigbaar is met klei is onzeker.

4.6. Onbekenden in geoproductieven en toekomstscenario's

In veiligheidsanalyses worden verschillende scenario's bekeken. Om te beginnen zijn de transfertmodellen van de geologische ondergrond, bijvoorbeeld over kwelgebieden en rivierstelsels naar de biosfeer (mens en milieu), nog helemaal niet duidelijk. Maar ook wat de scenario's zelf betreft zijn vele onherleidbare onbekenden troef, zowel qua geologische als maatschappelijke evoluties. Er wordt daarom op aangedrongen de waaier scenario's uit te breiden. Niet te verwaarlozen scenario's zijn ondermeer die van een overspoeling binnen 100.000 tot 200.000 jaar van de Kempen met zeewater, wat een piek van jodium-129 kan teweegbrengen als gevolg van de verzilting van het poriënwater. Naast een scenario van lichte glaciatie mag het broeikaseffect ons de mogelijkheid van een ware IJstijd niet uit het oog doen verliezen. De Nederlandse onderzoekers berekenen dat de uitstroomsnelheid uit de Boomse klei hierdoor verduizendvoudigd kan worden. Maar ook in de heel nabije toekomst zijn er op diverse domeinen onzekerheden, zoals omtrent de grootte en vooral de beschikbaarheid van de aangelegde financieringsfondsen, om er maar één te noemen.

4.7. Talloze andere onduidelijkheden

Ze zijn legio. Om er nog maar één te noemen: de toekomstige normeringen. De veiligheidsanalyses hebben tot doel te bepalen of de risico's voor mens en milieu in een verre toekomst ruim onder de huidige aanvaarde normen zullen blijven. Risiconormen, zoals toelaatbaar geachte aantal bijkomende fatale kankers, genetische schade, levensverkorting en dergelijke meer, zijn hierbij het uitgangspunt om de stralingsintensiteiten en dosislimieten te bepalen. Ofschoon gebaseerd op internationale richtlijnen van de Internationale Commissie voor Stralingsbescherming (ICRP) en andere gespecialiseerde organen, is elk land soeverein om de normen strenger te maken of niet. In zeer dichtbevolkte landen, zoals België en Nederland, zijn de strengste normen op hun plaats, omdat de collectieve dosissen sneller oplopen bij gelijke individuele dosissen. Deze normen verschillen daarom ook van land tot land.

Bovendien zijn de internationale blootstellingsnormen historisch meerdere malen verstrengd. Dit gebeurde na ieder nieuw inzicht in de risico's van radioactieve straling. Het kan niet uitgesloten worden dat dit in de toekomst opnieuw zal gebeuren. Tenslotte is het onvoorspelbaar in welke mate toekomstige generaties zullen opteren voor strengere veiligheidsnormen.

Om al die redenen is het nodig dat de voorspelde blootstelling voldoende ruim onder de huidige norm blijft. Dit is een voorbeeld van een maatschappelijk-politieke beslissing in het perspectief van duurzame ontwikkeling. Er moet over gewaakt worden dat het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle (FANC) - dat in ijltempo zijn capaciteit als regulator van het afvalbeheer aan het opbouwen is - volledig onafhankelijk, transparant en maatschappelijk gedragen de Belgische normen kan stellen.

4.8. Talrijke soorten van onzekerheden

Onzekerheidsmanagement veronderstelt het onderscheid maken en adequaat omgaan met fundamenteel verschillende types van onbekenden en onzekerheden. Er zijn onbekenden en onzekerheden die men gevoelig kan hopen te verkleinen via goed gefocuste

onderzoeksprogramma's. Vandaar het grote belang van grote transparantie en een ruime consensus over het onderzoeksagenda. Wanneer de uitslag van een bepaald onderzoek negatief is, kan men zoeken naar oplossingen of nieuwe concepten die de bezwaren mogelijks wegwerken, bijvoorbeeld door een overpack of supercontainer te ontwikkelen in een wel compatibel materiaal. Maar het is niet evident dat dit altijd mogelijk zal zijn. Daarnaast zijn er ook onbekenden die altijd onbekend zullen blijven, omdat ze eigen zijn aan de complexiteit van het systeem. We denken hier onder andere aan wiskundige modellen op de zeer lange termijn (omdat ze niet valideerbaar zijn), dito toekomstscenario's en maatschappelijke evoluties.

Het bestaan van niet-reduceerbare onbekenden mag zeker geen excuus zijn om O&O te beperken, waar het wel opheldering kan brengen.

5. (Voorlopige) vergelijking Boomse en Ieperse klei met Europese criteria

Rekeninghoudend met de huidige stand van kennis, die wel erg verschillend is voor beide formaties en binnen of buiten de referentiesites, komen wij tot het volgende resultaat:

Criterium EUR 6891	Ieperiaan klei	Boomse klei
Dikte klei: min 100m	Minimum 100m	Max 60m /87m ?
Diepte top klei: min -200m	-180m (Knokke) -600m (N-Kempen)	-180/-190m (Mol) -250m NI grens
Homogeniteit hoog	Meest homogeen en meeste klei in het Westen (Knokke-Assenede); zandiger naar Oosten (Doel)	Lithologisch: relatief homogeen horizontaal, beperkt vertikaal (60m)
Breuken weinig	Breukzone ten Oosten van Mol, ook breuk ten Westen	Vervormingen breukzone in W (Noordzee-Knokke)
Doorlatendheid zeer laag	K klein= 10^{-10} m/s K groot?	K klein= $2,5 \times 10^{-12}$ of 10^{-10} m/s K groot = 10^{-10} m/s Mogelijke advectie door breuken moet opgeklaard
Geen aanpalende productieve grondwaterlaag	Bovenliggend: Onderliggend: Landen aquifer (ontgonnen)	Neogene aquifer = 2e grootste grondwaterbron in België/ Form van Veldhoven en van Breda in N Brabant Zanden van Ruisbroek
Warmtegeleiding	Dubbel zo slechte warmteverspreiding	Slechte warmteverspreiding
Aardbevingsrisico	Betere buffercapaciteit V-VI MSK	
Max intensiteit IX MSK Mechanische eigenschap	Plastische klei (zelfhelend) Moeilijkere mijnbouw	VII MSK Stijve klei Ervaring met moeilijke mijnbouw

Conclusie van de vergelijking:

In de Europese publicatie wordt uitdrukkelijk gezegd dat geologische formaties die niet voldoen aan één enkel criterium moeten worden uitgesloten, ook al scoren zij goed op alle andere. **Volgens de oorspronkelijke Europese criteria voldoen dus noch de klei van Boom, noch de leperiaanklei als gastgesteente:**

De **Klei van Boom in België** ligt juist onder de tweede belangrijkste waterproducerende laag van het land en bovenop een diepere watervoerende laag en is niet dik genoeg. Over welke dikte haar impermeabiliteit voldoende is, is erg controversieel. Op haar **referentiesite te Mol** is ze bovendien niet diep genoeg gelegen en ligt in de nabijheid van een actief breukgebied in stijve klei. Zolang niet kan worden uitgesloten dat daardoor advectief grondwaterwater circuleert, komt deze site in het gedrang.

De **leperiaanklei in België** van haar kant is weliswaar dik genoeg, maar ligt enkel diep genoeg in het Noorden en het Oosten, waar haar samenstelling dan weer veel zandiger is. In het Westen waar zij uit meer homogene klei bestaat, is er dan weer een uitgebreide breuk- en scheurzone. Er zijn ook watervoerende lagen boven en onder de leperiaanklei, die ontgonnen worden.

Alhoewel de leperiaanklei met het weinige dat we ervan weten op een aantal parameters (geometrie, plasticiteit,...) hoger scoort dan de klei van Boom, is het helemaal niet zeker of zij op andere parameters (poriënwater, mechanische eigenschappen,...) wel voldoet en ook of er wel één locatie is in België waar zij aan alle voorwaarden tegelijk kan voldoen.

6. Hoe moet het nu verder?

Zolang men het bergen van hoogradioactief en/of langlevend afval in Belgische klei als enige oplossing ziet, gaat het O&O in die zin voort. Er zijn over de onderzoeksagenda al een hele reeks aanbevelingen gemaakt.

6.1. Aanbevelingen van de onafhankelijke tienjaarlijkse doorlichtingen

Ingevolge de aanbeveling van de Evaluatiecommissie voor kernenergie (1975) moet er om de tien jaar een risicobeoordeling gebeuren, alvorens men voortgaat met kernenergie. Voor wat het aspect van afvalbeheer betreft werd tot de eeuwwissel hieraan tegemoetgekomen met de veiligheidsrapporten SAFIR-1 en SAFIR-2, waarbij ook onafhankelijke experts een niet onbelangrijke inbreng hadden.

Enkele aanbevelingen voor verder onderzoek van de eerste evaluatiecommissie SAFIR-1 (1989):

- Inventarisatie en kwaliteitscontrole van het te bergen afval
- Heterogeniteiten, opwarming en grondwatermodel Boomse klei
- Overheid moet onafhankelijk onderzoek bemiddelen
- leperiaanse klei als alternatief gastgesteente onderzoeken

Enkele prioritaire onderzoeksvragen van het Wetenschappelijk Leescomité van SAFIR-2 (2000):

- Verenigbaarheid alle materialen (inclusief overpack) in contact met klei
- Verificatie en validatie van hypothesen en modellen
- Retentie-eigenschappen, heterogeniteiten en discontinuïteiten en waterbewegingen in Boomse klei
- Effecten warmteafgifte en gasproductie op Boomse klei
- Methodologie veiligheidsanalyses en onzekerheidsmanagement, interdisciplinair onderzoek
- Alternatieven op lange termijn voorzien

Enkele aanbevelingen van een groep internationale deskundigen van NEA/OESO (2003) naar aanleiding van SAFIR-2:

- Kunstmatige barrières voor alle soorten afval
- Overdracht van labo-resultaten naar het reële veld
- Groot verschil in doorlatendheid in het klein en hydrologisch model oplossen
- Terughaalbaarheid uitwerken
- Keuzemogelijkheid garanderen: O&O leperiaanse klei voortzetten
- Integratie en periodieke (5-10 jaar) actualisatie (feedbacks) van onderzoeksresultaten (meest recente parameters) in veiligheidsanalyses
- Meer toekomstscenario's uitdiepen
- Nood aan regelgeving (FANC)
- Stapsgewijs dieptediscussies met stakeholders

Sommige van deze aanbevelingen zijn goed opgevolgd, andere gedeeltelijk, weer andere helemaal niet ondanks dat zij steeds herhaald werden. Het is aan een nieuwe interdisciplinaire commissie (SAFIR-3?) om daar in alle onafhankelijkheid over te oordelen.

6.2. Aanbevelingen van dialogen en consultaties in 2009-2010 met stakeholders en algemeen publiek en van het publieksforum van de Koning Boudewijnstichting in 2010

NIRAS heeft in de loop van 2009 een aantal initiatieven genomen om de dialoog met stakeholders en het algemeen publiek op te starten. Ingevolge de wettelijke consultatie tijdens vakantieperiode 2010 zijn er vervolgens een paar duizenden bezwaarschriften ingebacht inclusief door het FANC, de Federale Raad Duurzame Ontwikkeling (FRDO) en andere institutionele betrokkenen. Omdat het hier geen openbaar onderzoek gold, is de inhoud hiervan niet publiek gemaakt.

Het publieksforum dat onder leiding van de Koning Boudewijnstichting werd georganiseerd heeft ondermeer de eis tot onafhankelijke expertise kracht bijgezet. Het is niet duidelijk wat het statuut en de behandeling is van deze externe input, waar hij eventueel in de besluitvorming wordt ingebracht en of hij enig verschil kan maken. Zolang dit niet structureel wordt verankerd, motiveert dit niet tot toekomstige participatie van de burger.

7. Wanneer zal het onderzoek rijp zijn voor een strategische beslissing?

Eerste vraag: zijn de onderzoeken voldoende wetenschappelijk gevalideerd door internationale, onafhankelijke en hooggekwalificeerde peer-reviews? Het is de normale gang van alle wetenschappelijk onderzoek, om te garanderen dat het onderzoek op correcte wijze wordt uitgevoerd en geïnterpreteerd.

Dat is absoluut nodig, maar zeker niet genoeg. Het wereldje van deskundigen in nucleaire problematiek is namelijk zeer klein, zeker nationaal en zelfs internationaal. Iedereen kent iedereen, en haast alle experts hebben banden met de nucleaire branche. In zulke context is een zekere mate van groepsdenken, een uniforme cultuur, een bekend fenomeen, wat noodzakelijke en fundamentele kritiek van collega's-peers inperkt.

Ook bij het opzetten en uitvoeren van technisch-wetenschappelijke O&O-programma's, die werken met allerlei soorten van onzekerheden, worden voortdurend beslissingen genomen en keuzes gemaakt, die niet tot de uitsluitende bevoegdheid van technici en wetenschappers behoren, zoals:

- Het bepalen van de prioritaire onderzoeksnoten. Bijvoorbeeld: worden de aanbevelingen van de vorige reviewcommissies voldoende gevolgd?
- Het al dan niet ontwikkelen van reële keuzemogelijkheden (alternatieven). Bijvoorbeeld: is de leperiaanklei voldoende onderzocht?
- Het beslissen wanneer de onderzoeksresultaten voldoende uitsluitsel geven? Bijvoorbeeld: hoe groot is de doorlatendheid en dikte van de klei?
- Het garanderen dat de nieuwste wetenschappelijke gegevens en maatschappelijke evoluties systematisch geïntegreerd worden? Werden negatieve resultaten nooit terzijde gelaten?
- Wanneer zijn de onderzoeksresultaten voldoende positief opdat een optie haalbaar zou blijven? Bijvoorbeeld: kan bitumen wel in klei?
- Onzekerheidsmanagement: hoe wordt er met onzekerheden omgegaan? Waar wordt er afgerond naar hogere veiligheid toe (conservatief) waar naar een lagere veiligheidsmarge?

Dergelijke fundamentele beslissingen mogen in geen geval in handen liggen van hen die tegelijk een eigen belang hebben in de één of andere uitslag ervan. Dit is het algemene principe van scheiding van rechter en partij. Voor zover nodig, geven we hier enkele gevarenczones waar omwille van het deugdelijk beheer belangenvermenging moet geweerd worden :

- Alternatieven, bijkomende onderzoeken, een grotere veiligheid,..., verhogen doorgaans de kosten. Volgens het principe "de vervuiler betaalt" dat hier van toepassing is, moeten de afvalproducenten het onderzoek financieren. Dezelfde afvalproducenten beslissen echter mee in het Vast Technisch Comité van NIRAS over de O&O-programma's, alhoewel ze er belang bij hebben dat de kosten zo laag mogelijk zijn. Bovendien, wie heeft belang bij welk soort onderzoek? Research-agendasetting vergt derhalve een brede maatschappelijke basis.
- Als de onderzoekers van NIRAS, in het verlengde van de SCK-onderzoekers, al decennia lang werken in functie van een vooruitzicht op een definitieve berging in de klei van Boom onder de site van het SCK, zonder een duidelijk alternatief, is het zeer

menselijk dat ze een sterke drang vertonen om aan deze voorkeursoplossing 'het koste wat het kost' vast te houden. Maar eigenlijk zou dit in deze geen doorslaggevende rol mogen spelen.

- Het speelt in de kaart van de voorstanders van een voortzetting of heropleving van kernenergie dat tenminste een principebeslissing voor het radioactieve afval zou genomen worden. Met zo'n principebeslissing wordt de (foute) indruk gewekt dat het kernafvalprobleem definitief is opgelost. De tendens van 'snel onder de grond' speelt derhalve in de kaart van de kernenergiesector.
- Technisch-wetenschappelijk deskundigen zijn niet beter geplaatst dan de doorsnee burger om ethische uitspraken te doen over verschillende beheersopties voor hoogradioactief en langlevend afval en de implicaties voor toekomstige generaties. Zulke "ethische" uitspraken moeten dan ook uit technisch rapporten geweerd worden.

Om het gevaar van beïnvloeding of sluipende besluitvorming te vermijden, heeft een democratische samenleving als verweer nood aan structurele onafhankelijke (tegen)expertise en transparante besluitvorming. In het geval van zaken die met kernenergie verbonden zijn zal dit echter bij vrome dromen blijven zolang de overheid geen structureel onafhankelijk onderzoek prefinanciert. Dit neemt niet weg dat deze middelen achteraf op de afvalproducenten kunnen verhaald worden zonder de onafhankelijkheid van het onderzoek in gevaar te brengen. Wat de transparantie van het besluitvormingsproces in se betreft, hier verlaten we het technisch-wetenschappelijke en begeven we ons ten volle op het maatschappelijk-politieke vlak.

8. Van technisch-wetenschappelijke naar algemeen-maatschappelijke (politieke) beslissingen

Beslissingen over het beheer – virtueel 'tot in de eeuwigheid' - van radioactief afval, met ongezien zwaarwichtige economische, ethische en ecologische impact, zijn van bij de opmaak van de onderzoeksagenda tot en met de onomkeerbare eindbeslissing waardengeladen. Zoals hierboven aangevoerd is ook het technisch-wetenschappelijke onderzoek verre van waardenvrij. Maar ook het bepalen van de risiconorm (het maatschappelijk aanvaardbare aantal bijkomende kankers en genetische schade voor de huidige en alle toekomstige generaties) en de blootstellingsnorm (die door de jaren heen periodiek strenger wordt naarmate de wetenschappelijke inzichten toenemen) moet door de maatschappij als geheel gebeuren. Zulke materies van duurzame ontwikkeling vereisen - zeker anno 2010 - een gefaseerde, structureel verankerde en participatieve aanpak. Zonder uitstel moeten een wijde schare van stakeholders in een transparant stapsgewijs en vooraf vastgelegd besluitvormingsproces betrokken worden: technici, de regulator (FANC), de geïnteresseerde burger, afvalproducenten, en beleidsmensen.

Er staat tegenwoordig een waaier van aangepaste participatieve 'Technology Assessment'-procedures en methodologieën ter beschikking, die in binnen- en buitenland bewezen hebben opgewassen en efficiënt te zijn voor deze taak, met name het betrekken van burgers, deskundigen en stakeholders in het besluitvormingsproces over zeer complexe technologische problemen van groot maatschappelijk belang. In Zweden werd, speciaal om naast de onontbeerlijke transparantie ook de verrijkende inbreng van onafhankelijke

deskundigheid en stakeholders te garanderen, het RISCOM-model ontwikkeld. In verschillende landen bogen speciale commissies zich over het onderwerp: in Frankrijk een Parlementaire Commissie ondersteund door het technology assessment instituut OPECST, in Zweden KASAM en in het Verenigd Koninkrijk de onafhankelijke CORWM- Commissie. België zou zich op deze en andere voorbeelden kunnen inspireren.

9. Om te besluiten

Spijts decennialang intensief O&O te Mol is het nog steeds niet zeker dat er ooit een aanvaardbare geologische berging van het hoogradioactief en langlevend B- en C-afval kan geïmplementeerd worden in klei op Belgisch grondgebied. Er zijn nogal wat tegenindicaties en grote onzekerheden. De bewijslast dat het wel veilig kan ligt bij de voorstanders.

De Boomse klei onder de nucleaire site van het SCK roept nog extra veel vraagtekens op, want hij voldoet niet aan verschillende door Europa vooropgestelde criteria. De hamvraag blijft echter door wie en hoe er beslist wordt, volgens welke criteria en of de beslissing voor de ganse maatschappij en voor de toekomstige generaties aanvaardbaar is? Hoe worden garanties van transparantie, onafhankelijke (tegen)expertise en structurele participatie van stakeholders en burgers ingebouwd? Hoe anders kan de hoognodige flexibiliteit gewaarborgd worden op nieuwe, onverwachte evoluties zoals een mogelijke internationalisering van (delen van) het radioactieve afvalbeheer, geothermische boringen doorheen de Boomse klei in de Kempen, enz.?

Er is nog veel onderzoek nodig en enkel de onderzoeksresultaten en onafhankelijke doorlichtingen kunnen aangeven hoelang dit zinvol is. Voortgezet O&O, structurele tegenexpertise en participatie vergen middelen en tijd. Tijd is er, vermits een centrale geologische bergingsinstallatie ten vroegste pas in de eerste helft van de volgende eeuw het laatste hoogradioactieve en warmteafgevend afval zal kunnen ontvangen. Pas dan kan de geologische bergingsinstallatie afgesloten worden. De huidige voorlopige opslag van het radioactieve afval aan de oppervlakte moet sowieso verlengd worden. Techniek en kosten zijn daarvan bekend. Vanwaar dan die plotse haast voor een principebeslissing, over een optie die misschien onmogelijk is?

* * *

Geselecteerde referenties

Commissie van de Europese Gemeenschap, 1980. Geological confinement of radioactive wastes within the European Community (EUR 6891), Brussels.

Evaluatiecommissie SAFIR, 1990. Eindrapport. Staatssecretariaat voor Energie, Brussel.

Henriet, JP et al, 1990. Seismic facies and clay tectonic features of the Ypresian Clay in the Southern North-Sea. In: Bull.Belg.Ver.Geol. 97-3/4(1988), pp 457-472.

IAEA, 1983. Criteria for underground disposal of solid radioactive wastes (Safety series N°60). Vienna.

ICRP, 1998. Radiation protection recommendations as applied to the disposal of long lived solid radioactive waste (ICRP 81). In: Ann.ICRP 28 (4)

NEA, 2003. SAFIR-2: The Belgian R&D Programme - An international peer Review. OESO, Paris.

NIRAS, 2001. SAFIR-2. Brussel.

NIRAS, 2010. Ontwerp-afvalplan. Brussel.

VMM, 2007. Milieurapport Vlaanderen MIRA-T. LannooCampus, Leuven.

Vandenberghe,N et al, 1998. Tertiary sequence stratigraphy at the Southern border of the North Sea Basin in Belgium. In: SEPM Special Publication N°60, pp119-154.

Vandenberghe,N et al, 2003. The Eocene-Oligocene boundary in the North Sea area: a sequence stratigraphic approach. In: Prothero,D R et al (eds). From Greenhouse to Icehouse. The marine Eocene-Oligocene transition. CUP, NY pp419-437.

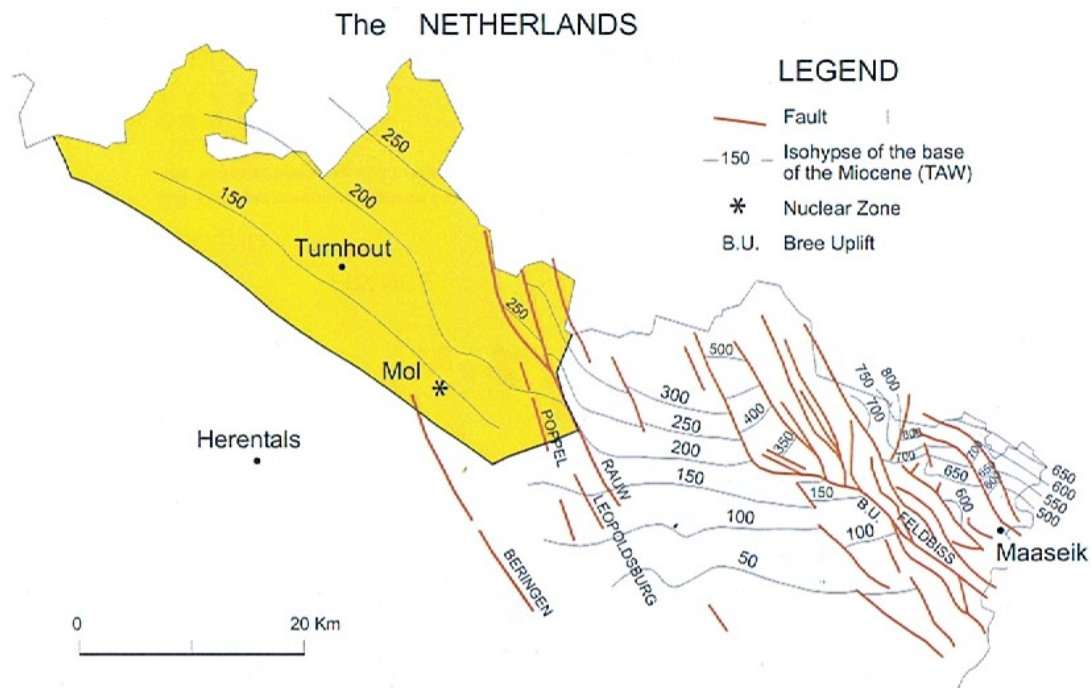
Van Marcke, Ph, & Laenen,B, 2005. The Ypresian Clays as possible host rock for radioactive waste disposal – An evaluation, NIROND, Brussel.

Wemaere,I, 1998. In: Values for the near field and clay parameters used in performance assessment of the geological disposal of radioactive waste in the Boom Clay formation at the Mol site (Vol 2). SCK, Mol.

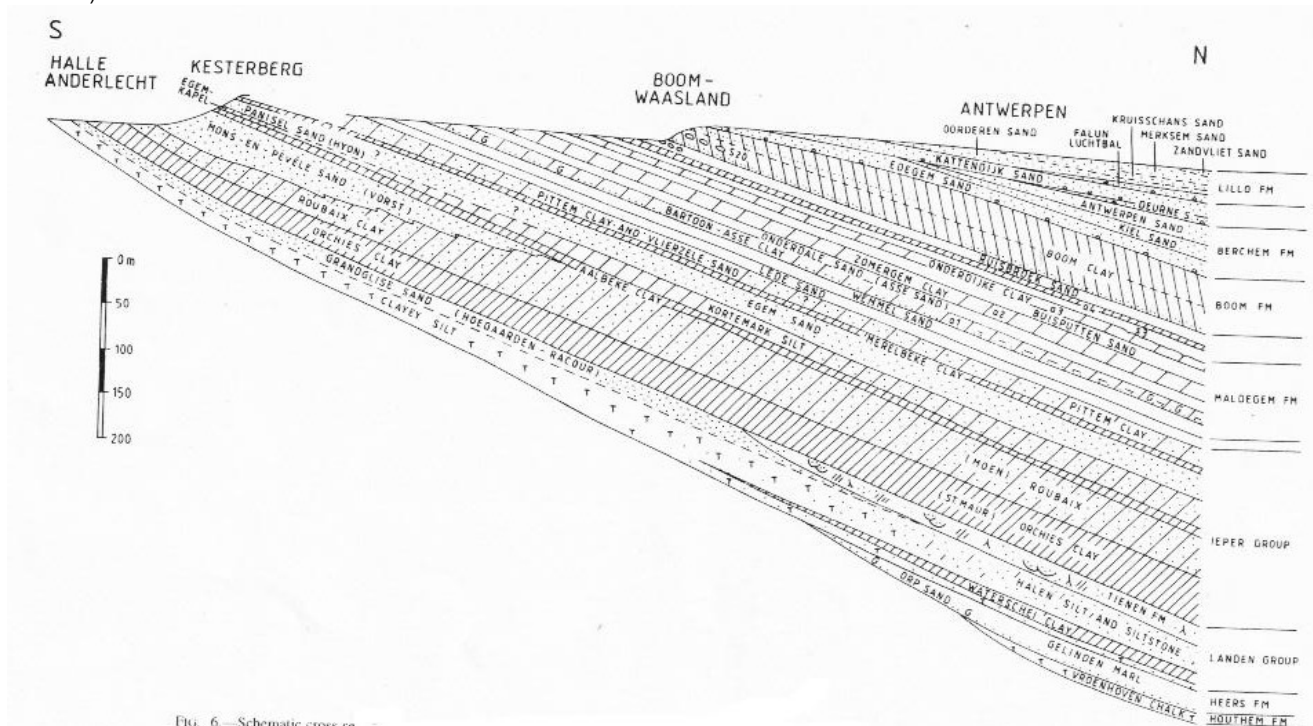
Wouters, L & Vandenberghe,N, 1994. Geologie van de Kempen. NIROND, Brussel.

Bijlages

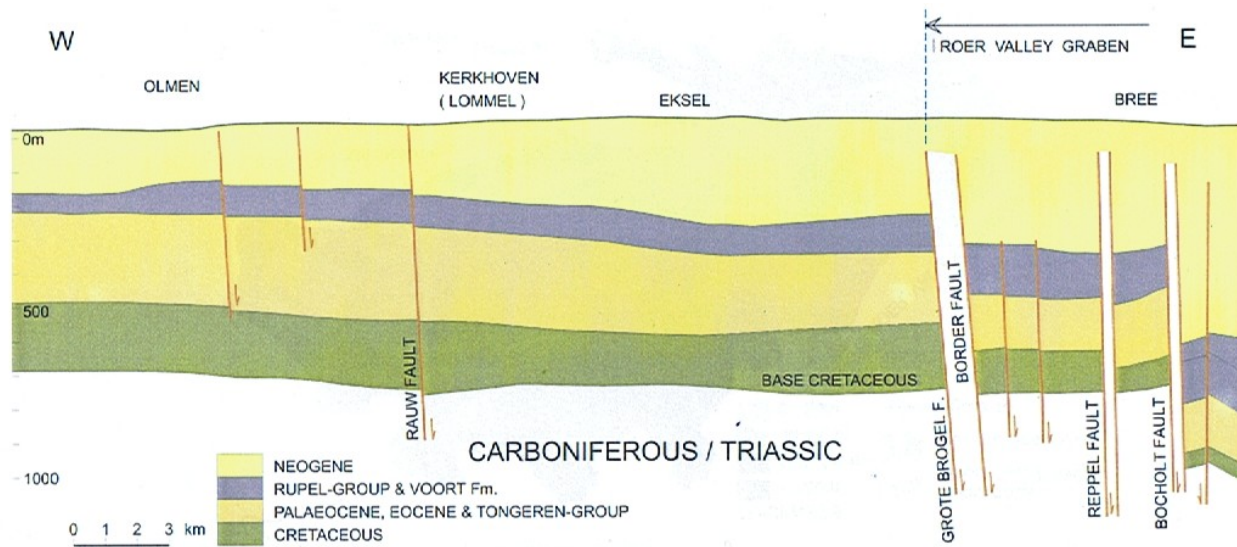
Figuur 1: Diepte van de top van de Formatie van Boom en breuklijnen ten westen en ten oosten van Mol (Van Marcke & Laenen, 2005)



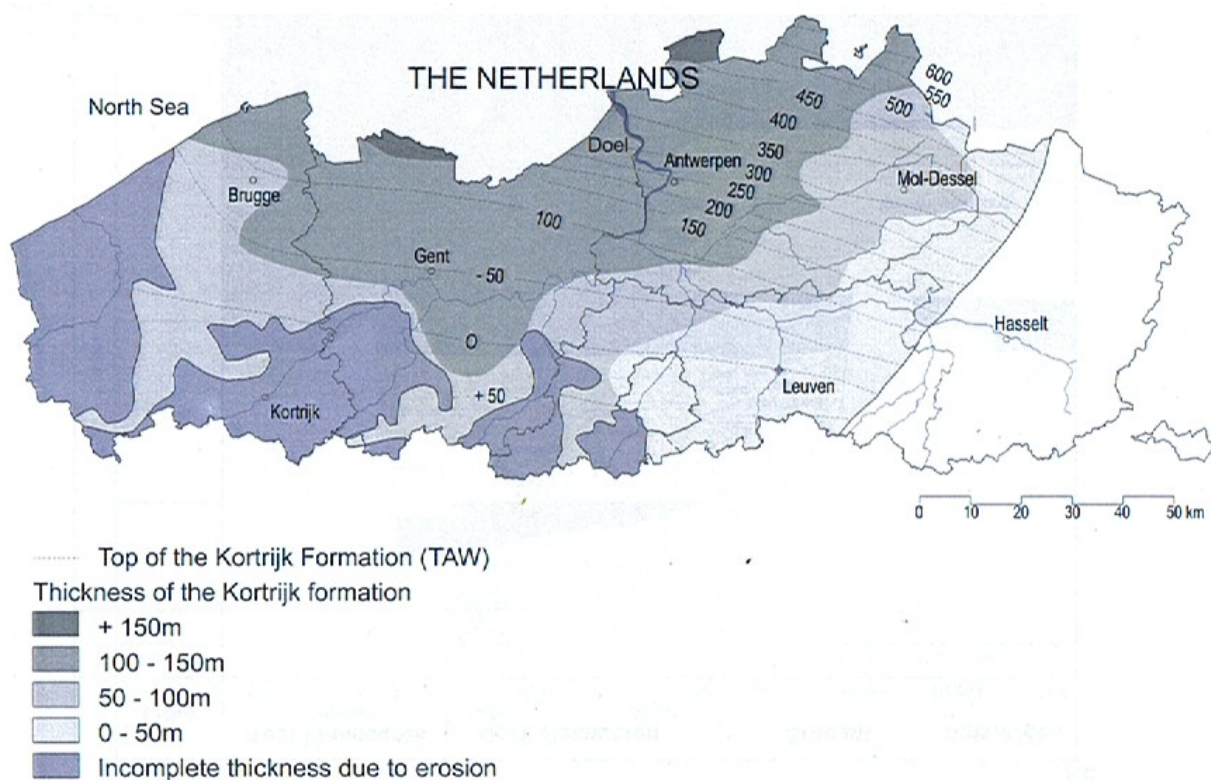
Figuur 2: Formaties van Boom en Ieperse klei (Aalbeke, Moen, St Maur) in Noord-Zuid doorsnede doorheen het Belgisch-Nederlands grensgebied ter hoogte van Antwerpen (Vandenbergh, N et al, 1998)



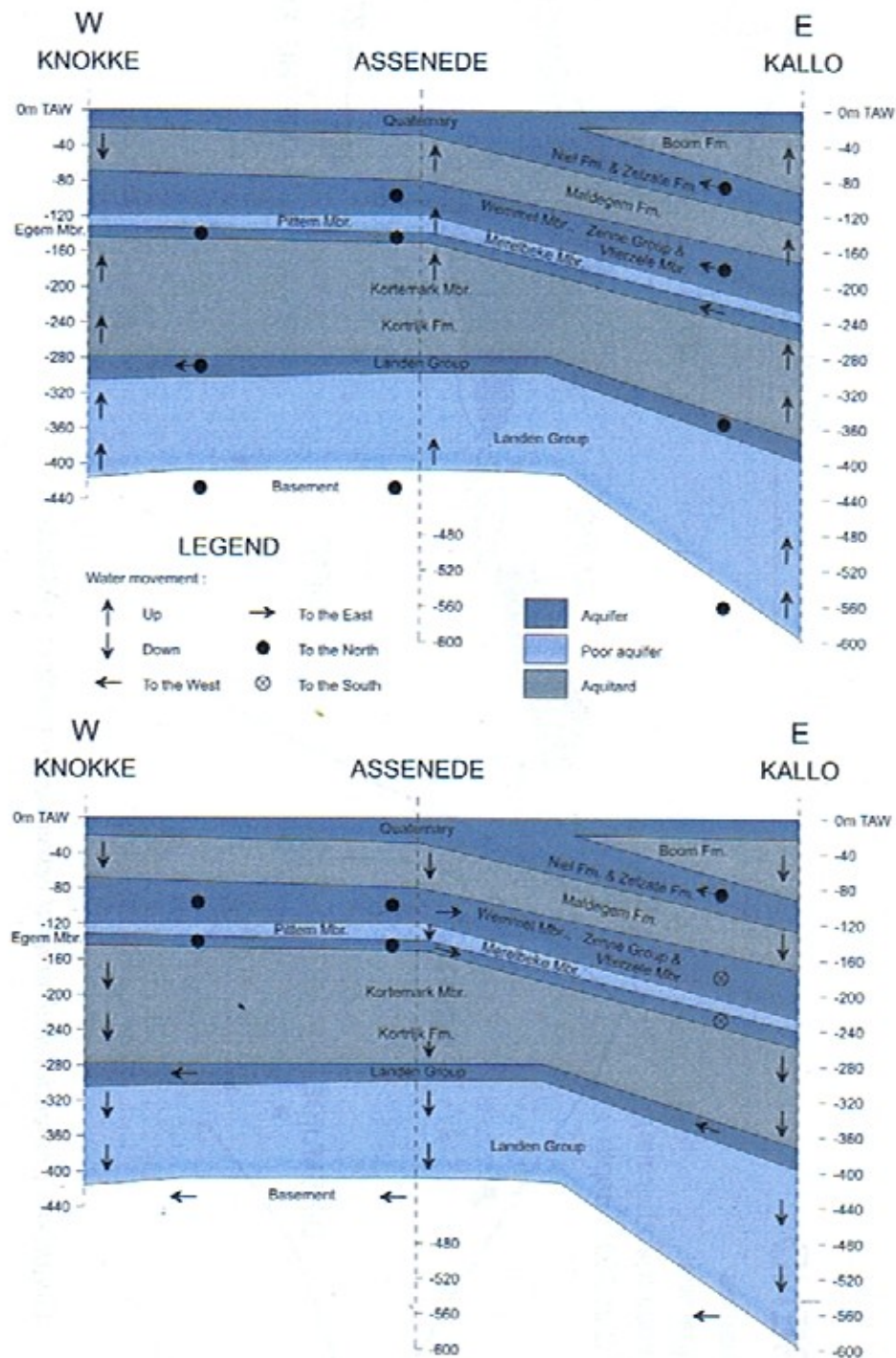
Figuur 3: Oost-West doorsnede van Bree-Mol, met breukvlakken (Wouters en Vandenberghe, 1994)



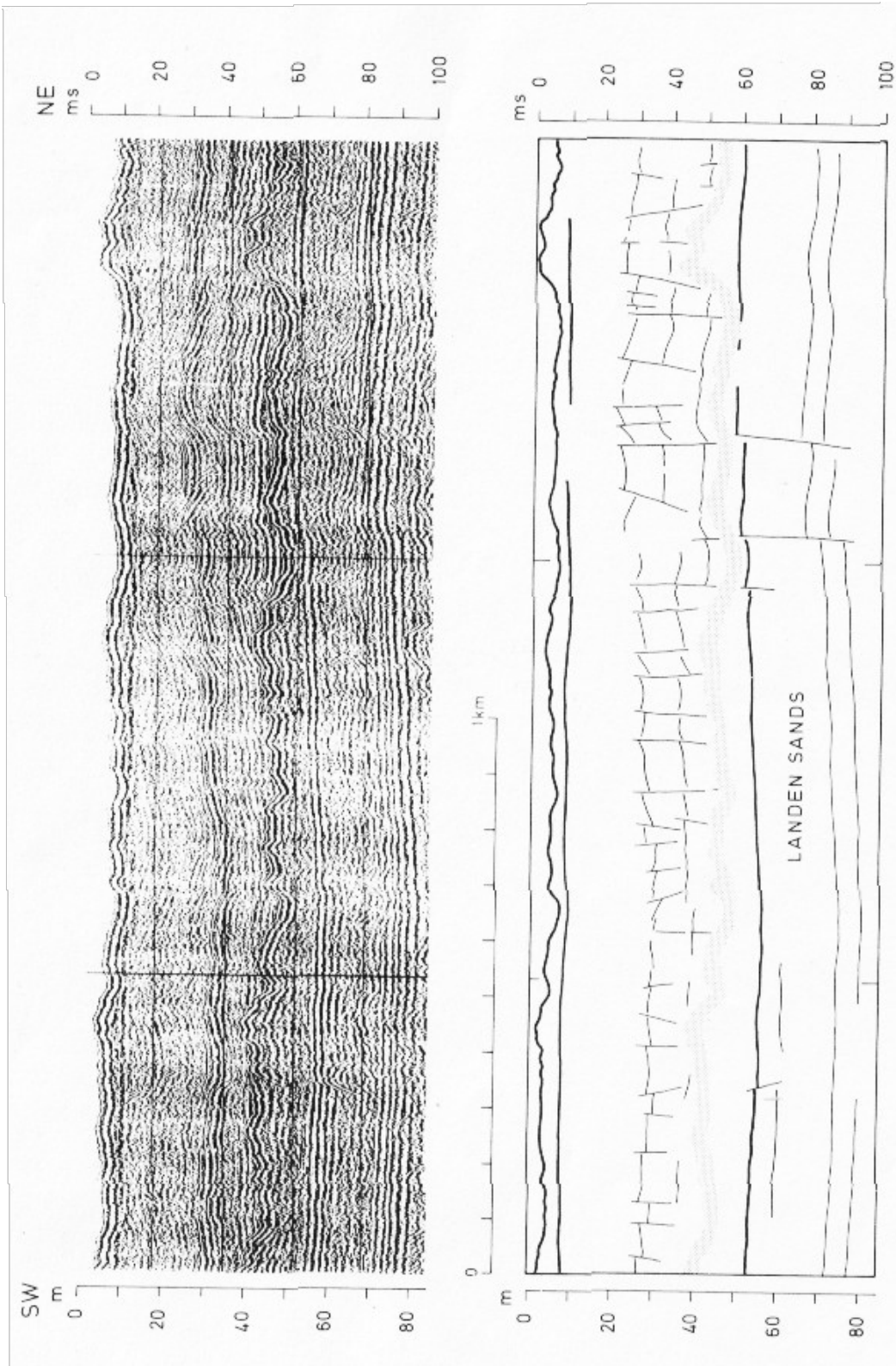
Figuur 4: Diepte van de top en dikte van de leperiaanklei (Formatie van Kortrijk) (SAFIR2, 2001)



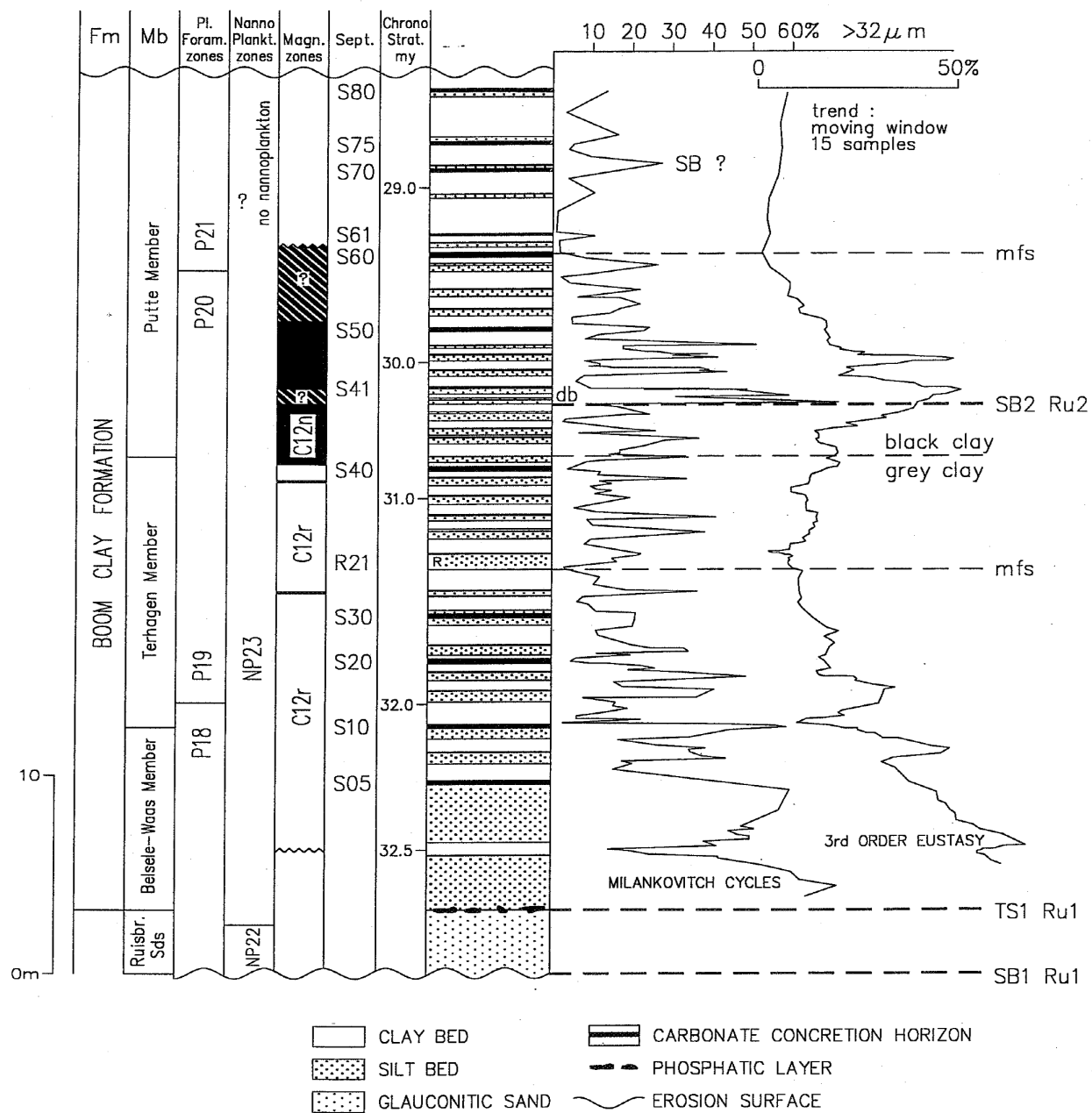
Figuur 5: Oost-West doorsneden Ieperiaanklei (Formatie van Kortrijk en Lid van Kortemark); met stijgende of dalende grondwaterdoorstroom (Van Marcke & Laenen, 2005)



Figuur 6: Breuken en vervormingen in basis van de leperiaanklei (Henriet et al, 1990)



Figuur 7: Boomse kleiformatie: afwisseling van kleiige en siltige laagjes en nivrau's met kalkconcreties (septaria) (Vandenberghé et al, 2003)



Figuur 8: Oost-West doorsnede Lommel-Antwerpen met opwaartse en neerwaartse grondwatercirculatie door klei van Boom, en door boven- en onderliggende watervoerende lagen, volgens het hydrogeologisch model. (Wouters en Vandenberghe, 1994)

